



**PRUEBAS SELECTIVAS PARA INGRESO EN LA ESCALA DE TITULADOS SUPERIORES DE ORGANISMOS AUTÓNOMOS DEL MITC, ESPECIALIDAD DE PROPIEDAD INDUSTRIAL, CONVOCADAS POR ORDEN MINISTERIAL IET/1557/2014, DE 30 DE JULIO (BOE 1 DE SEPTIEMBRE DE 2014, Nº 212).**

## **CUARTO EJERCICIO**

### **A) CLASIFICACIÓN DE TRES PATENTES**

#### **INSTRUCCIONES**

**PRIMERA:** Los documentos para clasificar vienen identificados por los siguientes códigos:

- Rama eléctrica: CLE1, CLE2, CLE3
- Rama mecánica: CLM1, CLM2, CLM3

**SEGUNDA:** Los tres documentos se clasificarán hasta nivel de subgrupo, de acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) en su versión 2014.01

Se considerará que toda la materia reivindicada en cada documento es nueva y tiene actividad inventiva y que por lo tanto debe ser clasificada como información de invención.

Se indicará para cada documento el símbolo completo o símbolos completos asignados al documento, justificando debidamente la asignación efectuada.

Para clasificar cada uno de los documentos se tendrán en cuenta las recomendaciones contenidas en la Guía de utilización de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP), en su versión 2014.01.

**TERCERA:** Comience **cada una de las clasificaciones** correspondientes a cada uno de los tres documentos de esta prueba **en una hoja nueva.**

**CLE1**

## DESCRIPCIÓN

Método y aparato para la transferencia de llamadas radiotelefónicas en un sistema de comunicaciones de ferrocarriles subterráneos.

Esta invención está relacionada con un aparato y un método para efectuar la transferencia de llamadas en un sistema radiotelefónico en el cual una radio móvil se desplaza con respecto a los cables, los cuales son cables con fugas o pérdidas que radian campos radioeléctricos detectados por el móvil radioeléctrico.

La transferencia de llamadas tiene lugar cuando el móvil radioeléctrico transfiere la comunicación desde un cable a otro cable. Un ejemplo de dicho sistema conocido es en un ferrocarril subterráneo. Cada estación del ferrocarril está equipada con una estación base de radio que sirve a dicha estación de ferrocarril en particular. Así mismo, cada estación base sirve a una longitud adyacente del túnel por medio de un cable que se extiende desde la estación base a lo largo del túnel tanto hacia la estación precedente como hacia la estación siguiente, en relación con la dirección de desplazamiento de los trenes a través del túnel. El tren incorpora la radio móvil, estando la parte frontal del tren equipada con una antena que realiza la comunicación por radio con el cable que se extiende a lo largo del túnel. Al proceder desde una estación de ferrocarril hacia la siguiente estación de ferrocarril, la radio móvil tiene que transferir por tanto su comunicación (es decir, el efecto de transferencia de la llamada) desde un cable al otro cable, teniendo esto lugar aproximadamente a mitad de camino entre las estaciones de ferrocarril en donde un cable termina y comienza el siguiente.

En los sistemas conocidos, la transferencia de llamadas se basa en la detección por la radio móvil de la reducción del campo eléctrico conforme la radio móvil alcanza el extremo del cable. Esto hace disparar la radio móvil para la búsqueda de un nuevo canal disponible en la estación base situada en la estación de ferrocarril hacia la cual está viajando el tren. Durante la transferencia de la llamada, una llamada saliente puede no interrumpirse solo si la radio móvil puede continuar comunicándose con el cable que está próximo a terminarse. La transferencia de la llamada invierte típicamente un cuarto de segundo o poco más, lo cual a 100 km por hora corresponde a la distancia recorrida de aproximadamente 30 metros. La longitud del tren tiende a blindar la antena después de que la parte frontal del tren se haya desplazado 10 metros o más desde el final del cable, de forma que habrá una pérdida parcial de la llamada. La invención está dirigida a proporcionar un aparato y un método que soluciona este problema.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un aparato radiotelefónico que comprende un primer cable para radiar un primer campo eléctrico, un segundo cable para radiar un segundo campo eléctrico, y un atenuador para incorporar en el primer cable adyacente un extremo del mismo, de forma que durante la utilización cuando la radio móvil efectúe la transferencia de llamada desde el primer campo eléctrico al segundo campo eléctrico, la reducción en la intensidad del primer campo eléctrico resultante de la atenuación provoque que la radio móvil inicie la transferencia de la llamada y que complete la transferencia de la llamada antes de que la intensidad del primer campo eléctrico disminuya hasta un nivel no

utilizable.

De acuerdo con otro aspecto de la invención se proporciona un aparato radiotelefónico que comprende una primera estación base, un primer cable radiante que se extiende desde la primera estación base hasta un extremo remoto, una segunda estación base, un segundo cable radiante que se extiende desde la segunda estación base y terminando en un extremo remoto, estando situados los dos extremos remotos en un área de transición en que la radio móvil efectúa la transferencia de la llamada desde la primera estación base a la segunda estación base, estando incorporado un atenuador en el primer cable radiante adyacente al extremo del mismo, para provocar que la radio móvil detecte la disminución de la señal radiada provocada por el atenuador, y que comience por tanto la transferencia de la llamada desde la primera estación base a la segunda estación base.

De acuerdo con otro aspecto adicional, la invención proporciona un método de efectuar la transferencia de la llamada de una radio móvil desde un primer cable radiante a un segundo cable radiante en un sistema radiotelefónico, que comprende la utilización de un atenuador cerca del extremo del primer cable para provocar una marcada disminución en la intensidad de la señal radiada por el primer cable y detectar la disminución en la radio móvil para instar a la radio móvil a iniciar la transferencia de la llamada desde el primer cable al segundo cable y mantener la comunicación con el primer cable hasta que se lleve a efecto la transferencia al segundo cable.

El posicionamiento del atenuador define la posición en la cual la radio móvil comienza su rutina de transferencia de la llamada. Disponiendo que la longitud del primer cable entre el atenuador y el extremo del primer cable sea al menos la distancia recorrida por la radio móvil a su velocidad máxima posible, se asegura la realización de la transferencia de la llamada sin interrupción.

Se describirá a continuación la invención, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

la figura 1 es un diagrama de un sistema radiotelefónico de acuerdo con la invención tal como está instalado en un ferrocarril subterráneo, y

la figura 2 es un gráfico que muestra las intensidades de las señales detectadas por la radio móvil transportada por el tren, representadas gráficamente con respecto a la posición de la parte frontal del tren.

Con referencia a la figura 1, se encuentran indicadas en 1 y 2 dos estaciones sucesivas de ferrocarril sobre una línea de ferrocarril subterráneo. Las estaciones de ferrocarril tiene las estaciones base respectivas 3 y 4, las cuales son similares a las estaciones base en un sistema de radio celular porque cada estación base está enlazada, generalmente mediante cableado, a una central telefónica. Las estaciones base 3 y 4 tienen los bucles de cables respectivos 5 y 6, los cuales se extienden alrededor de las áreas de las estaciones de ferrocarril (por ejemplo, andenes, subterráneos y explanadas), de forma que la gente equipada con teléfonos móviles puedan emitir y recibir llamadas telefónicas a través de las estaciones base respectivas 3 y 4. Se prevé que la gente equipada con los teléfonos móviles necesarios será el personal de la estación, personal de seguridad o personas autorizadas en forma similar, pero es posible que el sistema radiotelefónico sea accesible a miembros del público provistos

con los móviles celulares usuario de radiocomunicaciones.

La estación base 3 alimenta también a un cable radiante 7 que se extiende a lo largo del túnel enlazando las estaciones 1 y 2. El túnel acomoda a una única longitud de vía de ferrocarril 8 a lo largo de la cual el tren se desplaza normalmente en la misma dirección, indicada por la flecha A. El cable 7 tiene una primera parte 9 que se extiende desde la estación 1 hacia la estación anterior de ferrocarril, y una segunda parte 10 que se extiende desde la estación 1 hacia la estación siguiente 2. De forma similar, la estación base 4 alimenta a un segundo cable 12 dentro del túnel, teniendo el cable 12 una primera parte 13 que se extiende hacia la estación 1 y una segunda parte 14 que se extiende hacia la siguiente estación de ferrocarril a lo largo de la línea. Los cables 7 y 12 son cables con fugas o con pérdidas porque radian campos eléctricos correspondientes a las señales eléctricas de las respectivas estaciones base 3 y 4. Los cables 7 y 12 están soportados por ganchos en las paredes del túnel, de forma que los cables 7 y 12 se extiendan longitudinalmente dentro del túnel acomodándose a las vías 8 a lo largo de las cuales pasan los trenes (en la dirección A) desde la estación 1 a la estación 2. Está provisto un segundo túnel que acomoda una segunda vía de ferrocarril 15 provista para la circulación de trenes en el sentido opuesto B desde la estación 2 a la estación 1.

De acuerdo con la invención, se incorpora un atenuador 16 en el primer cable adyacente a su extremo 17. En la práctica, la sección final del cable 7, es decir, la longitud entre el atenuador 16 y el extremo final 17 puede ser un cable inferior con una mayor pérdida que la sección principal restante entre la estación base 2 y el atenuador 16. El atenuador 16 es una red resistiva. El segundo cable 12 tiene un extremo 18 en una posición correspondiente substancialmente a la posición del atenuador 16, de forma que el primer y segundo cables 7 y 12 se extiendan juntos uno al lado del otro a través de una longitud de solapado de 20 metros correspondiente a la longitud de la sección terminal del primer cable 7.

Un tren que se desplace a lo largo de la vía férrea 8 está equipado con una radio móvil y tiene, en la parte frontal del tren, una antena que detecta el campo radioeléctrico creado por el cable cercano 7 ó 12. Conforme el tren procede desde la estación de ferrocarril 1 a la estación de ferrocarril 2, la intensidad del primer campo radioeléctrico radiado por el cable 7 (y consecuentemente la magnitud de la señal detectada por la radio móvil) disminuirá gradualmente según se indica en 20 en la figura 2. Cuando el extremo frontal del tren pase por el atenuador 16, la intensidad de la señal caerá drásticamente según se indica en 22. Esta caída drástica en la señal de radio del cable 7 se selecciona para que pase a través del umbral de desplazamiento T1, es decir, la magnitud de la intensi-

dad de señal recibida por debajo de la cual la radio móvil comienza su rutina para iniciar la transferencia de llamada a la otra estación base. Conforme el tren procede hacia la siguiente estación de ferrocarril 2, la intensidad de la señal recibida del primer cable continua disminuyendo, pasando eventualmente a través del umbral de señal utilizable T2 por debajo del cual la señal sea probablemente demasiado débil para ser utilizable.

Una vez que el tren haya pasado por la posición correspondiente al atenuador 16, la intensidad de la señal recibida 23 del segundo campo radioeléctrico del cable 12 será suficientemente fuerte, es decir, su magnitud superará en exceso al umbral de desplazamiento T1 según se indica en 24. En consecuencia, la radio móvil en el tren establecerá contacto con el segundo campo radioeléctrico perfectamente antes de que la intensidad de campo del primer campo radioeléctrico pase por debajo del umbral de señal utilizable T2.

Esto asegura que la radio móvil efectúa la transferencia de la llamada en el segundo cable radiante 12 antes de abandonar el área de transición definida por las longitudes solapadas de los cables 7 y 12. Esta longitud de solapado se selecciona para asegurar que tenga lugar la transferencia dentro de la longitud de solapado a la máxima velocidad del tren.

Se proporciona una configuración similar al lado de la vía de ferrocarril 15, en donde se incorpora un atenuador 25 cerca del extremo de un cable radiante 26 alimentado desde la estación base 4. En este caso, la transferencia de la llamada es desde el cable 26 al cable 27, conectado a la estación base 3. Las características importantes del aparato radiotelefónico son:

1. El atenuador se selecciona para proporcionar una reducción definida de la señal que asegure que la radio efectúe la conmutación.
2. La sección del cable radiante desde el atenuador hasta el extremo del cable proporciona una cobertura de radio satisfactoria durante el periodo de conmutación.
3. La zona de cobertura extendida provista por la sección terminal del cable es predecible y por tanto fiable al compararse con otro caso incierto de "espacio libre".

Utilizando este método, se cumplen los siguientes requisitos:

1. Las señales entre las estaciones base permanecen aisladas, de forma que no degrada la gestión de los canales.
2. El costo no está afectado negativamente, puesto que el atenuador reemplaza a una terminación del cable.

## REIVINDICACIONES

1. Un aparato radiotelefónico que comprende una primera estación base (3; 4), un primer cable radiante (7; 26) que se extiende desde la primera estación base (3; 4) hasta un extremo remoto (17), una segunda estación base (3; 4), un segundo cable radiante (12; 27) que se extiende desde la segunda estación base (3; 4) y terminando en un extremo remoto (18), estando situados los dos extremos remotos (17; 18) en un área de transición en la que una radio móvil efectúa la transferencia de la llamada desde la primera estación base a la segunda estación base, en respuesta al nivel de la señal detectada del primer cable radiante, cayendo a través de un umbral de desplazamiento **caracterizado** porque se encuentra incorporado un atenuador (16; 25) en el primer cable radiante al comienzo del área de transición y adyacente al extremo del primer cable radiante, siendo operable el atenuador para provocar que caiga la intensidad de la señal radiada por el primer cable, a fin de que la radio móvil comience la transferencia de la llamada desde la primera estación base a la segunda estación base.

2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el atenuador (16; 25) es una red resistiva.

3. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que el primer cable (7; 26) comprende una sección principal que se extiende hasta el atenuador

(16; 25) y una segunda sección que se extiende desde el atenuador (16; 25) hasta el extremo (17) del primer cable (17), teniendo la segunda sección unas características de pérdidas más altas que la sección principal.

4. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la segunda sección tiene una longitud de 15 metros a 25 metros.

5. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la segunda sección tiene una longitud de 20 metros.

6. Un sistema de ferrocarril subterráneo que tiene un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, estando situadas la primera y segunda estaciones base en las respectivas estaciones de ferrocarril y en el que los cables radiantes se extienden a lo largo del túnel interconectando las estaciones de ferrocarril.

7. Un método para efectuar la transferencia de la llamada de una radio móvil desde el primer cable radiante al segundo cable radiante en un sistema radiotelefónico, que comprende un atenuador cerca del extremo del primer cable para provocar una marcada disminución en la intensidad de la señal radiada por el primer cable, y detectando la disminución en la radio móvil para hacer que la radio móvil inicie la transferencia de la llamada desde el primer cable al segundo cable, y mantener la comunicación con el primer cable hasta que se lleve a cabo la transferencia hacia el segundo cable.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

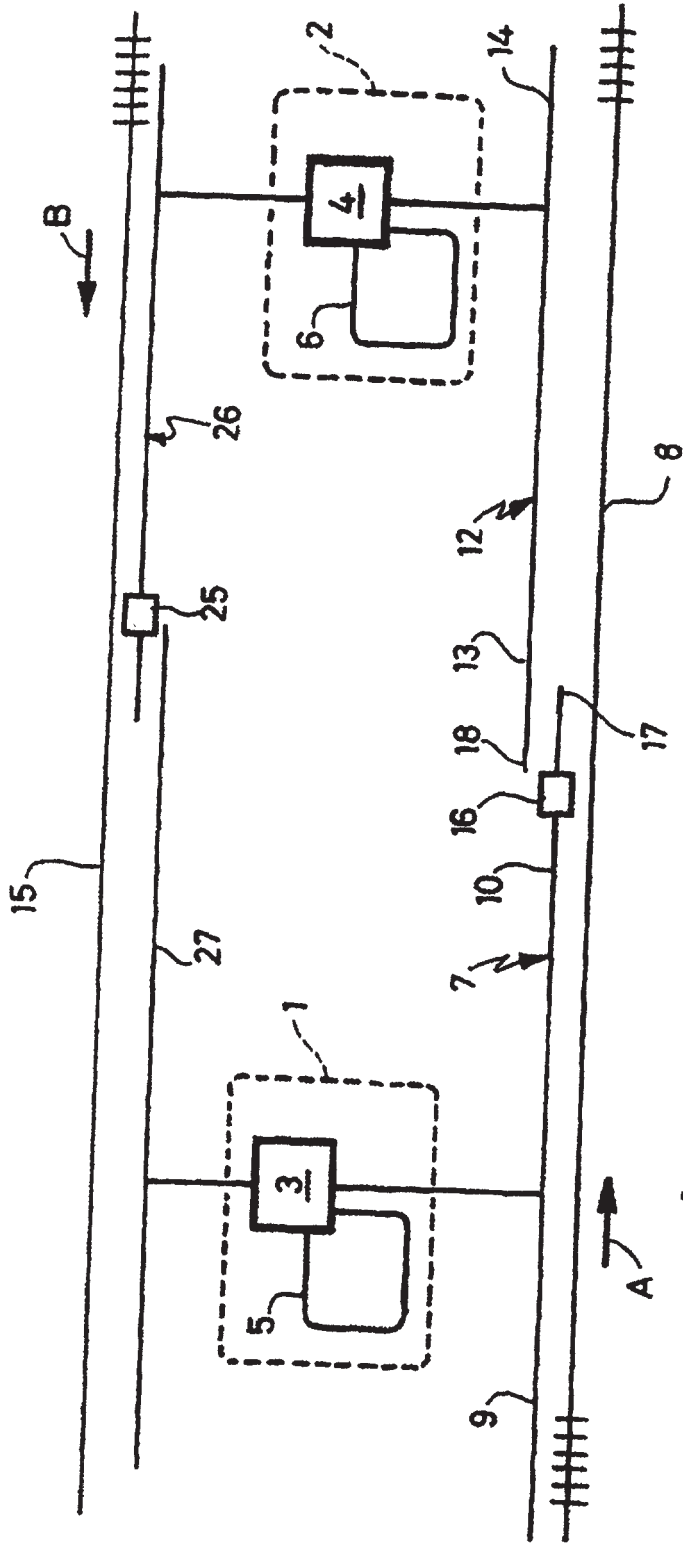


Fig. 1

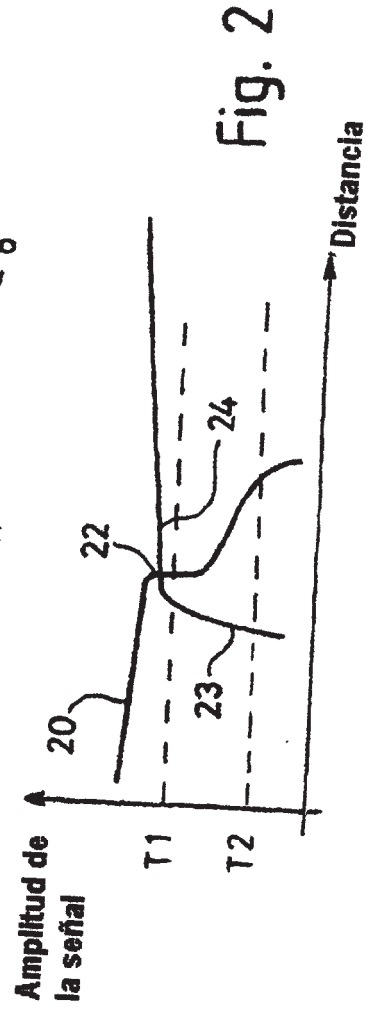


Fig. 2

**CLE2**

## DESCRIPCION

Sistema de alerta ante emergencias de tráfico.

### Objeto de la invención

La presente memoria descriptiva se refiere a una solicitud de Patente de Invención relativa a un sistema de alerta ante emergencias de tráfico, cuya utilidad reside en implementar diversos elementos de manera que es posible alertar a conductores que sintonicen emisoras de radio RDS de accidentes con riesgo de colisión en cadena existentes en el área geográfica en la que conducen.

La invención presenta los dispositivos aplicables a una comunicación en cadena de las notificaciones de accidentes de tráfico con riesgo de colisiones en cadena que generan los agentes de tráfico, cuyo destinatario final son los oyentes de emisoras RDS, que son informados en tiempo real de los citados accidentes.

### Campo de la invención

Esta invención tiene su aplicación dentro de la industria dedicada a la fabricación de elementos, dispositivos y sistemas de telecomunicación y de control de tráfico.

### Antecedentes de la invención

Es conocida la existencia de emisoras y sintonizadores de radio RDS, que operan en la banda de frecuencias comerciales de radio y que son capaces de que un sintonizador cambie de frecuencia en función del área geográfica en la que se encuentra dicho sintonizador, adecuando los contenidos emitidos a dicho área geográfica.

Las emisoras RDS emiten en frecuencias diferentes y con potencias adecuadas con el objeto de que sean captadas por sintonizadores RDS únicamente en su área de implantación, que cambian de frecuencia autónomamente cuando el receptor móvil modifica su situación geográfica, adecuándola a la de la emisora cuya recepción es más potente.

Las actuales emisoras RDS proporcionan información sobre las condiciones de las carreteras de su ámbito según es notificado por la autoridad competente, no actuando en tiempo real y siendo el retraso tanto más acusado cuanto mayor es el área que cubren y los medios de comunicación implantados entre las emisoras RDS y los notificados de las condiciones del tráfico.

Es conocida asimismo la existencia de emisoras tipo Saret, incorporadas a los vehículos de la policía de tráfico, con las que los agentes son capaces mantener una comunicación bidireccional con la central de tráfico.

Sería deseable contar con algún dispositivo o sistema que permitiese la transmisión en tiempo real de las informaciones referentes a las condiciones de tráfico a los conductores que se hallan en el área geográfica próxima, especialmente los mensajes referentes a la existencia de accidentes con riesgo de colisiones en cadena o de las condiciones propicias para que se produzcan este tipo de siniestros.

El solicitante no tiene constancia de la existencia de ningún dispositivo o sistema que permita la comunicación en tiempo real de este tipo de eventos.

### Descripción de la invención

El sistema de alerta ante emergencias de tráfico

que la invención propone constituye una evidente novedad dentro de su campo de aplicación, permitiendo el establecimiento de una red de telecomunicaciones que alerta, en tiempo real, a los conductores de accidentes existentes en el área geográfica en la que se hallan.

Concretamente, la invención se constituye a partir de un sistema de comunicaciones adecuado que transmite la posición y mensaje de alerta generado por un agente de tráfico a la emisora de radio comercial RDS adecuada, que radia el punto geográfico de colisión y mensaje de alerta para que sea recibido por los conductores que sintonicen la emisora RDS presente en esa, y únicamente en esa área.

Así, la presencia de un accidente en una vía será notificado mediante la emisora tipo Saret por un agente de tráfico al Centro de Control de Tráfico que, aparte de las medidas convencionales, activará el software de control que, vía módem, informará selectivamente sobre el mensaje y punto geográfico del accidente a la emisora RDS operativa en el área del mismo, informando únicamente a los conductores que circulan por esa área.

### Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, se acompaña a la presente memoria descriptiva, como parte integrante de la misma, una hoja de planos en la cuál, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura número 1. - Muestra un diagrama de bloques en el que se ilustra el tráfico de información entre los diversos elementos constituyentes de la invención, correspondiente a un sistema de alerta ante emergencias de tráfico.

### Realización preferente de la invención

A la vista de la figura número 1 y única, puede apreciarse como el sistema de alerta ante emergencias de tráfico, está constituido a partir de un centro de coordinación de tráfico (1), que consta de una centralita telefónica, en la cual se recibe la notificación de la incidencia, la cual mediante un software se selecciona a que frecuencia se debe emitir y el mensaje que se va a emitir a los conductores, a través de un módulo de comunicación, bien mediante la utilización de un módem o de forma manual, comunicándose con las emisoras comerciales para activar la emisión de información de tráfico, empleando unas pantallas de visualización, localizando la posición de cada efectivo de tráfico y, se selecciona al más próximo a la zona en que se ha producido la incidencia.

Una vez localizada la ubicación del efectivo de tráfico más cercano, el centro de coordinación de tráfico (1), envía una señal vía módem a una tarjeta controladora (2), que consta de un módem a través del cual se recibe la información procedente del centro de coordinación de tráfico (1) citado anteriormente, que consta de una centralita telefónica receptora de la notificación de la incidencia, la cual activa un codificador RDS (3), el cual emite una orden que activa una señal que indica a los receptores (5) de los vehículos que circulan por la zona, que a partir de ese momento pueden recibir mensajes de tráfico, así como en la



frecuencia que se emiten los mensajes a receptor.

En resumen, el centro de control de tráfico dispone de una centralita en la cual se recibe la notificación de la incidencia, la cual está dotada del software que selecciona, dependiendo de la localización y del tipo de la incidencia, a que frecuencia se debe emitir, ya que no en todas las zonas se puede emitir en la misma frecuencia, debido a que se pueden provocar interferencias con las emisiones comerciales, debiendo indicarse igualmente que el software, a margen de la selección citada anteriormente, también efectúa la selección del tipo de mensaje que se va a emitir a los conductores.

El centro de control de tráfico también dispone de un módulo de comunicación con las emisoras comerciales, con objeto de activar en las mismas el señalizador de emisión de información de tráfico (TA).

La comunicación con las emisoras comerciales puede realizarse de forma automática mediante módem o bien de forma manual, dependiendo del tipo de codificador RDS de que se disponga en la emisora comercial (4).

Por último, el centro de control de tráfico cuenta con un módulo de posicionamiento de efectivos, visualizándose en este módulo y a través de una pantalla la posición de cada efectivo de tráfico, seleccionándose cual de los efectivos de tráfico se encuentra más próximo a la zona en la cual se ha producido la incidencia.

La tarjeta controladora (2) que activa el codificador RDS citado anteriormente de la emisora comercial (4), depende en gran medida del tipo de codificador que se disponga en la emisora comercial, pero básicamente consta de un módem en el que se recibe la información procedente del centro de control de tráfico, y un ordenador tipo PC que activa vía RS232 (puerto serie) el codificador.

En el caso de que el codificador citado ante-

riormente no permitiera la activación automática, ésta se realizaría mediante una llamada de voz al operador de la emisora (4) FM comercial, en la que se le indicaría que activará el señalizador de emisión de información de tráfico y a qué frecuencia se debe comenzar a emitir.

Llegado al punto anterior, lo que se realiza es decirle al codificador RDS comercial (configurado como un equipo estándar del que disponen las emisoras comerciales que emiten con formato RDS), que debe comenzar a emitir el señalizador de mensaje de tráfico (TA) y en que frecuencia se encuentra este mensaje, debiendo indicarse que la frecuencia debe de coincidir con la frecuencia de la emisión de los equipos portátiles localizados en los efectivos de tráfico.

La citada activación puede ser manual o automática dependiendo del tipo de codificador de la emisora.

Al activarse el señalizador se indica a los receptores (5) de Fm de los vehículos que circulan por la zona, que a partir de ese momento pueden recibir mensajes de tráfico.

La emisora comercial (4) envía a los receptores (5) de FM, además del citado señalizador de activación de los mensajes de tráfico, información sobre la frecuencia en la que se encuentran estos mensajes.

En el momento en el cual el receptor (5) FM del vehículo recepta la señal que se están emitiendo los mensajes de tráfico, gestión efectuada en pocos milisegundos dependiendo de la marca y características del receptor (5), va comprobando si hay una emisión en la frecuencia en la que se emiten los mensajes, y si no hay ninguna emisión, el receptor vuelve a la sintonía original, pero si encuentra alguna emisión en esa frecuencia, se queda sintonizado emitiendo el mensaje de tráfico hasta que se finalice esta emisión.

## REIVINDICACIONES

1. Sistema de alerta ante emergencias de tráfico, de los constituidos a partir de la recepción de una notificación de accidente de tráfico recibida en un centro de coordinación de tráfico (1), **caracterizado** porque el centro de coordinación de tráfico (1) se encuentra conectado a una tarjeta controladora (2) mediante vía módem, activando la tarjeta controladora (2) a un codificador RDS (3), remitiendo el mensaje de tráfico y determinando la frecuencia a la cual debe ser emitido el mensaje, colaborando el repetidor de la emisora comercial anunciando a los receptores que hay en

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

la zona que existe un mensaje de tráfico informando de la frecuencia.

2. Sistema de alerta ante emergencias de tráfico, según la primera reivindicación, **caracterizado** porque el centro de coordinación de tráfico localiza en pantalla el efectivo más cercano.

3. Sistema de alerta ante emergencias de tráfico, según las anteriores reivindicaciones, **caracterizado** porque el centro de coordinación de tráfico (1) activa la tarjeta controladora (2), cambiando la frecuencia de emisión de la emisora (4) y el mensaje que va a ser emitido, remitiendo el mismo hacia los receptores RDS (5) que se encuentran en el radio de acción de la emisora.

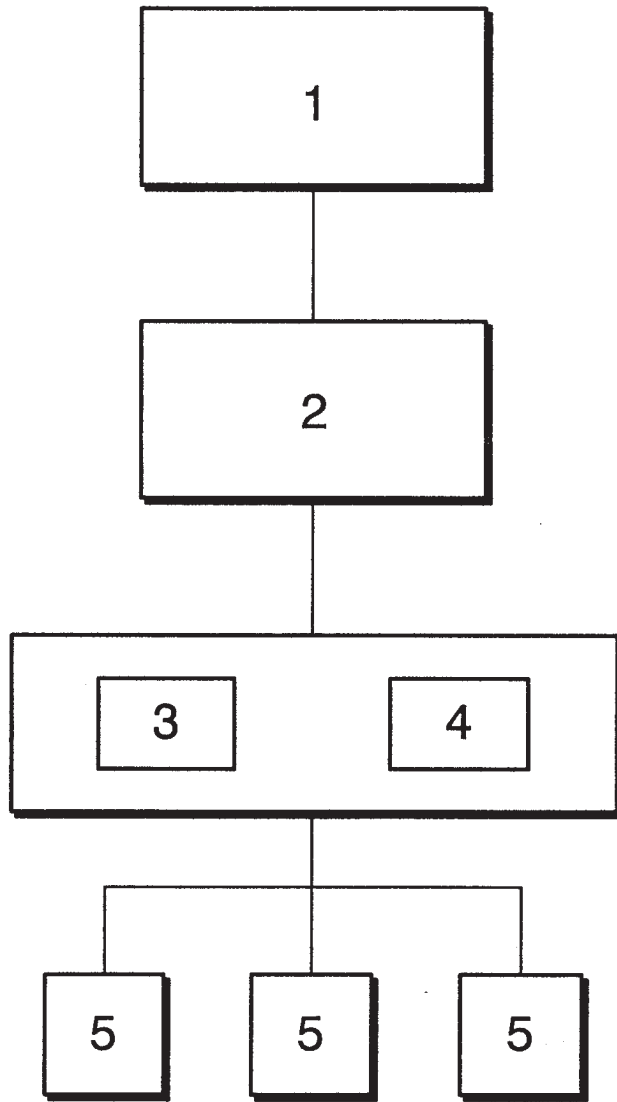


FIG.1

**CLE3**

## DESCRIPCIÓN

Detector óptico activo.

5 La presente invención se refiere a un detector óptico y más particularmente a un detector óptico activo que emite un haz luminoso en una zona a estudiar y que analiza la luz reflejada o transmitida por esta zona.

Un objeto más particular de la presente invención es prever un detector de este tipo que funcione incluso cuando una zona de un medio a estudiar refleja o transmite solamente una parte muy pequeña de la luz recibida.

10 Así, la presente invención se aplica en particular a la detección de obstáculos o de intercaras en unos medios difusores, por ejemplo unos medios orgánicos.

La presente invención prevé los casos en que la luz reemitida es difícilmente detectable por los procedimientos clásicos que utilizan por ejemplo sistemas de sombreador y de detección síncrona.

15 La presente invención prevé reinyectar en un láser una luz reemitida a una frecuencia desplazada con respecto a la frecuencia de emisión del láser, utilizando un tipo de láser específico, a saber un láser de clase B que, cuando se reinyecta en el mismo luz a una frecuencia desplazada en un valor correspondiente sensiblemente a una frecuencia propia o frecuencia de relajación de este láser, produce un haz láser modulado, correspondiendo la amplitud de la modulación a un factor del orden de  $10^3$  a  $10^6$  con respecto a una detección heterodina clásica.

Más particularmente, la presente invención prevé un detector óptico que comprende una fuente láser de clase B que emite un haz a una primera frecuencia óptica; un medio que interactúa con el haz para proporcionar una radiación de frecuencia óptica modificada, siendo el desplazamiento entre la primera frecuencia y la frecuencia modificada próximo a una frecuencia de relajación del láser; un medio para irradiar una zona elegida de un medio a estudiar por la radiación a la frecuencia modificada; un medio para inyectar en el láser luz reflejada por la zona elegida; y un medio para detectar la perturbación aportada en la emisión láser por la luz reinyectada.

30 Según un modo de realización de la presente invención, este detector comprende unos medios de barrido de la zona a estudiar.

Según un modo de realización de la presente invención, este detector comprende unos medios de barrido en frecuencia de la radiación emitida por el láser.

35 Según un modo de realización de la presente invención, el medio de irradiación está constituido por un objetivo.

Según un modo de realización de la presente invención, el medio de detección comprende un fotodetector seguido de un sistema de detección síncrona.

40 Según un modo de realización de la presente invención, el medio para proporcionar una radiación de frecuencia óptica modificada consiste en un medio que posee un efecto electro-óptico o acusto-óptico excitado por un oscilador a una frecuencia que corresponde a la diferencia entre la frecuencia óptica modificada y la primera frecuencia óptica o uno de sus submúltiplos.

45 Esos objetos, características y ventajas, así como otras de la presente invención serán expuestos en detalle en la descripción siguiente de modos de realización particulares dada a título no limitativo en relación con las figuras anexas, entre las cuales:

50 la figura 1 representa esquemáticamente y en forma de bloques un primer modo de realización de la presente invención;

la figura 2 representa esquemáticamente y en forma de bloques un segundo modo de realización de la presente invención;

55 la figura 3 representa esquemáticamente y en forma de bloques un tercer modo de realización de la presente invención.

60 Como representa la figura 1, la presente invención utiliza un láser 1 de clase B bombeado ópticamente o eléctricamente. En el modo de realización representado, se utiliza un bombeo óptico simbolizado por una bomba óptica 2. El haz 3 emitido por el láser atraviesa un modulador óptico 4 que tiene por efecto proporcionar de salida un haz láser 5 que comprende por lo menos una parte de la energía incidente desplazada en frecuencia de una frecuencia F y/o de uno o varios de sus múltiplos enteros. El haz láser 5 con su o sus frecuencias desplazadas es enviado sobre un sistema óptico 6 que proporciona un haz 7 reorientado y enfocado en un punto 8 de un medio 9. La luz de retorno reemitida por reflexión y/o retrodifusión a partir del punto de enfoque es retransformada por el objetivo 6 en un haz que vuelve al láser 1 cuyo funcionamiento es afectado de una forma que será puesta a continuación.

El modulador 4 es mandado por un oscilador 11 que funciona a una frecuencia F. Una parte del haz emitido por el láser es reflejado por una separadora 12 hacia un fotodetector 13 seguido preferentemente por un amplificador 14 del cual se detecta la salida preferentemente por un circuito de detección síncrona 15 que permite la detección de la señal recibida a la frecuencia F (y/o a un múltiplo de esta frecuencia). El detector síncrono 15 está conectado a un dispositivo de provisión de información 16, por ejemplo un sistema de visualización.

El funcionamiento del detector según la presente invención se basa, como se ha indicado anteriormente, en la utilización de un láser de clase B. Un láser de este tipo, cuya definición científica es que se trate de un láser para el cual la duración de vida de la inversión de población del medio amplificador es mayor que la duración de vida de la cavidad láser, puede ser un láser con semiconductor o un láser de sólido.

El láser puede estar equipado con uno o varios elementos ópticos que permiten una selección y/o un barrido de la o de las frecuencias ópticas. El láser puede emitir una sola frecuencia óptica (láser monomodo) o varias frecuencias ópticas (láser multimodo). La emisión del láser puede ser polarizada o no. Este láser puede ser bombeado por un láser llamado de bomba si el bombeo debe ser óptico. El bombeo puede también ser eléctrico como es el caso generalmente para los láseres de semiconductores. La zona de las frecuencias ópticas emitida por el láser 2 está adaptada a las respuestas ópticas de los medios a analizar o a detectar.

Un láser de clase B presenta la particularidad de que, cuando se reinyecta en él luz a una frecuencia modificada desplazada en una frecuencia F (o un múltiplo de una frecuencia F) próximo a la frecuencia propia o frecuencia de relajación del láser, se produce una modulación de la intensidad luminosa a la frecuencia F. Esto equivale a una amplificación de la potencia reinyectada en un factor que puede, según el láser, y según la regulación de la frecuencia de desplazamiento ser del orden del  $10^3$  a  $10^6$ .

El desplazador de frecuencia óptica 4 permite generar a partir de un haz luminoso emitido por el láser a una frecuencia óptica, llamada frecuencia portadora, uno o varios haces ópticos 5 a una o varias frecuencias ópticas desplazadas en frecuencia. Este desplazamiento en frecuencia se realiza a una frecuencia F y/o a sus múltiplos enteros. El desplazamiento de frecuencia puede ser positivo y/o negativo.

El desplazamiento de la frecuencia óptica puede realizarse con la ayuda de una modulación de amplitud o de una modulación de frecuencia o de fase de la onda emitida por el láser. La modulación de amplitud puede realizarse con la ayuda de un modulador que posee un efecto electro-óptico o elasto-óptico. La modulación de la frecuencia o de fase puede realizarse con la ayuda de un medio que posea un efecto electro-óptico.

Uno o varios de estos elementos ópticos pueden ser móviles o permitir una desviación o una traslación del haz óptico.

El sistema óptico puede incluir uno o varios filtros ópticos que permiten filtrar o atenuar la luz inyectada en el láser.

La separadora 12 tiene por objetivo extraer una parte del haz 3 enviado sobre el objeto a medir para desviarla hacia el fotodetector 13. Se observará que esta separadora puede ser selectiva en frecuencia óptica o en polarización óptica.

Las figuras 2 y 3 representan unas variantes del dispositivo de la figura 1. En estas variantes, los mismos elementos están designados por las mismas referencias.

La figura 2 representa un sistema muy similar al de la figura 1 pero en el cual la separadora 12 (dispuesta entre el láser y el modulador 4 en la figura 1) está remplazada por la separadora 12' dispuesta al otro lado del láser, por ejemplo entre el láser y la bomba óptica en la figura 2.

La figura 3 representa otra variante del sistema en el cual el sistema de retrodifusión o de reflexión de luz está reemplazado por un sistema de transmisión. La luz es enviada hacia el medio estudiado de la misma manera que ha sido expuesta anteriormente por un láser 1, un modulador 4 y un objetivo 6. La luz 7' que ha atravesado el medio es recogida por un objetivo 6' que da una imagen del punto de enfoque y esta luz es reinyectada en el láser por una separadora 12''.

#### *Utilización del detector*

Se describirá más particularmente a continuación la utilización del detector según la presente invención en el modo por retrodifusión o reflexión tal como se ha ilustrado en relación con las figuras 1 y 2. El experto en la materia podrá adaptar sin dificultades estas explicaciones al modo de funcionamiento por transmisión tal como se ha ilustrado en la figura 3.

Si, por ejemplo, se busca identificar (ver figura 1) un cuerpo 20 que presenta con un medio difusor 9 una intercara cuyo coeficiente de difusión/reflexión es distinto que el del medio difusor, se regula el objetivo 6 en distancia hasta que se observa un pico de luz reemitida y se sabe entonces que se encuentra a nivel de la intercara. Se podrán prever diversos medios de desplazamiento según las direcciones x, y y z y en rotación para proporcionar una imagen del cuerpo 20.

Puede también ocurrir que las intercaras o unas deshomogeneidades del medio presenten unas variaciones de difusión/reflexión particularmente marcadas en ciertas longitudes de onda. Se puede entonces prever un láser 1 con longitud de onda variable y modificar la regulación del láser para adaptarse a la longitud de onda a nivel de la cual la detección es susceptible de ser más elevada. Este podrá en particular ser utilizado para detectar la presencia o la ausencia de un gas en un medio, para constituir por ejemplo un detector de fuga de gas.

Desde luego, la presente invención es susceptible de diversas variantes y modificaciones que aparecerán al experto en la materia. En particular, el generador de radiofrecuencia puede suministrar dos frecuencias F1 y F2 y la desmodulación puede realizarse sobre una combinación de estas dos frecuencias, por ejemplo F1-F2.

Por otra parte, los diversos trayectos ópticos, en particular entre el láser 2 y el objetivo 6, pueden realizarse por fibras ópticas y la invención puede ser adaptada a unos sistemas de tipo endoscopio.

La detección por reinyección selectiva con un láser de clase B puede hacerse múltiplex utilizando por ejemplo:

- varios módulos conectados por unas fibras ópticas al sistema óptico 6;
- una varilla con una o dos dimensiones de láseres de clase B desplazados en las mismas frecuencias ópticas y una varilla de fotodetectores con una o dos dimensiones;
- una varilla con una o dos dimensiones de láseres de clase B desplazados por diferentes frecuencias ópticas, y un fotodetector seguido de un desmodulador que asegura una desmodulación a las diversas frecuencias.

### Explicación teórica

Aunque esto no forme parte integrante de la presente invención, se darán a continuación a título de indicación diversos cálculos y ecuaciones que permiten comprender mejor el fenómeno utilizado por la presente invención. Sin embargo, esto no debe ser considerado como una limitación de la presente invención.

El principio del procedimiento puede ser comprendido en términos de modulación de la ganancia del láser, modulación inducida por la reinyección de una parte del haz láser desplazado en frecuencia. Esta modulación de la ganancia resulta de una interacción entre el campo eléctrico  $E_L$  que oscila en la cavidad del láser y del campo eléctrico reinyectado  $E_{L,S}$  desplazado en una frecuencia F.

Las ecuaciones más generales para describir la dinámica del sistema son las ecuaciones del láser inyectado (ver por ejemplo A. E. Siegmann, *Lasers*, ed. University Science Books, 1986).

En el caso en que el láser es un láser de clase B, las ecuaciones se llevan al sistema de ecuaciones siguiente:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N_0 - N}{T_1} - B|E_L|^2 N \quad (1)$$

$$\frac{dE_L}{dt} = \frac{BE_L N}{2} - \frac{E_L}{2T} + \frac{1}{T} E_{L,S} \cos(\Psi_L(t) + \Phi_{L,S}(t)) \quad (2)$$

$$\frac{d\Psi_L}{dt} = \omega_L - \omega_{L,S} - \frac{1}{T} \frac{E_{L,S}}{E_L} \sin(\Psi_L(t) + \Phi_{L,S}(t)) \quad (3)$$

donde:

N es la inversión de población,

$T_1$  es la duración de vida de la inversión de población,

$\Psi_L$  es la diferencia de fase entre los campos eléctricos  $E_L$  y  $E_{L,S}$ ,

$\Phi_{L,S}$  es la fluctuación de fase de la luz reinyectada en la cavidad,

$\omega_L$  es la frecuencia óptica del campo eléctrico  $E_L$  en la cavidad,

$\omega_{L,S}$  es la frecuencia óptica del campo eléctrico  $E_{L,S}$  reinyectado en la cavidad del láser,

T es la duración de vida de los fotones en la cavidad,

B es el coeficiente de Einstein.

*Orden de magnitud*

5 En el sistema según la invención, en el cual la reinyección es baja y la relación  $m_s = E_{L,s}/E_L$  es pequeña, el segundo término de la ecuación (3) puede ser despreciado. En el caso de un láser inyectado en una fuente exterior, esto viene a decir que el láser se encuentra fuera de la zona de enganchado definida por:

$$10 \quad \frac{\Delta\omega}{2\pi} = \frac{1}{T} \frac{E_{L,s}}{E_L}$$

Integrando la ecuación (3), se obtiene

$$15 \quad \Psi(t) = (\omega_L - \omega_{L,s})t + C = 2\pi Ft + C$$

en la que C es una constante de integración.

20 El campo eléctrico reinyectado en la cavidad del láser se obtiene escribiendo:

$$25 \quad E_{L,s}(t) = \frac{m_s}{2} E_L(t - t_d)$$

en la que  $t_d$  es el tiempo de ida y vuelta de la onda emitida y reinyectada en el láser. Siendo este tiempo  $t_d$  corto con respecto a la inversa de la frecuencia F, se desprecia este retardo puro. En estas condiciones, poniendo la intensidad luminosa en la cavidad láser  $I_L = |E_L|^2$  y, utilizando las variables reducidas siguientes:

$$30 \quad \tau = t/T_1; \quad n = BTN; \quad \alpha = N_0BT$$

$$35 \quad s = BT_1I; \quad \gamma = T_1/T,$$

se obtiene el sistema de ecuaciones siguiente:

$$40 \quad \frac{ds}{d\tau} = \gamma(n - 1)s + \gamma m_s \cos(2\pi Ft + \Phi_{L,s}(t)) \quad (4)$$

$$45 \quad \frac{dn}{d\tau} = \alpha - n - ns \quad (5)$$

50 en las que s describe la intensidad del láser y n la inversión de población. Este sistema describe bien un láser para el cual la ganancia o las pérdidas son moduladas.

En ausencia de reinyección, los valores estacionarios de la intensidad y de la inversión de población son respectivamente:

$$55 \quad s_{st} = \alpha - 1 \quad \text{y} \quad n_{st} = 1$$

Para una reinyección muy baja ( $m_s \ll 1$ ) las ecuaciones (4) y (5) resultan:

$$60 \quad \frac{d\Delta n}{dt} = -\alpha\Delta n - \Delta s$$

$$65 \quad \frac{d\Delta s}{dt} = \gamma s_{st} \Delta n + \gamma m_s s_{st} \cos(2\pi Ft + \Phi_{L,s}(t))$$



en las que  $\Delta n$  y  $\Delta s$  son respectivamente la variación de la inversión de población y de la intensidad luminosa en el proximidad de los valores estacionarios  $n_{st}$  y  $s_{st}$ .

5 Eliminando la inversión de población, se obtiene la ecuación que describe la modulación de la intensidad luminosa emitida por el láser

$$10 \quad \frac{d^2 \Delta s}{dt^2} + \alpha \frac{s \Delta s}{dt} + \gamma(\alpha - 1) \Delta s = \gamma(\alpha - 1) m_s [\alpha \cos(2\pi Ft + \Phi_{L,S}) - 2\pi F s \sin(2\pi Ft + \Phi_{L,S})]$$

La resolución de esta ecuación da la expresión de la amplitud de la modulación de la intensidad luminosa emitida por el láser reinyectado en función del desplazamiento de frecuencia  $F$ .

$$15 \quad \Delta s(\Omega) = \frac{\sqrt{\Omega^2 + \alpha^2}}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2) + \alpha^2 \Omega^2}} \gamma(\alpha - 1) m_s$$

con  $\Omega = 2\pi F$  y  $\omega_0^2 = \gamma(\alpha - 1)$ .

20 Esta función tiene una resonancia para  $F = \frac{\sqrt{\gamma(\alpha - 1)}}{2\pi}$

25 El porcentaje de modulación de la luz pasa entonces por un máximo que es

$$30 \quad \frac{|\Delta s(\Omega = \omega_0)|}{s_{st}} = \frac{\sqrt{\omega_0^2 + \alpha^2}}{\alpha \omega_0} \gamma m_s \approx \frac{\gamma}{\alpha} m_s$$

Esta señal de modulación es del orden de  $10^3$  veces más importante que para la señal que se obtiene con la ayuda de una detección heterodina clásica (sin amplificación por el láser) en el caso en que el láser es un diodo láser, y de  $10^6$  para un láser de sólido del tipo microláser. Son estos coeficientes de amplificación muy elevados ( $10^3$  a  $10^6$ ) que constituyen el interés del sistema según la invención.

## REIVINDICACIONES

1. Detector óptico **caracterizado** porque comprende:

5

- una fuente láser (1) de clase B que emite un haz (3) a una primera frecuencia óptica;
- un medio (4) que interactúa con el haz (3) para proporcionar una radiación (5) a frecuencia óptica modificada, siendo el desplazamiento entre la primera frecuencia y la frecuencia modificada próximo a una frecuencia de relajación del láser;
- un medio (6) para irradiar una zona elegida de un medio a estudiar por la radiación a la frecuencia modificada;
- un medio (6; 6', 12'') para inyectar en el láser luz reflejada por la zona elegida;
- un medio (9, 14, 15, 16) para detectar la perturbación aportada a la emisión láser por la luz reinyectada.

10

15

2. Detector óptico según la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende unos medios de barrido de la zona a estudiar.

20

3. Detector óptico según la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende unos medios de barrido en frecuencia de la radiación emitida por el láser.

25

4. Detector óptico según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el medio de irradiación (6) está constituido por un objetivo.

30

5. Detector óptico según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el medio de detección comprende un fotodetector (9) seguido de un sistema de detección síncrona (15).

6. Detector óptico según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el medio (4) para proporcionar una radiación a frecuencia óptica modificada consiste en un medio con efecto electro-óptico o acusto-óptico excitado por un oscilador a una frecuencia que corresponde a la diferencia entre la frecuencia óptica modificada y la primera frecuencia óptica o uno de sus submúltiplos.

35

40

45

50

55

60

65

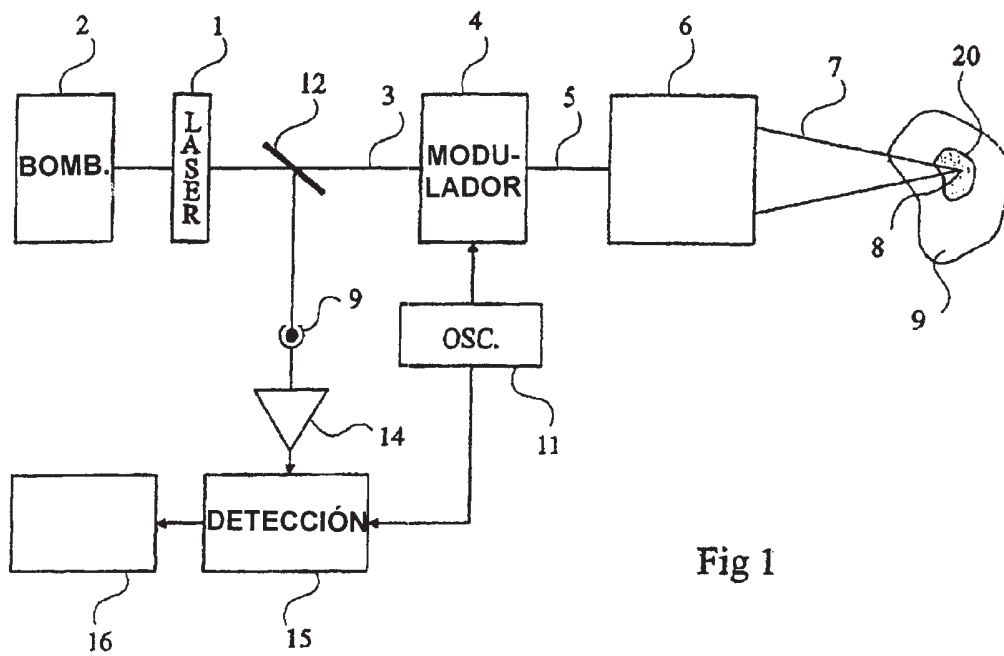


Fig 1

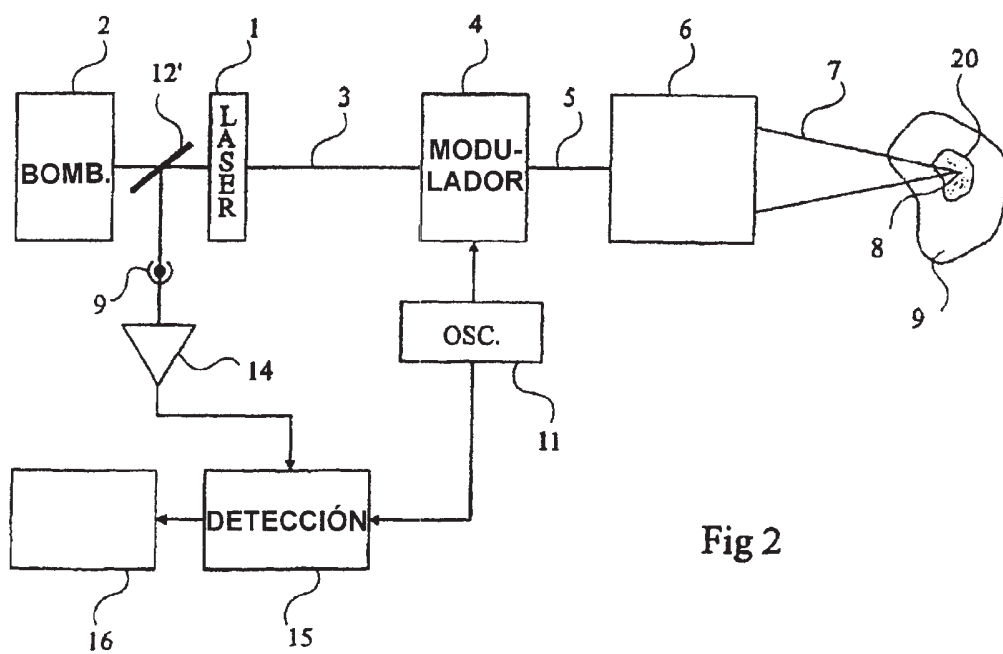


Fig 2

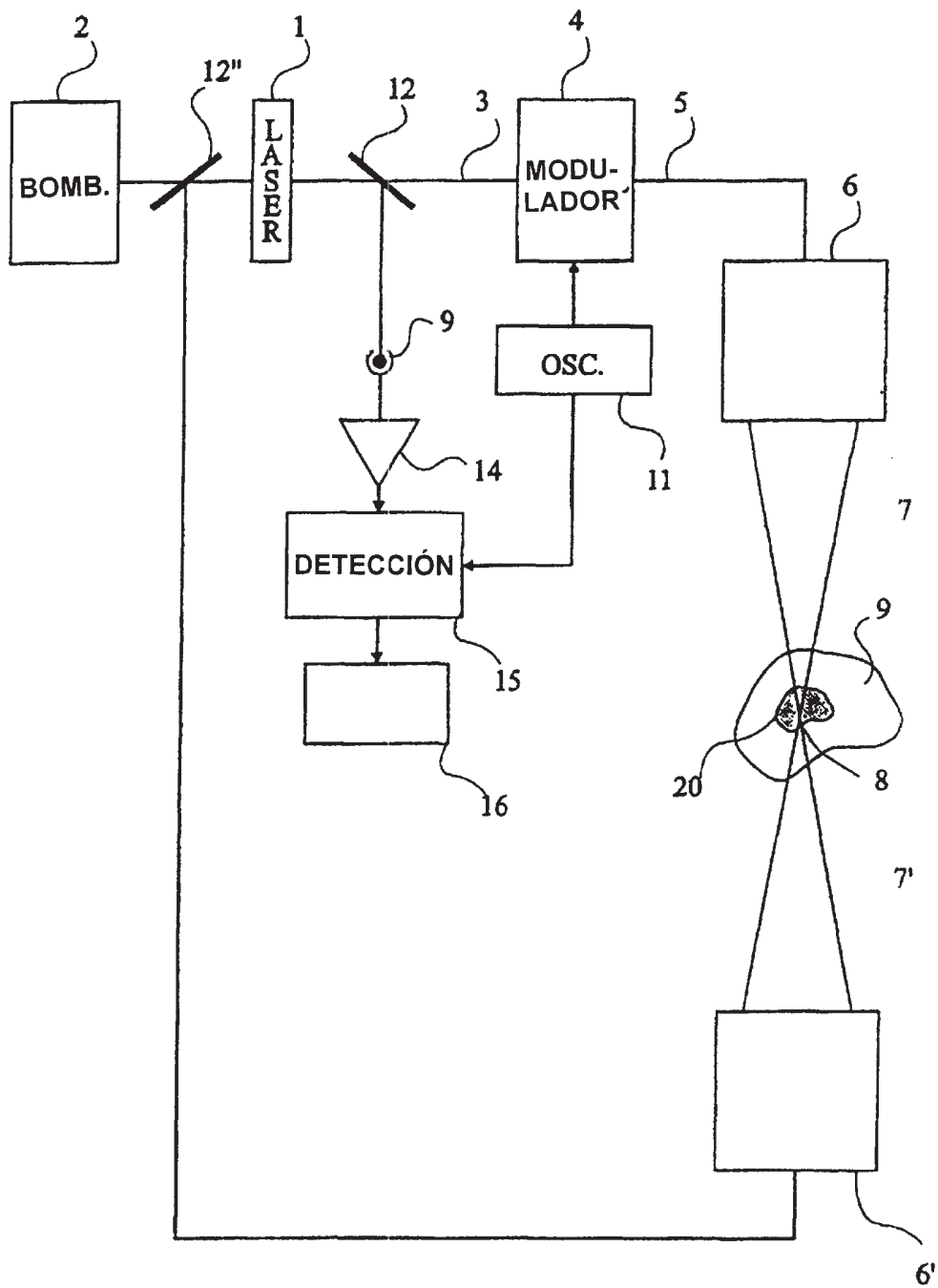


Fig 3



**PRUEBAS SELECTIVAS PARA INGRESO EN LA ESCALA DE TITULADOS SUPERIORES DE ORGANISMOS AUTÓNOMOS DEL MITC, ESPECIALIDAD DE PROPIEDAD INDUSTRIAL, CONVOCADAS POR ORDEN MINISTERIAL IET/1557/2014, DE 30 DE JULIO (BOE 1 DE SEPTIEMBRE DE 2014, Nº 212).**

## **CUARTO EJERCICIO**

### **B) REDACCIÓN DE UN RESUMEN DE UNA PATENTE**

#### **INSTRUCCIONES**

**PRIMERA:** El documento para resumir viene identificado por el siguiente código:

- Rama eléctrica: RE

- Rama mecánica: RM

**SEGUNDA:** Para elaborar el resumen se tendrán en cuenta las pautas señaladas en el artículo 10 del Reglamento para la ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes, aprobado por Real Decreto 2245/1986, de 10 de octubre.

En consecuencia, tendrá una extensión máxima de 150 palabras, indicará el título de la invención y contendrá una exposición concisa de la descripción, reivindicaciones y, en su caso, dibujo/s más característico/s. El resumen deberá permitir una fácil comprensión del problema técnico planteado, la solución aportada y el uso o usos principales de la invención.

**TERCERA:** En su caso, se considerarán como dibujo/s más característico/s de la invención el/los que señale el aspirante, sin que sea necesario reproducirlo/s.

**CUARTA:** Comience esta prueba en una hoja nueva.

**RE**

## **DESCRIPCIÓN**

### **EQUIPO MEDIDOR DE RUIDO AMBIENTAL**

#### **OBJETO DE LA INVENCION**

5

La invención, tal como expresa el enunciado de la presente memoria descriptiva, se refiere a un equipo medidor de ruido ambiental, el cual aporta a la función a que se destina una serie de ventajas e innovadoras características, aparte de otras inherentes a su organización y constitución, que se describirán en detalle más adelante, que suponen una mejorada alternativa a los sistemas actualmente conocidos para el mismo fin.

De forma más concreta, la invención tiene por objeto un equipo que comprende una red de dispositivos de medición, que se extiende de forma más o menos amplia sobre una zona determinada, por ejemplo una ciudad, sin que se descarte contar con un único dispositivo de medición, y cuya misión es evaluar el ruido ambiental de diferentes puntos estratégicos sirviendo como herramienta para elaborar, en la estación base a la que están conectados, mapas de ruido de dicha zona durante un período de tiempo prolongado, realizando una función de punto fijo de medición automática constante que, ventajosamente, además de resultar más económica que con los sistemas convencionales, no precisa de la presencia de técnicos especializados en cada punto de medición.

#### **CAMPO DE APLICACIÓN DE LA INVENCION**

El campo de aplicación de la presente invención se enmarca dentro del sector técnico de la protección y prevención medioambiental, centrada en el ámbito del control de niveles acústicos.

#### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Hasta ahora, la forma de conocer correctamente el panorama acústico de una zona y/o localidad, para por instalar varias unidades de medición fijas, el número de las cuales dependerá del grado de precisión que se requiera.

5

Dichas estaciones tienen un gran volumen, debido al tamaño de sus componentes internos, fundamentalmente a los acumuladores de energía que las hacen funcionar.

10

Además, cada una de tales estaciones comporta un coste de mantenimiento considerablemente elevado, ya que se trata de estaciones de medición e interpretación de datos completas. Por tanto, cuanto más amplia es la zona a evaluar, más costosa es la instalación puesto que requerirá mayor número de estaciones, elevándose dicho coste de forma exponencial con cada una de ellas.

15

Sería deseable, pues, contar con un sistema para la medición de ruido medioambiental en todo tipo de zonas que evitara tales inconvenientes, en el que por ejemplo, independientemente de su extensión, el coste fuera reducido permitiendo realizar estudios y controles sin tener que someterlos a restricciones debidas al coste económico de la adquisición de los equipos, al coste de la instalación de los mismos, al coste de su mantenimiento y/o al coste del personal técnico que se ocupe de su funcionamiento, siendo este el objetivo de la presente invención.

20

25

Cabe señalar, por otra parte, que como referencia al estado de la técnica, si bien existen en el mercado diferentes tipos de sistemas, dispositivos y equipos para la evaluación y medición de ruidos, por parte del solicitante se desconoce la existencia de ninguno que presente unas características técnicas, estructurales y constitutivas semejantes a las que presenta el que aquí se preconiza.

30

35 **EXPLICACIÓN DE LA INVENCION**



Así, el equipo medidor de ruido ambiental que la invención propone, se constituye como una destacable novedad dentro de su campo de aplicación, ya que a tenor de su implementación y de forma taxativa, se alcanzan satisfactoriamente los objetivos anteriormente señalados como idóneos, estando los detalles caracterizadores que lo hacen posible y lo distinguen de lo ya conocido, adecuadamente recogidos en las reivindicaciones finales que acompañan a la presente memoria descriptiva.

Para ello, y de forma concreta, lo que la invención propone se configura a partir de una pluralidad de dispositivos de medición, formando una red más o menos extensa, cuya mínima expresión será contar con un único dispositivo, y cuya misión es evaluar el ruido ambiental de diferentes puntos estratégicos (al menos de un punto). Dicha red se extiende, por ejemplo, sobre toda o parte de una ciudad (según estén dispuestas las áreas de sensibilidad acústica) y su objetivo será servir como herramienta para la evaluación de las diversas zonas de impacto acústico, para la elaboración de mapas de ruido de la ciudad. En otra posible aplicación, la red de dispositivos de medición del equipo preconizado se puede fijar en las instalaciones de una fábrica, en cuyo caso se obtendría un mapa de exposición al ruido de los trabajadores. El equipo, por tanto, sirve para toda aquella aplicación que comprenda la medición de ruido en interiores y/o exteriores durante un tiempo prolongado.

Es importante destacar, además, que los citados dispositivos constituyen una red de medidores de ruido simples conectados a, al menos, una estación base completa con toda su operatividad, siendo la única funcionalidad de dichos dispositivos la de tomar medidas de presión sonora instantánea (SPL) y enviarlas en tiempo real a dicha estación o estaciones base, la cual, a su vez, cuenta con medios de conexión a un servidor informático de Internet, con el consiguiente abaratamiento de costes.

Así pues, el equipo comprende, básicamente, dos tipos de elementos, a saber, la estación o estaciones base y los dispositivos

medidores sencillos, que denominaremos dispositivos secundarios, asociados a ellas. Cada estación base, en caso de existir más de una en un mismo equipo, se sincroniza con un número determinado de dispositivos secundarios, recibiendo su información a intervalos de tiempo fijos, según las necesidades de la aplicación.

La estación base, está formada por un recinto cerrado, a modo de cubo, construido en material resistente, como pueden ser algunos plásticos y/o metales. En su interior se encuentran alojados un circuito impreso o PCB (*Printed Circuit Board*) con los componentes electrónicos necesarios para realizar mediciones de ruido de alta calidad, una o más baterías de alta capacidad que garantizan su funcionamiento ante eventuales cortes de suministro eléctrico, un módem de transmisión de datos al servidor informático y los demás elementos necesarios para su funcionamiento.

Por su parte, el circuito impreso de dicha estación base cuenta con una memoria FLASH interna (no volátil) en la que se registran los parámetros acústicos y todas las incidencias acaecidas durante el tiempo de medición. Esta información, además, también puede ser enviada, a través de Internet, al servidor en el cual se encuentra alojada una base de datos, utilizando para ello la red GPRS, la red de satélites de telecomunicaciones o cualquier otra vía que garantice la recepción de la información.

El acceso a la memoria FLASH se realiza mediante conexión física (in situ) al dispositivo, gracias a un puerto USB V 2.0 o cualquier otro de mayor velocidad de transferencia de datos de que está dotado, mientras que a la base de datos se accede a través de una página web asociada, que interpreta la información y la muestra de manera sencilla.

Exteriormente al descrito recinto, la estación base cuenta, además, con un micrófono de intemperie y una antena de comunicaciones, pudiendo contar, opcionalmente, con la incorporación de un dispositivo de generación de energía eléctrica de aprovechamiento solar (panel solar), adquiriendo así autonomía energética.

Lógicamente, tanto el recinto de la estación base como los elementos externo al mismo están convenientemente preparados para soportar todo tipo de condiciones climatológicas.

5

Siguiendo con la invención, y como se ha señalado anteriormente, además de dicha estación o estaciones base, el equipo cuenta con diversos dispositivos de medición secundarios (puntos de medida) asociados a ellas, cuya misión es tomar parámetros acústicos en puntos alejados que, dependiendo de la aplicación, pueden estar instalados a una distancia entre sí y/o de la estación base de solo unos pocos metros o de varios cientos. De esta forma, la red compuesta por varios dispositivos de medición y una estación base tiene un radio de medición mucho más amplio que los sistemas de medición convencionales con un solo punto.

10  
15

Estos dispositivos de medición secundarios tienen un tamaño mucho menor que el de la estación base. Así mismo, su estructura es también más sencilla, estando formados por una pequeña carcasa, cuya electrónica es autoalimentada por una placa solar o mediante acumuladores de larga duración, comprendiendo un micrófono y una memoria de almacenamiento FLASH simple, cuyo objetivo es registrar los niveles acústicos de un periodo de tiempo corto, después del cual son enviados a la estación base (con la encriptación adecuada ) donde son procesados e interpretados convenientemente.

20  
25

Como la distancia entre los dispositivos de medición secundarios y la estación base es, a lo sumo, varios cientos de metros, el transmisor a utilizar es de baja potencia, consistiendo en un transmisor de radio frecuencia convencional o cualquier otro método que garantice el envío de la información a la estación base. Este método sencillo de transmisión no utiliza redes o canales de comunicación de terceros.

30

Otra característica a resaltar de los dispositivos de medición secundarios que utiliza el equipo de la invención es su facilidad de instalación. Su autonomía y su pequeño tamaño permiten acoplar los

35

dispositivos en prácticamente cualquier sitio, pasando desapercibidos para el viandante.

En consecuencia, el conjunto de los descritos dispositivos de medición secundaria y la estación base forman un "array" (expresión de lenguaje informático que designa un conjunto de elementos ordenados de un mismo tipo) de medición acústica cuyo objetivo es evaluar con mayor detalle el nivel de ruido de una determinada zona, con la ventaja de que el coste del mismo es notablemente más reducido que el de los equipos o sistemas convencionales.

Visto lo que antecede, se constata que el descrito equipo medidor de ruido ambiental representa una innovación de características estructurales y constitutivas desconocidas hasta ahora para tal fin, razones que unidas a su utilidad práctica, la dotan de fundamento suficiente para obtener el privilegio de exclusividad que se solicita.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva, como parte integrante de la misma, de un juego de planos, en los que con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado lo siguiente:

La figura número 1.- Muestra, mediante un diagrama de bloques, una representación esquematizada de un ejemplo de realización del equipo medidor de ruido ambiental objeto de la invención, apreciándose en ella las principales partes y elementos que comprende así como la configuración y disposición de los mismos.

Las figuras número 2 y 3.- Muestran, en respectivos diagramas de bloques, sendas representaciones esquemáticas de una estación base y de un dispositivo de medición secundarios, apreciándose en ellas los principales elementos que comprenden cada uno de ellos.

## REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

5 A la vista de las mencionadas figuras, y de acuerdo con la numeración adoptada, se puede apreciar en ellas un ejemplo de realización de la invención, la cual comprende las partes y elementos que se indican y describen en detalle a continuación.

10 Así, tal como se observa en dichas figuras, el equipo (1) en cuestión comprende uno o una pluralidad de dispositivos secundarios (2) de medición de ruido que, repartidos, en su caso, estratégicamente conformando una red más o menos amplia sobre la zona a medir de que se trate, se hallan conectados a, al menos, una estación base (3), sirviendo para tomar medidas de presión sonora instantánea (SPL) y  
15 enviarlas en tiempo real a dicha estación o estaciones base (3), la cual, a su vez, está conectada a un servidor (4) de Internet; en que cada estación base (3), en caso de existir más de una en un mismo equipo (1), se sincroniza con un número determinado de dispositivos secundarios (2), recibiendo su información a intervalos de tiempo fijos, según las  
20 necesidades de la aplicación.

Tal como se aprecia en la figura 2, la estación base (3), está formada por un recinto cerrado (5), construido en material resistente, tal como plástico o metal, en cuyo interior se alojan, entre otros elementos  
25 necesarios para su funcionamiento (no representados por ser convencionales), un circuito impreso (6) con componentes electrónicos para realizar mediciones de ruido de alta calidad y memoria FLASH interna (7), una o más baterías (8) de alta capacidad, y un módem (9) para transmisión de datos al servidor (4), utilizando la red GPRS, la red de  
30 satélites de telecomunicaciones o cualquier otra vía de comunicación (10) que garantice dicha transmisión.

El citado circuito impreso (6), además, dispone de puerto de conexión (11) USB v 2.0 o cualquier otro de mayor velocidad de  
35 transferencia de datos, para poder acceder a la memoria FLASH interna (7), mientras que a la base de datos que almacena el servidor (4) se

accede desde cualquier PC, PDA o dispositivo electrónico adecuado, a través de una página web asociada, que prevista para tal fin, interpreta la información y la muestra de manera sencilla.

5                    Además, exteriormente a su recinto (5), la estación base (3) cuenta, también con un micrófono (12) de intemperie y una antena (13) de comunicaciones.

10                    Opcionalmente, se contempla la incorporación de un panel solar (14) como dispositivo de generación de energía eléctrica complementario o sustitutivo de las baterías (8).

15                    Por su parte, los dispositivos secundarios (2) de medición de ruido, que pueden estar instalados a una distancia entre sí y/o de la estación base (3) de solo unos pocos metros o de varios cientos, están formados, como se observa en la figura 3, por una pequeña carcasa (15), dotada de placa solar o de baterías (8) de larga duración para su alimentación (como es el caso representado), en cuyo interior comprende un micrófono (12) y una memoria FLASH simple (16), la cual registra los  
20                    niveles acústicos de un periodo de tiempo corto y, con la encriptación adecuada, los envía mediante transmisor (17) de radio frecuencia convencional o cualquier otro dispositivo de simplicidad similar a la estación base (3) a la que esté vinculado, donde son procesados e interpretados.

25                    Descrita suficientemente la naturaleza de la presente invención, así como la manera de ponerla en práctica, no se considera necesario hacer más extensa su explicación para que cualquier experto en la materia comprenda su alcance y las ventajas que de ella se derivan, haciéndose constar que, dentro de su esencialidad, la invención podrá ser  
30                    llevada a la práctica en otras formas de realización que difieran en detalle de la indicada a título de ejemplo, y a las cuales alcanzará igualmente la protección que se recaba siempre que no se altere, cambie o modifique su principio fundamental.

35

## REIVINDICACIONES

1.- EQUIPO MEDIDOR DE RUIDO AMBIENTAL, aplicable para la medición de ruido en interiores y/o exteriores de diferentes puntos estratégicos una zona determinada durante un tiempo prolongado, 5  
permitiendo realizar mapas de ruido de dicha zona a partir de una base de datos almacenada en un servidor (4) de Internet al que se accede desde un dispositivo electrónico, a través de una página web asociada, que prevista para tal fin, interpreta la información recogida y la muestra de 10  
manera sencilla, **caracterizado** por el hecho de comprender, al menos, un dispositivo secundario (2) de medición de ruido y, al menos, una estación base (3); en que dicho dispositivo secundario (2) está instalado a una distancia variable de metros de la estación base (3) a la que está conectado, estando dotado de medios para tomar medidas de presión 15  
sonora instantánea (SPL) y enviarla en tiempo real a dicha estación base (3), la cual, a su vez, está conectada al servidor (4) utilizando la red GPRS, la red de satélites de telecomunicaciones o una vía de comunicación (10) que garantice dicha transmisión.

20 2.- EQUIPO MEDIDOR DE RUIDO AMBIENTAL, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque cuando comprende una pluralidad de dispositivos secundarios (2) de medición dichos dispositivos secundarios (2) están repartidos, a una distancia variable de la estación base (3) a la que están conectados, conformando una red sobre la zona a 25  
medir; y porque cuando existe más de una estación base (3), cada una está sincronizada con un número determinado de dispositivos secundarios (2), recibiendo su información a intervalos de tiempo fijos.

3.- EQUIPO MEDIDOR DE RUIDO AMBIENTAL, según la 30  
reivindicación 1 y 2, **caracterizado** porque cada estación base (3) está formada por un recinto cerrado (5), construido en material resistente, en cuyo interior comprende alojados, un circuito impreso (6) con componentes electrónicos para realizar mediciones de ruido de alta calidad y con memoria FLASH interna (7), una o más baterías (8) de alta 35  
capacidad, y un módem (9) para transmisión de datos al servidor (4), y a cuyo exterior se incorporan un micrófono (12) de intemperie y una antena

(13) de comunicaciones.

4.- EQUIPO MEDIDOR DE RUIDO AMBIENTAL, según la reivindicación 3, **caracterizado** porque el circuito impreso (6) dispone de puerto de conexión (11), para acceder a la memoria FLASH interna (7).

5.- EQUIPO MEDIDOR DE RUIDO AMBIENTAL, según la reivindicación 1 a 4, **caracterizado** porque, en la estación base (3) se incorpora un panel solar (14) como dispositivo de generación de energía eléctrica complementario o sustitutivo de las baterías (8).

6.- EQUIPO MEDIDOR DE RUIDO AMBIENTAL, según la reivindicación 1 a 5, **caracterizado** porque los dispositivos secundarios (2) de medición de ruido están formados por una carcasa (15), dotada para su alimentación de placa solar o de baterías (8) de larga duración, en cuyo interior comprende un micrófono (12), una memoria FLASH simple (16), y un transmisor (17) de radio frecuencia convencional, para enviar la información a la estación base (3) a la que está vinculado.

20



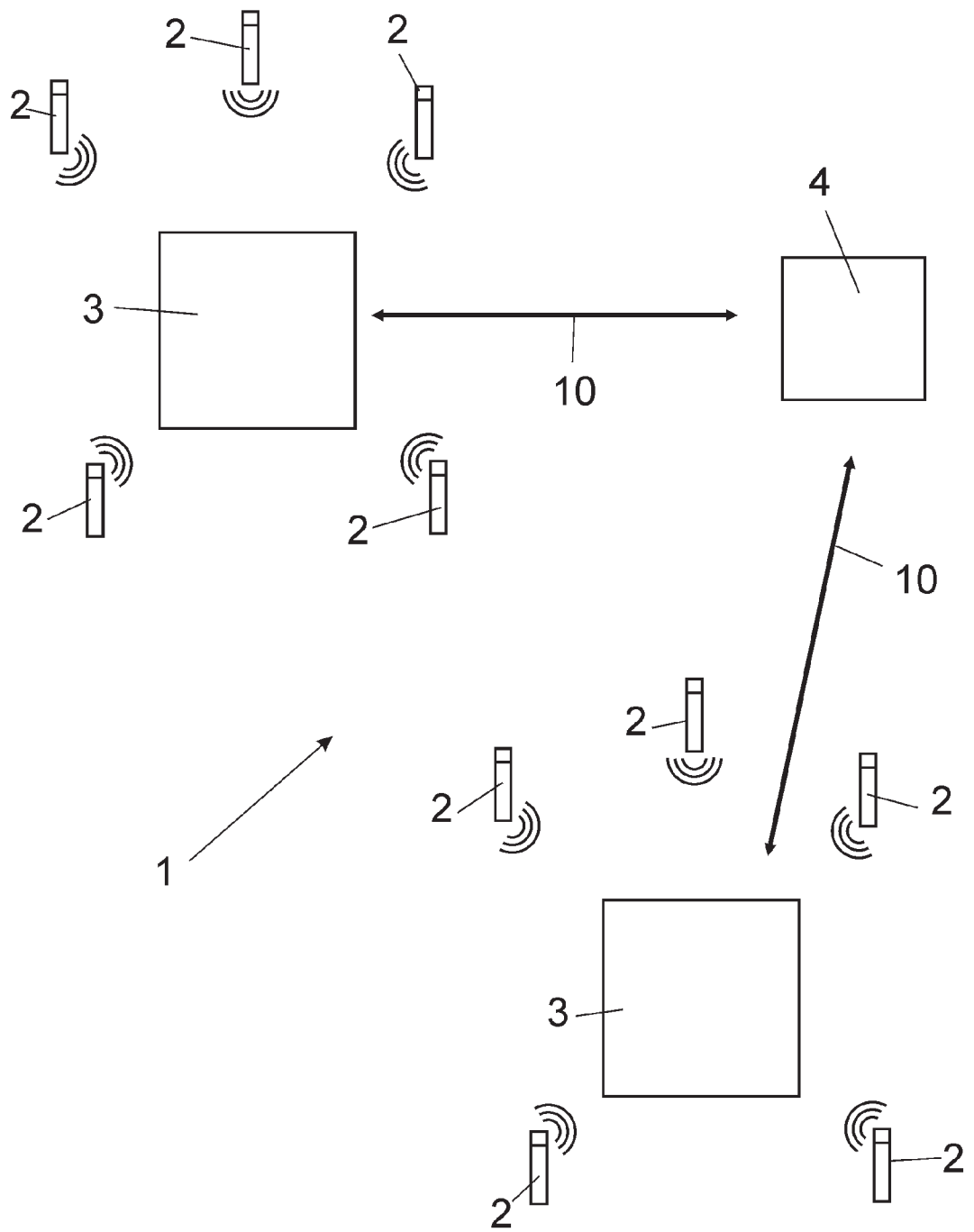


Fig. 1

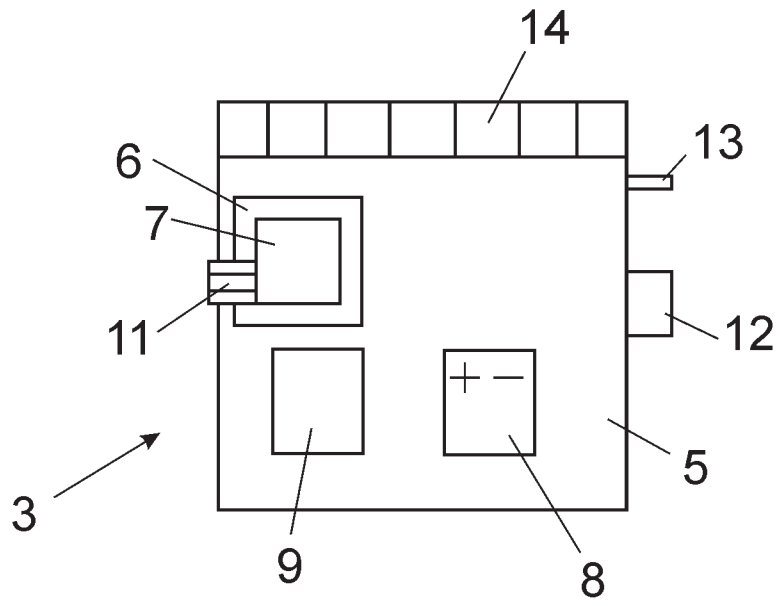


Fig. 2

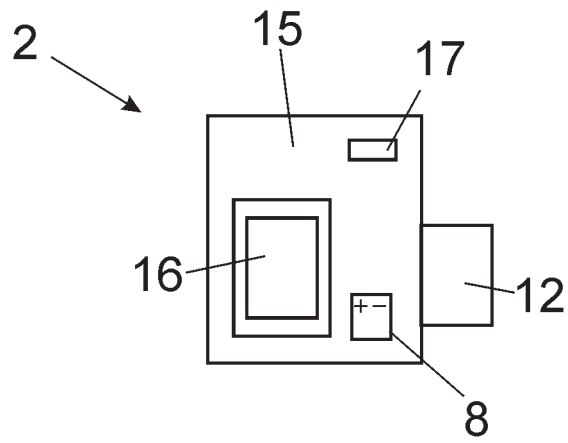


Fig. 3



**PRUEBAS SELECTIVAS PARA INGRESO EN LA ESCALA DE TITULADOS SUPERIORES DE ORGANISMOS AUTÓNOMOS DEL MITC, ESPECIALIDAD DE PROPIEDAD INDUSTRIAL, CONVOCADAS POR ORDEN MINISTERIAL IET/1557/2014, DE 30 DE JULIO (BOE 1 DE SEPTIEMBRE DE 2014, Nº 212).**

## **CUARTO EJERCICIO**

### **C) ELABORACIÓN DE UN INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA Y LA CORRESPONDIENTE OPINIÓN ESCRITA**

#### **INSTRUCCIONES**

**PRIMERA:** Cada uno de los documentos facilitados para la elaboración del informe sobre el estado de la técnica está identificado con los siguientes códigos:

**-Rama eléctrica:** Documento base, IE0

Documentos recuperados en la búsqueda IE1, IE2, IE3, IE4.

**-Rama mecánica:** Documento base, IM0;

Documentos recuperados en la búsqueda IM1, IM2, IM3, IM4.

Se supondrá que todos los documentos recuperados en la búsqueda han sido publicados con anterioridad a la fecha de prioridad del documento base.

**SEGUNDA:** Para elaborar el informe se utilizarán

- el formulario para el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) adjunto.
- el formulario para la Opinión Escrita adjunto.
- las hojas selladas facilitadas por el tribunal que sean necesarias, debiendo empezar esta prueba en una hoja nueva.



**PRUEBAS SELECTIVAS PARA INGRESO EN LA ESCALA DE TITULADOS SUPERIORES DE ORGANISMOS AUTÓNOMOS DEL MITC, ESPECIALIDAD DE PROPIEDAD INDUSTRIAL, CONVOCADAS POR ORDEN MINISTERIAL IET/1557/2014, DE 30 DE JULIO (BOE 1 DE SEPTIEMBRE DE 2014, Nº 212).**

**TERCERA.** El informe deberá contener la siguiente información:

1. Símbolo/s completo/s de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP), versión 2014.01, que se asignan al documento base (IE0 o IM0 según la rama técnica). Se justificará debidamente los símbolos asignados, teniendo en cuenta las recomendaciones contenidas en la Guía de utilización de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP), en su versión 2014.01.
2. Categoría/s de los documentos recuperados en la búsqueda de acuerdo con los siguientes símbolos:  
  
X: de particular relevancia  
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
A: refleja el estado de la técnica
3. Citación de los documentos que tengan relación con alguna de las reivindicaciones del documento base sobre el que se realiza el Informe sobre el Estado de la Técnica, con indicación detallada de las partes de cada documento citado que afectan al documento base.

**CUARTA:** En el formulario del IET se reflejará la siguiente información:

1. Se transcribirán en la casilla correspondiente el/los símbolo/s completo/s de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP), versión 2014.01, que se hayan asignado al documento base.
2. Se consignarán las categorías otorgadas a los documentos recuperados, sus códigos de identificación con las partes relevantes de los mismos, y las reivindicaciones afectadas.



**PRUEBAS SELECTIVAS PARA INGRESO EN LA ESCALA DE TITULADOS SUPERIORES DE ORGANISMOS AUTÓNOMOS DEL MITC, ESPECIALIDAD DE PROPIEDAD INDUSTRIAL, CONVOCADAS POR ORDEN MINISTERIAL IET/1557/2014, DE 30 DE JULIO (BOE 1 DE SEPTIEMBRE DE 2014, Nº 212).**

**QUINTA:** En el formulario de la Opinión Escrita se incluirá:

1. La declaración sobre el cumplimiento o no de los requisitos de novedad y actividad inventiva de las distintas reivindicaciones, que se consignará respectivamente con las opciones SI/NO previstas a tal efecto.
- 2 Se justificará de manera razonada el cumplimiento o no de dichos requisitos para cada una de las reivindicaciones del documento base.

# INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

Int. Cl. :

## DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas

# OPINIÓN ESCRITA

## Declaración

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones _____	<b>SI</b>
	Reivindicaciones _____	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones _____	<b>SI</b>
	Reivindicaciones _____	<b>NO</b>

## Opinión

**IEO**



**MÉTODO DE ACCESO Y SISTEMA DE CONEXIÓN MEDIANTE FIBRA ÓPTICA UTILIZANDO TÉCNICAS HÍBRIDAS DWDM/SCM ENTRE ESTACIONES BASE Y ANTENAS REMOTAS EN UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES.**

5           **CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta invención describe un sistema de conexión mediante fibra óptica utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM entre estaciones base y antenas remotas en un sistema de radiocomunicaciones, así como método de acceso.

10

El objeto de esta invención es proporcionar un sistema de conexión transparente entre estaciones base y antenas remotas para un sistema de radiocomunicaciones mediante redes de fibra óptica en estructura de punto a multipunto con mecanismos de protección 1+1.

15

El campo de aplicación es el de las telecomunicaciones en general, y más concretamente en los sistemas celulares de comunicaciones como son GSM, DCS y UMTS.

20           **ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA**

Es conocida la técnica "radio sobre fibra" (RSF) para la conexión entre estaciones base y antenas remotas en comunicaciones celulares. En ella, la señal de radiofrecuencia de salida de una estación base modula una fuente láser, siendo transmitida la señal luminosa resultante a través de una fibra óptica hasta una  
25           antena remota, en donde un fotodiodo vuelve a convertir esta señal óptica otra vez en señal eléctrica de radiofrecuencia antes de ser emitida por la antena remota. De forma equivalente, la señal de radiofrecuencia recibida por una antena remota es transmitida hacia la estación base mediante una fibra óptica, por lo que es  
30           necesaria una conversión electro-óptica.

Son conocidos diversos sistemas del tipo "radio sobre fibra", los cuales se caracterizan por el número de fibras ópticas utilizadas, número de portadoras transmitidas por la fibra, longitud máxima de las fibras ópticas utilizadas, etc.

Diversas empresas multinacionales comercializan estos sistemas RSF para aplicaciones celulares.

5 Son conocidos sistemas RSF que utilizan multiplexación SCM en sentido descendente y técnicas TDMA en sentido ascendente. También se conocen sistemas que utilizan dos portadoras ópticas diferentes para separar los sentidos ascendente y descendente.

10 No es conocida del estado de la técnica la utilización de técnicas híbridas DWDM/SCM para la conexión mediante fibra óptica entre estaciones base y antenas remotas en un sistema de radiocomunicaciones, tal y como es objeto de la invención propuesta.

### DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

15 La presente invención describe la arquitectura del sistema de conexión mediante fibra óptica utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM entre estaciones base y antenas remotas en un sistema de radiocomunicaciones, y que está constituida por una estación base, una o varias antenas remotas, un transpondedor de estación base y uno o varios transpondedores de antena remota.

20 Concretamente, el presente sistema está configurado de forma que la técnica DWDM se utiliza en sentido ascendente desde las antenas remotas hacia las estaciones base y la SCM en sentido descendente desde las estaciones base hacia las antenas remotas.

25 Un sistema completo incluye típicamente la existencia de varias estaciones base y transpondedores asociados, antenas remotas y transpondedores asociados, y terminales radio remotos.

30 La estación base se comunicará con las antenas remotas a través de una comunicación vía fibra óptica, utilizando los transpondedores de estación base y antena remota para realizar las necesarias conversiones electro-ópticas. Los

transpondedores son interconectados formando una configuración de red de fibra óptica en anillo.

5 La estación base será la encargada de emitir y recibir todos los canales de comunicación acorde con el estándar de radiocomunicaciones elegido (p.ej. GSM, DCS, UMTS).

10 La antena remota es el dispositivo físico de emisión y recepción de la señal radio a través del cual los terminales se conectarán al resto del sistema de comunicaciones radioeléctrico.

15 Entre las características principales del sistema de conexión mediante fibra óptica utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM entre estaciones base y antenas remotas en un sistema de radiocomunicaciones, se encuentran:

- Las interfaces de radiofrecuencia de una o varias estaciones base se conectan a un elemento de red denominado transpondedor de estación base, el cual constituye el nodo de cabecera de una red de fibra óptica.
- La interfaz de radiofrecuencia de cada antena remota se conecta a un elemento de red denominado transpondedor de antena remota, el cual constituye un elemento de la red de fibra óptica.
- Todos los transpondedores son elementos de una red de fibra óptica en configuración de anillo, a través de la cual quedan interconectados. Si bien la red de fibra óptica en configuración en anillo es la preferida en la invención propuesta, la invención es también aplicable a otras topologías como son redes en árbol o redes híbridas anillo-árbol.
- La red de fibra óptica permite incorporar un mecanismo de protección 1+1, el cual mantiene la integridad de la comunicación a través de la red de fibra óptica en caso de rotura o avería en algún punto de dicha red.
- En sentido descendente desde la estación base hacia las antenas remotas, la señal de la estación base es constituida como un conjunto de portadoras separadas en frecuencia, la cual modula una única portadora óptica en el transpondedor de estación base (p.ej. en la ventana de 1550 nm).

- En sentido ascendente desde las antenas remotas hacia la estación base, cada señal de antena es modulada por el transpondedor asociado en una única portadora diferente para cada transpondedor.
- 5 Al igual que en cualquier red de fibra óptica, se utilizarán amplificadores ópticos si fuese necesario para compensar las pérdidas de señal en la transmisión a través de la red de fibra óptica, tanto en sentido ascendente como descendente.
- La extracción de señales en los transpondedores remotos se realiza por medio de un acoplador óptico pasivo.
- En sentido descendente se transmite un canal de señalización sobre una portadora especificada previamente. Este canal informa a cada transpondedor remoto sobre las portadoras asignadas a la antena remota asociada.
- 10 • Es posible reutilizar o compartir la red de fibra óptica con otros servicios ajenos al sistema descrito mediante multiplexores de onda que separen las bandas ópticas utilizadas por cada sistema.

15

### **DESCRIPCIÓN BREVE DE LAS FIGURAS**

La figura 1 muestra la arquitectura del sistema de conexión mediante fibra óptica utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM entre estaciones base y antenas remotas en un sistema celular de comunicaciones.

20

La figura 2 muestra la arquitectura del módulo transpondedor electro-óptico cercano a la estación base.

La figura 3 muestra la arquitectura del módulo transpondedor electro-óptico cercano a la antena remota.

25

La figura 4 muestra la conexión física entre las entidades del sistema de conexión mediante fibra óptica propuesto.

30

La figura 5 muestra el mecanismo de protección 1+1 entre las entidades del sistema de conexión mediante fibra óptica propuesto.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La figura 1 muestra las entidades involucradas en la arquitectura del sistema de conexión mediante fibra óptica utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM entre estaciones base y antenas remotas en un sistema de radiocomunicaciones: estación base (1), antena remota (2), transpondedor de estación base (3) y transpondedor de antena remota (4).

Podrán existir una o varias antenas remotas (2) con sus correspondientes transpondedores de antena asociados (3). Un sistema completo incluye típicamente la existencia de varias estaciones base (1) y transpondedores asociados (3), antenas remotas (2) y transpondedores asociados (4), y terminales radio remotos. En la figura 1 no se detallan todos los elementos mencionados por no considerarse necesario desde el punto de vista de descripción de la invención.

La estación base (1) se comunicará con las antenas remotas (2) a través de una comunicación vía fibra óptica. Para ello es necesaria la conversión electro-óptica entre señales eléctricas provenientes de las estaciones base y antenas remotas, y las ópticas que utilizan las fibras ópticas, la cual es realizada por los transpondedores de estación base (3) y los transpondedores de antena remota (4). Los transpondedores (3 y 4) son interconectados formando una configuración de red de fibra óptica en anillo.

La estación base (1) será la encargada de emitir y recibir todos los canales de comunicación acorde con el estándar de radiocomunicaciones elegido (p.ej. GSM, DCS, UMTS). La estación base (1) se comunica con el transpondedor de estación base (3) que tiene asociado vía cable coaxial (A) mediante comunicación eléctrica de radiofrecuencia.

La antena remota (2) es el dispositivo físico de emisión y recepción de la señal radio a través del cual los terminales se conectarán al resto del sistema de comunicaciones radioeléctrico. La antena remota (2) se comunica con el transpondedor de antena remota (4) que tiene asociado vía cable coaxial (o fibra óptica) (B) mediante comunicación eléctrica de radiofrecuencia.

El transpondedor de estación base (3) tiene por objeto la adaptación de las señales eléctricas de la interfaz con la estación base asociada (1) y las señales ópticas en las interfaces de fibra óptica (C) utilizadas por la red de transpondedores (3 y 4).

5 El transpondedor de antena remota (4) tiene por objeto la adaptación de las señales de la interfaz con la antena remota (2) y las señales ópticas en las interfaces de fibra óptica (C) utilizadas por la red de transpondedores (3 y 4).

10 Entre las características principales del sistema de conexión mediante fibra óptica utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM entre estaciones base y antenas remotas en un sistema de radiocomunicaciones, se encuentran:

- 15 • Las interfaces de radiofrecuencia de una o varias estaciones base (1) se conectan a un elemento de red denominado transpondedor de estación base (3), el cual constituye el nodo de cabecera de una red de fibra óptica.
- La interfaz de radiofrecuencia de cada antena remota (2) se conecta a un elemento de red denominado transpondedor de antena remota (4), el cual constituye un elemento de la red de fibra óptica.
- 20 • Todos los transpondedores (3 y 4) son elementos de una red de fibra óptica en configuración de anillo, a través de la cual quedan interconectados. Si bien la red de fibra óptica en configuración en anillo es la preferida en la invención propuesta, la invención es también aplicable a otras topologías como son redes en árbol o redes híbridas anillo-árbol.
- 25 • La red de fibra óptica permite incorporar un mecanismo de protección 1+1, el cual mantiene la integridad de la comunicación a través de la red de fibra óptica en caso de rotura o avería en algún punto de dicha red.
- En sentido descendente desde la estación base hacia las antenas remotas, la señal de la estación base es constituida como un conjunto de portadoras separadas en frecuencia, la cual modula una única portadora óptica en el
- 30 • En sentido ascendente desde las antenas remotas hacia la estación base, cada señal de antena es modulada por el transpondedor asociado en una única portadora diferente para cada transpondedor.

- Al igual que en cualquier red de fibra óptica, se utilizarán amplificadores ópticos si fuese necesario para compensar las pérdidas de señal en la transmisión a través de la red de fibra óptica, tanto en sentido ascendente como descendente.
- La extracción de señales en los transpondedores remotos (4) se realiza por medio de un acoplador óptico pasivo.
- En sentido descendente se transmite un canal de señalización sobre una portadora especificada previamente. Este canal informa a cada transpondedor remoto (4) sobre las portadoras asignadas a la antena remota asociada (2).
- Es posible reutilizar o compartir la red de fibra óptica con otros servicios ajenos al sistema descrito mediante multiplexores de onda que separen las bandas ópticas utilizadas por cada sistema.

En la figura 1, las letras A hasta C denotan las interfaces entre las diversas entidades. Estas interfaces son:

- A- Interfaz entre la estación base (1) y el transpondedor de estación base (3). Esta interfaz es vía cable coaxial mediante comunicación eléctrica de radiofrecuencia. La señal radioeléctrica estará constituida por el conjunto de comunicaciones hacia o desde todas las antenas remotas (4).
- B- Interfaz entre la antena remota (2) y el transpondedor de antena remota (4). Esta interfaz es vía cable coaxial (o fibra óptica) mediante comunicación eléctrica de radiofrecuencia. La señal radioeléctrica estará constituida solamente por la comunicación asignada a la antena remota (4).
- C- Interfaz de fibra óptica entre todos los elementos transpondedores (3 y 4) de la red óptica. Puede ser en anillo, lineal, árbol o cualquier otra. Puede tener incorporados mecanismos de protección 1+1.

La figura 2 muestra las entidades involucradas en la arquitectura del módulo transpondedor (3) electro-óptico cercano a la estación base: generador del canal de señalización (5), filtros paso banda (6), amplificadores (7), generador de frecuencia de referencia (8), circuitos de protección (9), conversores o mezcladores (10), sintetizadores de portadora (11), sumador o mezclador de canales (12), transmisor láser (13), amplificador óptico de recepción (14), demultiplexor en longitud de onda

WDM (15), fotodetectores (16), amplificadores de recepción (17), separadores de señal (18) y módulo de control (19).

5 En el enlace descendente hacia las antenas remotas (2), el transpondedor de estación base (3) está compuesto por un conjunto de cadenas conversoras de frecuencia (10) que trasladan cada uno de los canales asignados de radiofrecuencia (p.ej. GSM, DCS, UMTS) al canal asignado sobre la transmisión en fibra óptica. Cada uno de los canales estará situado sobre una subportadora diferente (11), y todos ellos formarán la portadora que modula la transmisión láser  
10 (13).

En el enlace ascendente hacia la estación base (1), los diferentes canales provenientes de cada antena remota (2) son separados en el demultiplexor en longitud de onda (15). Cada canal es fotodetectado (16) y amplificado (17),  
15 obteniéndose una señal de radiofrecuencia réplica de la enviada por la antena remota correspondiente (2).

Aunque no se indica en la figura, cada canal de recepción extrae una señal de telemetría procedente del transpondedor de antena remota (4) que contiene  
20 información sobre alarmas de transmisión.

El módulo de control (19) realiza entre otras funciones el control de las frecuencias de las subportadoras utilizadas, información del canal de señalización e información de alarmas. Este circuito se comunica con el exterior a través de una interfaz de  
25 monitorización.

La figura 3 muestra las entidades involucradas en la arquitectura del módulo transpondedor electro-óptico cercano a la antena remota: amplificador óptico enlace ascendente (20), amplificador óptico enlace descendente (21), acoplador enlace ascendente (22), acoplador enlace descendente (23), fotodetector (24), amplificador de recepción (25), filtro de recepción para canal de señalización (26), receptor del canal de señalización (27), filtro de recepción para el recuperador de reloj de referencia (28), recuperador de reloj de referencia (29), mezclador de frecuencia intermedia (30), filtro de frecuencia intermedia (31), mezclador secundario (32), filtro  
30



secundario (34), sintetizadores de frecuencia (33), sumador o mezclador de canales (35 y 36), transmisores láser de antena (37 y 38), fotodetector de antena (39), amplificador (40), transmisor láser (41) y módulo de control (42).

5 El transpondedor de antena remota conecta las dos fibras ópticas (C) del anillo de transpondedores al módulo de antena remota a través también, por ejemplo, de otra interfaz de fibra óptica.

10 La señal proveniente de la estación base (1) a través del enlace descendente del anillo de fibra óptica se inserta en un acoplador óptico (23) del que se extrae la señal de entrada al transpondedor de antena remota (4). Esta señal es fotodetectada (24) y amplificada (25). Las portadoras de radiofrecuencia son trasladadas a las bandas requeridas a través del conjunto de mezcladores (30 y 32), filtros (31 y 34) y sintetizadores (33). Todas estas bandas modulan un  
15 transmisor láser que ataca la interfaz con la antena remota (2).

El circuito de control (42) extrae sus órdenes del canal de señalización (27), y la señal de reloj de referencia extraída por el circuito extractor de reloj de referencia (29).

20 En sentido ascendente hacia la estación base (1), la situación es similar salvo que en este caso no son necesarias conversiones de frecuencia. La señal óptica se traslada de manera transparente desde la interfaz de la antena remota (p.ej. 1300 nm) a la interfaz con el anillo de fibras ópticas de la red de transpondedores (p.ej.  
25 1500 nm).

El uso de amplificadores en la red de fibra óptica en anillo de los transpondedores, es necesario para evitar una excesiva pérdida de potencia de señal transmitida a través de las fibras ópticas. Como ejemplo, para señales GSM es necesario el uso  
30 de amplificadores cada quince transpondedores de antena remota (4). Además, para evitar que en el sentido ascendente las señales provenientes de las antenas remotas tengan potencias muy diferentes, el factor de acoplamiento en los acopladores de los transpondedores puede ser diferente entre los diferentes grupos de transpondedores.

La figura 4 muestra la conexión física entre las entidades del sistema de conexión mediante fibra óptica propuesto y descrito en la figura 1.

5 Tal y como se ha descrito en la figura 1, la topología de la planta de fibra óptica es un anillo. Sin embargo, desde el punto de vista físico, las conexiones corresponden a un conjunto de dos fibras tal y como se detalla en la figura 4, ya que los retornos del enlace ascendente o descendente no necesitan volver al transpondedor de estación base, ya que la comunicación con cualquier transpondedor es posible.

10 Si bien la figura 4 muestra el caso más sencillo en el que no es necesario el retorno del enlace ascendente y descendente al transpondedor de estación base, ello puede ser interesante en diversas situaciones, formando un auténtico anillo de fibra óptica.

15 En primer lugar la configuración en anillo es útil con el fin de monitorizar la calidad de transmisión óptica. En el enlace descendente, la señal enviada por el transpondedor de la estación base (3) retornará de nuevo a dicho transpondedor después de haber atravesado todos los transpondedores de antena remota y todo el anillo descendente de fibra óptica. En el enlace ascendente se podía haber  
20 inyectado una señal una portadora de referencia para pruebas de calidad. En cualquier caso, del análisis de la señal recibida se puede comprobar la calidad del funcionamiento de los amplificadores y las pérdidas de señal en la planta de fibra.

25 En segundo lugar la configuración en anillo permite incorporar mecanismos de protección contra fallos, como son la rotura física del anillo de fibra o el fallo en algún amplificador óptico intermedio.

La figura 5 muestra el mecanismo de protección 1+1 entre las entidades del sistema de conexión mediante fibra óptica propuesto y descrito en la figura 1.

30 Todos los transpondedores transmiten simultáneamente por dos fibras ópticas diferentes y en sentidos opuestos, tanto para el enlace ascendente como descendente. Los receptores reciben de una única fibra óptica denominada fibra óptica principal, pero a su vez supervisan la calidad de la señal recibida por la otra

fibra óptica denominada fibra óptica de reserva. En caso de detectar fallo de recepción en la fibra óptica principal, se conmuta a la de reserva en recepción.

## DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

5

DCS Sistema digital celular de telecomunicaciones móviles que utiliza la banda de frecuencia de 1800 MHz (del inglés "Digital Cellular System").

DWDM Multiplexación densa en longitud de onda (del inglés "Dense Wavelength Division Multiplexing").

10

GSM Sistema celular de comunicaciones radioeléctricas estandarizado y regulado por ETSI (del inglés Global System for Mobile communication).

MHz Megahercios. Unidad de medida de frecuencia eléctrica.

nm Nanómetro(s). Unidad de medida de longitud de onda.

RSF Radio sobre fibra.

15

SCM Multiplexación por subportadora (del inglés "SubCarrier Multiplexing").

TDMA Acceso múltiple por división en el tiempo. Sistema usado para separar los diferentes canales de datos de usuarios como por ejemplo en el sistema de comunicación celular GSM.

UMTS Sistema celular de telecomunicaciones móviles universal. Sistema de comunicaciones celulares de tercera generación.

20

WDM Multiplexación en longitud de onda (del inglés "Wavelength Division Multiplexing").

25

30

## **REIVINDICACIONES**

- 5 1. Sistema de conexión mediante fibra óptica, entre estaciones base (1) y antenas remotas (2) de un sistema de radiocomunicaciones, utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM caracterizado por utilizar DWDM en sentido ascendente, desde las antenas remotas (2) hacia las estaciones base (1), y SCM en sentido descendente, desde las estaciones base (1) hacia las antenas remotas (2).
- 10 2. Sistema de conexión mediante fibra óptica utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM entre estaciones base (1) y antenas remotas (2) en un sistema de radiocomunicaciones, según la reivindicación 1, caracterizado por disponer de transpondedores (3) asociados a las estaciones base (1), que adaptan las interfaces ópticas de la red de fibra óptica (C) a las interfaces eléctricas (A) con las estaciones base (1), utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM.
- 15 3. Sistema de conexión por fibra óptica de acuerdo a la reivindicación 2, donde el transpondedor electro-óptico (3) comprende un demultiplexor por división en longitud de onda (15), para la demultiplexión del conjunto de canales provenientes de cada una de las antenas remotas (2).
- 20 4. Sistema de conexión mediante fibra óptica utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM entre estaciones base (1) y antenas remotas (2) en un sistema de radiocomunicaciones, según la reivindicación 1, caracterizado por disponer de transpondedores (4) asociados a cada antena remota (2), que adaptan las interfaces ópticas de la red de fibra óptica (C) a las interfaces eléctricas (B) con las antenas remotas (2), utilizando técnicas híbridas DWDM/SCM.
- 25 5. Sistema de conexión por fibra óptica de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además implementa técnicas 1+1 de protección en los enlaces de fibra óptica entre la estación base (1) y el conjunto de antenas remotas (2).
- 30 6. Sistema de conexión por fibra óptica de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende regeneradores o amplificadores ópticos en la red de fibra óptica, los cuales compensan la atenuación de transmisión.
7. Sistema de conexión por fibra óptica de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende medios para reutilizar y compartir la red de fibra óptica con otros servicios.

8. Sistema de radiocomunicaciones que comprende al menos una estación base (1) y una pluralidad de antenas remotas (2), donde la primera se conecta con las segundas mediante una conexión de fibra óptica conforme cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

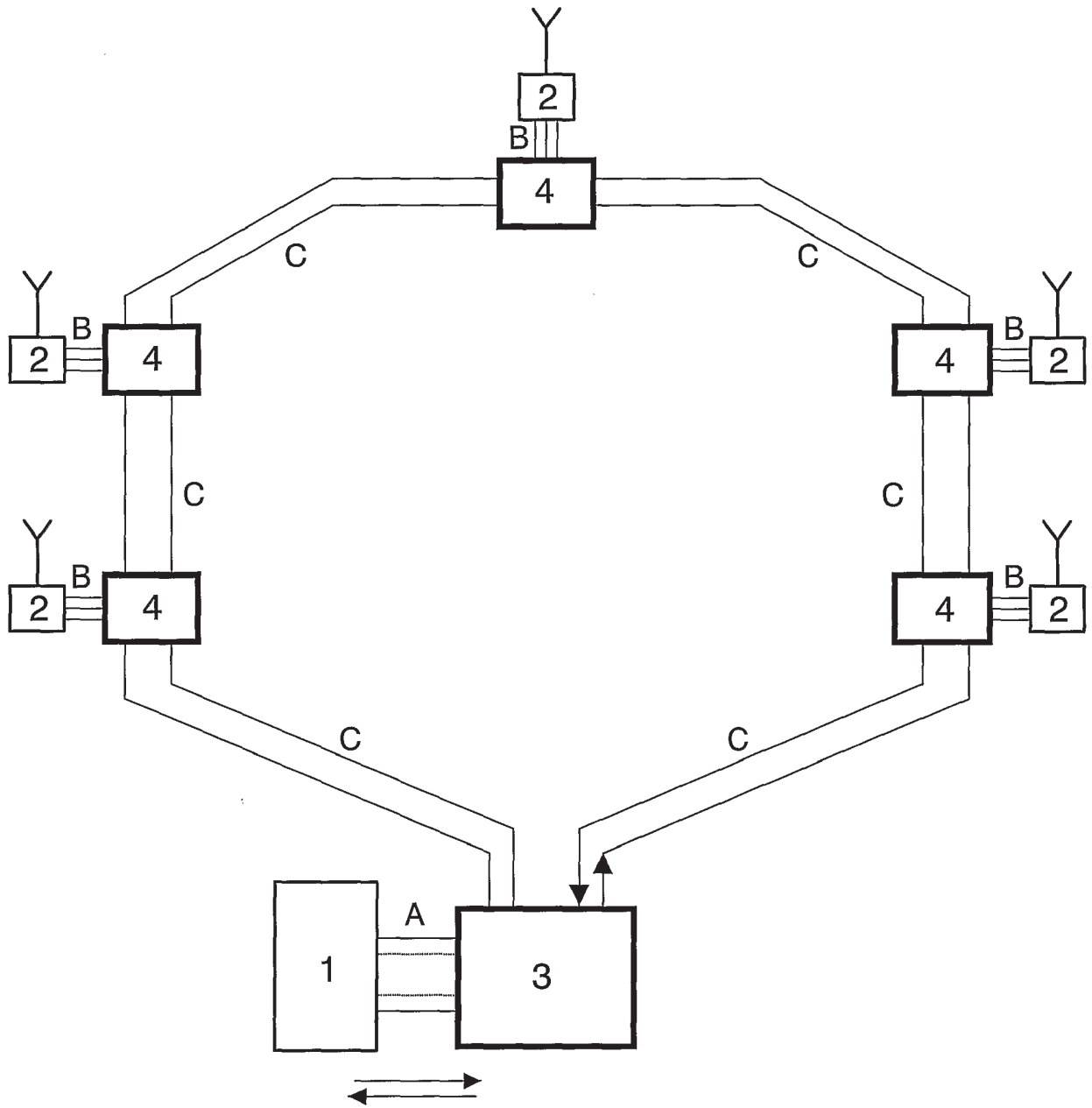


FIG. 1

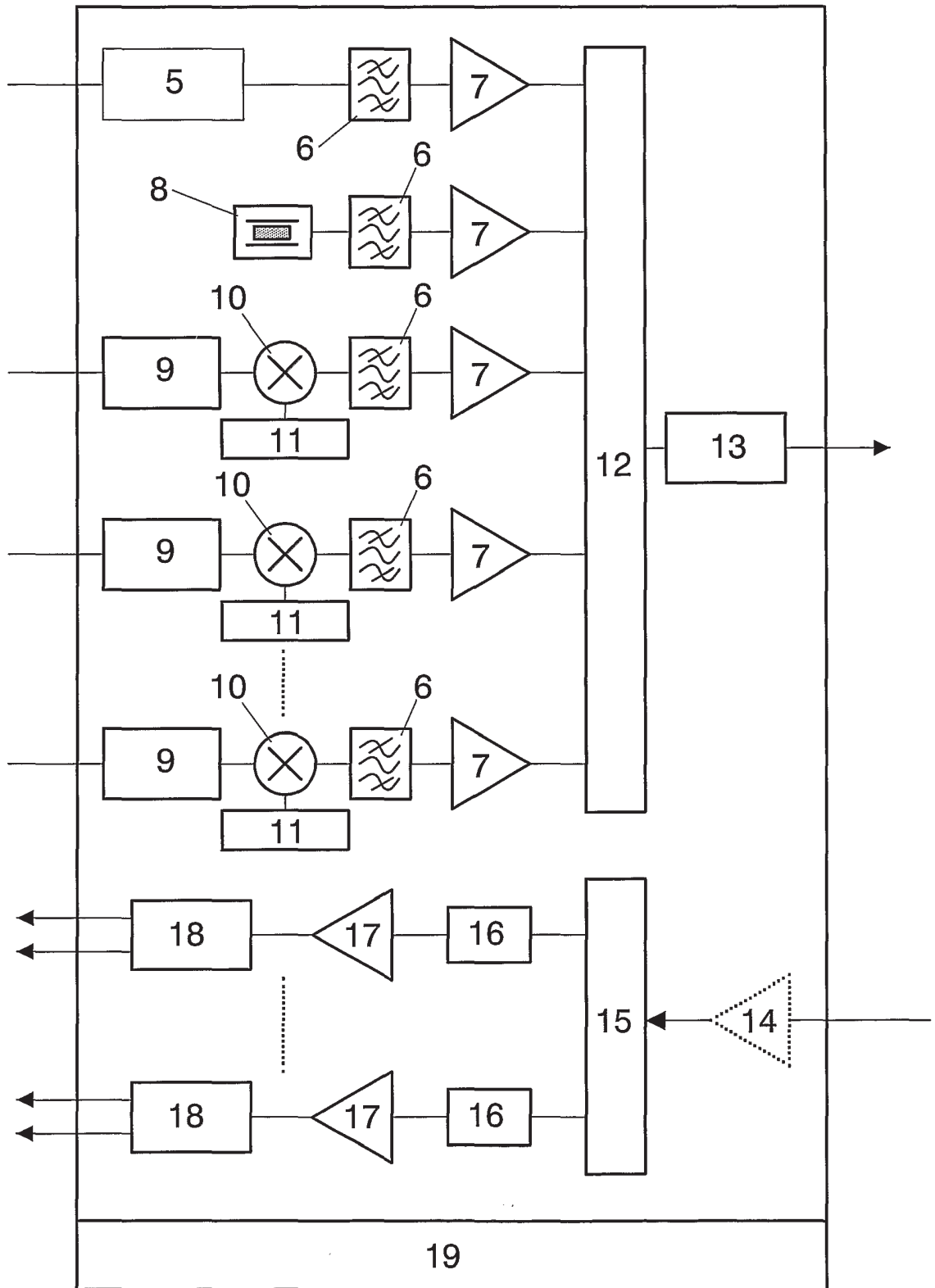


FIG. 2

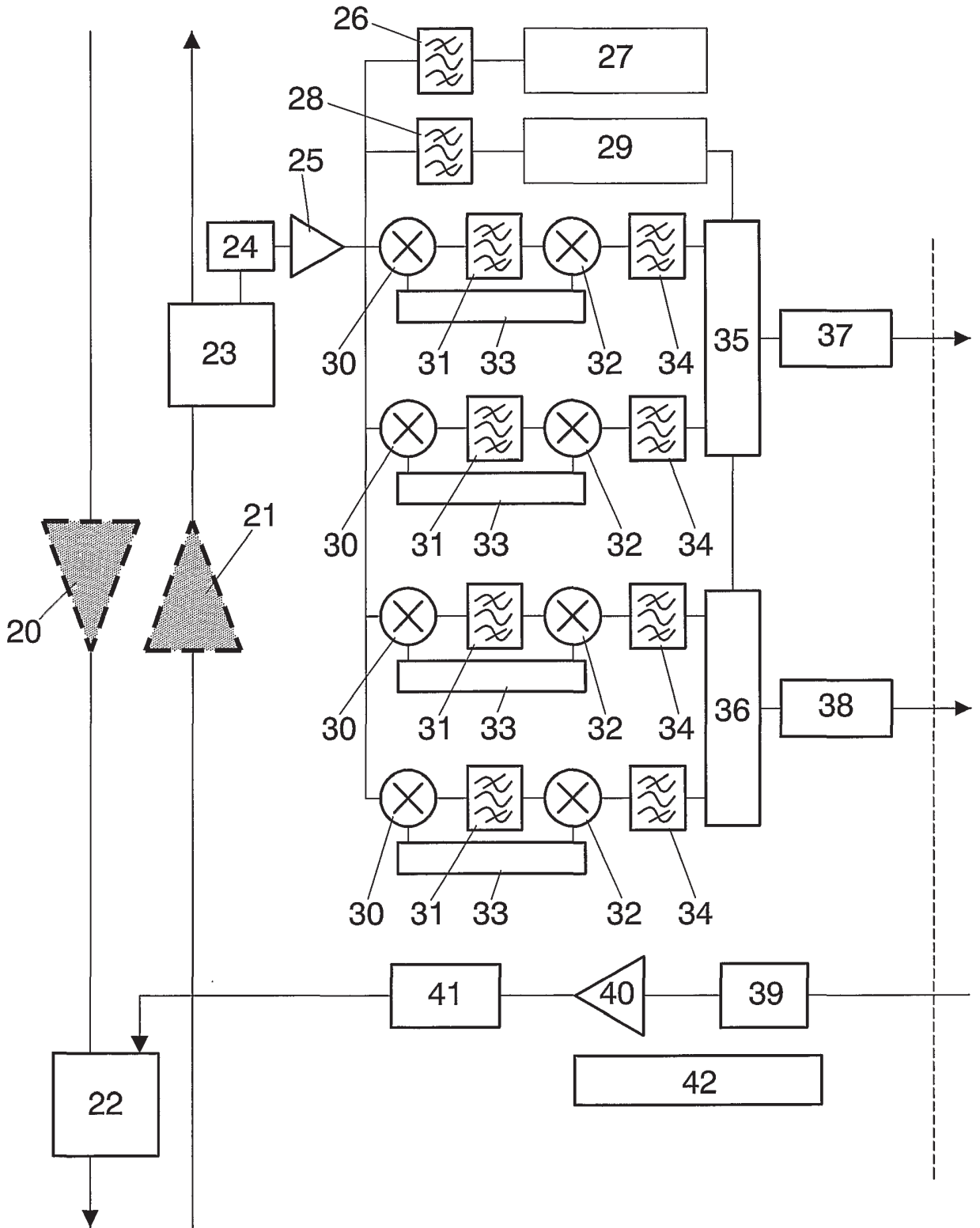


FIG. 3



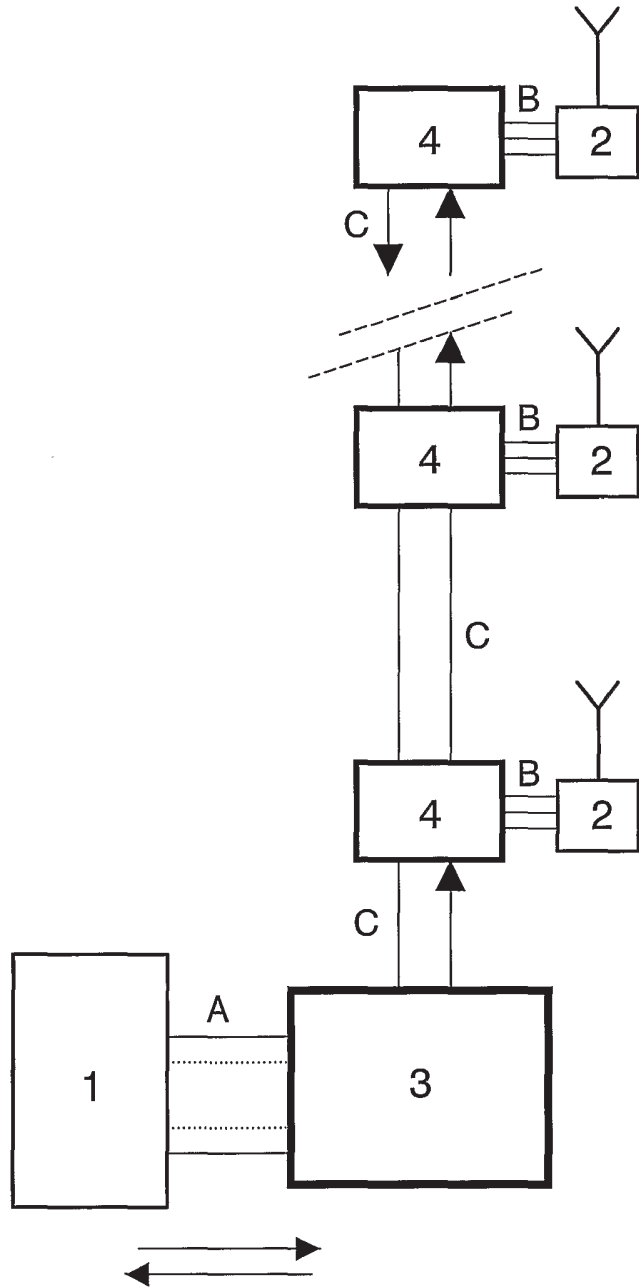


FIG. 4

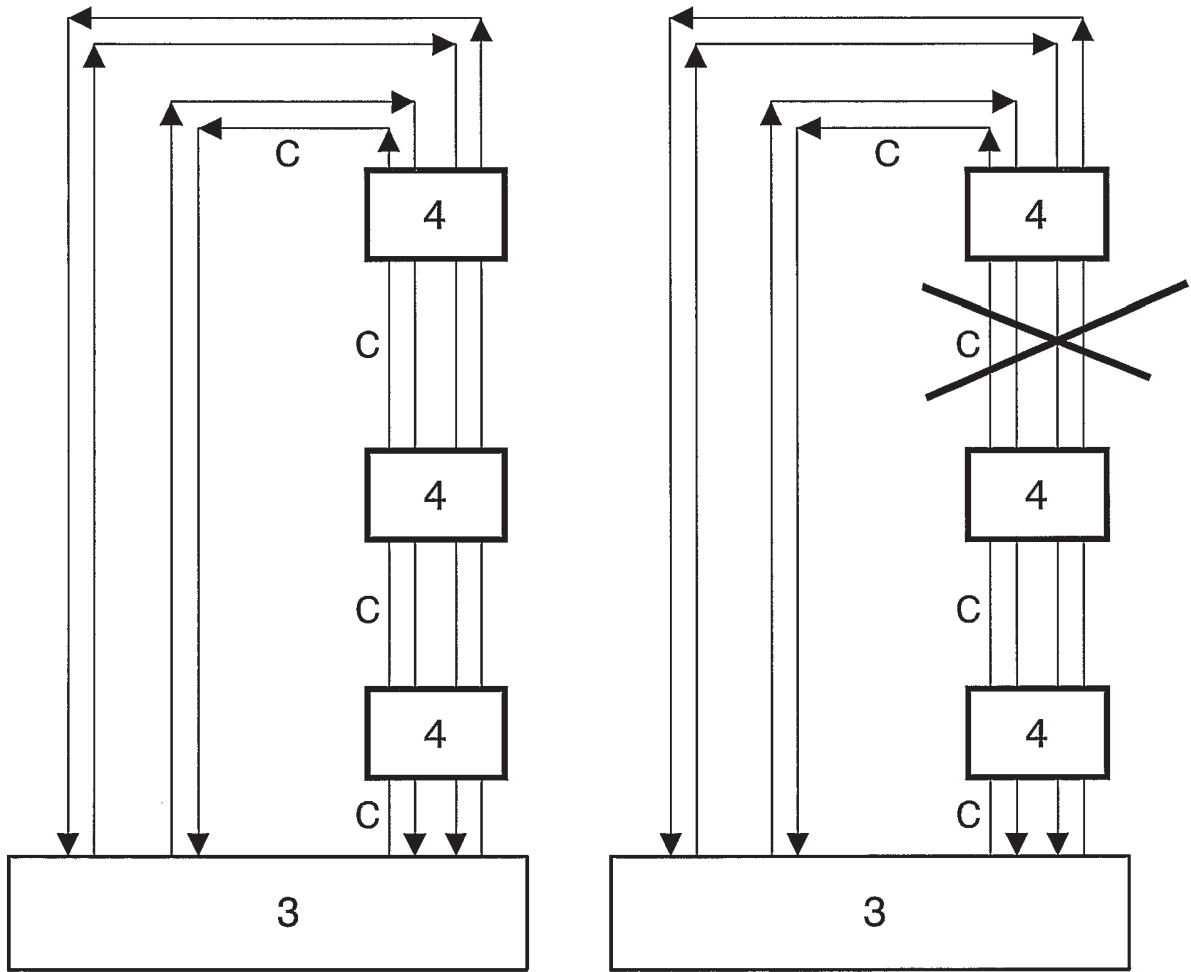


FIG. 5

**IE1**

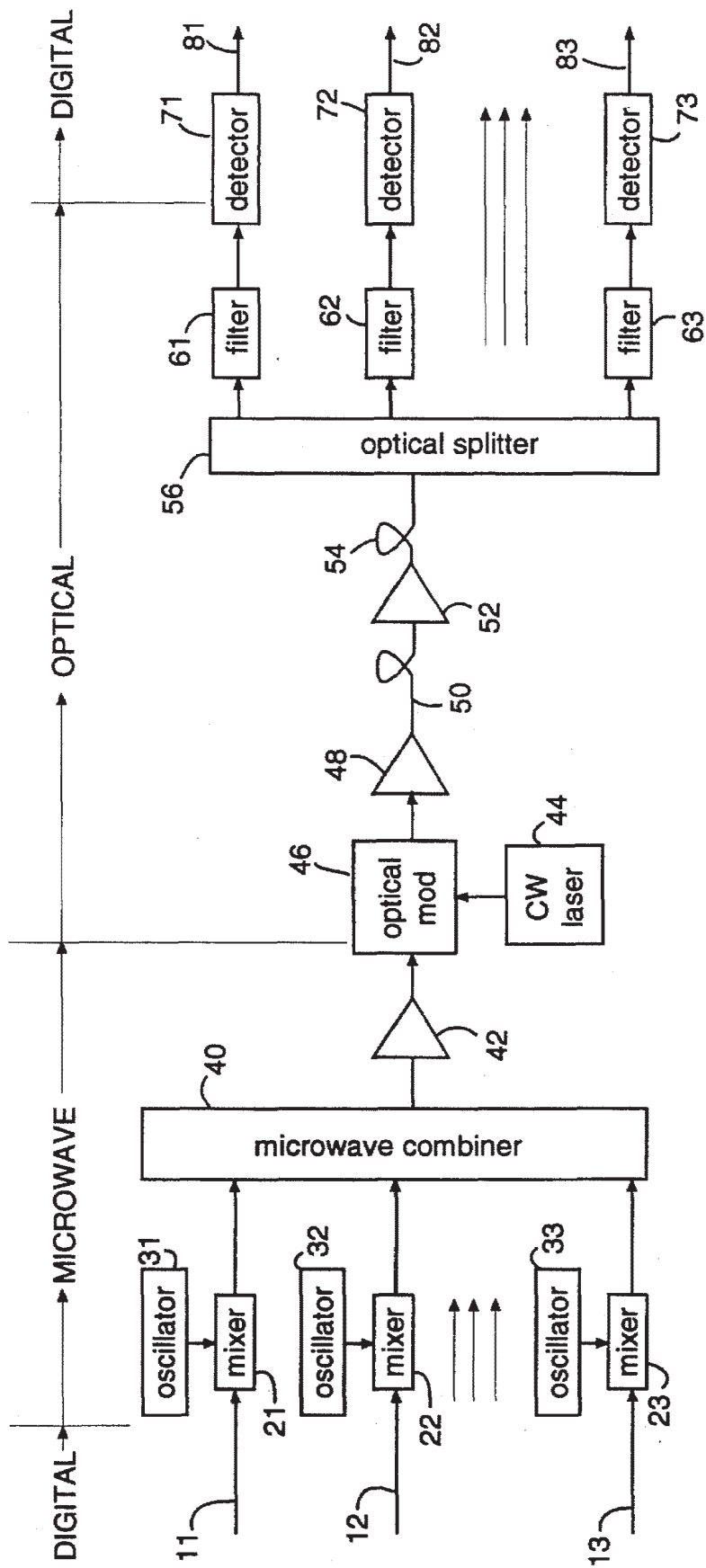


Fig. 1

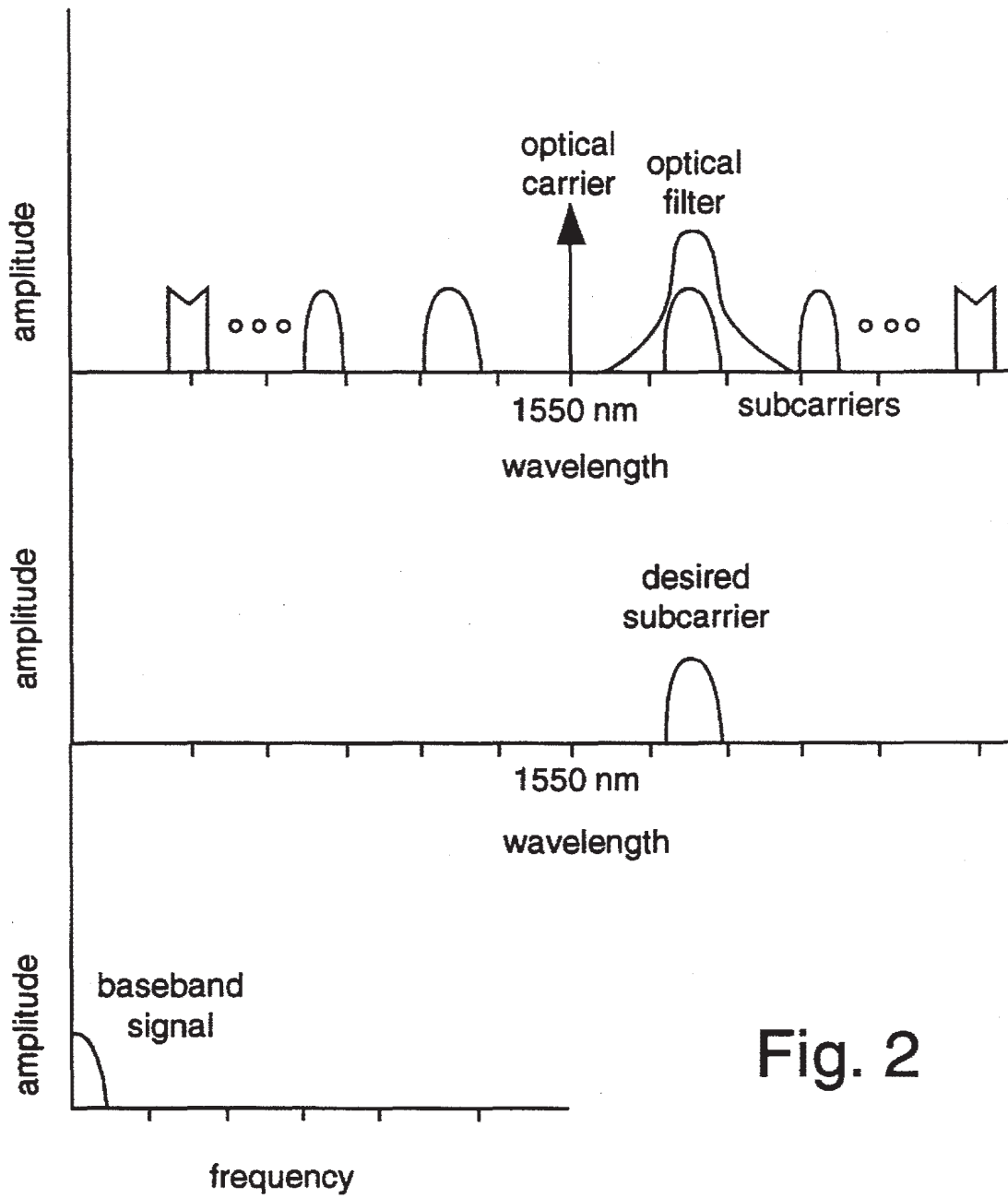


Fig. 2

## SUBCARRIER MULTIPLEXING WITH DISPERSION REDUCTION AND DIRECT DETECTION

The United States Government has rights in this invention pursuant to Contract No. W-7405-ENG-48 between the United States Department of Energy and the University of California for the operation of Lawrence Livermore National Laboratory.

### BACKGROUND OF THE INVENTION

#### 1. Field of the Invention

The present invention relates to electronic communication technology and more particularly to fiber optic systems with modulation of the light carriers with microwave frequencies for single-mode fibers.

#### 2. Description of Related Art

Fiber-optic networks demand transmission methods that offer flexibility and the efficient exploitation of bandwidth of existing network assets, such as existing conventional single-mode fiber. Wavelength-division multiplexing (WDM) has been successfully used to transmit multiple optical carriers on a single fiber. Subcarrier multiplexing (SCM) is one of the few techniques that can accommodate the multi-format array of transmission protocols and modulation formats expected to be carried on networks. SCM can be combined with WDM to greatly increase the transmission capacity of a single fiber.

One challenge to the implementation of SCM has been the limitation on transmission distance. Normally, operation with laser light carrier wavelengths of 1550 nm permits the use of erbium-doped fiber amplifiers (EDFAs) to overcome transmission loss, but the dispersion-limited maximum transmission distance of an SCM system is dependent on its total modulation bandwidth.

Another traditional drawback to SCM has been the complexity of demodulation schemes. Hill and Olshansky demonstrated SCM using coherent detection, but this technique is too impractical to use in a telecommunications environment, and downconversion of microwave subcarriers requires phase matching to the transmitter. (P. Hill, et al., "Bandwidth Efficient Transmission of 4 Gb/s on Two Microwave QPSK Subcarriers Over a 48 km Optical Link", *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 2, no. 7, July 1990, pp. 510-512; and P. Hill, et al., "8 Gb/s Subcarrier Multiplexed Coherent Lightwave System", *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 3, no. 8, August 1991, pp. 764-766.)

Although numerous experimental high-speed SCM systems have been demonstrated, the technology has not been embraced by the telecommunications industry. Ordinary single-mode fibers have been installed all over the world, and conventional long-haul fiber systems have thus far relied on dispersion-shifted fiber in answer to the dispersion problem that accompanies carrier wavelengths of 1550 nm. Typical SCM systems have receivers that use coherent detection. Greenhalgh, et al., demonstrated an optical pre-filtering technique for subcarrier demultiplexing in a low bandwidth SCM link but did not explain how that could be used to reduce the effects of dispersion. (P. A. Greenhalgh, et al., "Optical prefiltering in subcarrier systems", *SPIE*, vol. 1790, *Analog Photonics* (1992), pp. 76-84.)

### SUMMARY OF THE INVENTION

An object of the present invention is to provide an optical fiber communication system.

A further object of the present invention is to provide a subcarrier multiplexing system for long-haul communication.

Another object of the present invention is to provide a subcarrier multiplexing system for simplified receiver construction.

Briefly, a subcarrier multiplexing system embodiment of the present invention provides for the simultaneous reduction of the concomitant problems of receiver complexity and dispersion penalty and without requiring the use of an expensive, high-bandwidth optical detector. The system provides both a dispersion reduction and a direct detection to the receiver, with microwave mixers and lithium niobate external modulator that produce sidebands that are only separated by a few gigahertz from a principal laser optical carrier. Digital data streams are independently impressed upon these sidebands for transmission over an ordinary single-mode fiber. Independent high-speed data streams are upconverted to microwave frequencies. These subcarriers are then combined with a microwave power combiner and amplified with a microwave amplifier. A solid-state 1550-nm laser carrier is externally modulated by the microwave subcarriers. An erbium-doped fiber amplifier (EDFA) is used just prior to long-distance transmission over ordinary single-mode fiber. The transmitted optical signal may then traverse multiple EDFAs to compensate for long-haul optical fiber losses prior to detection. At a receiving end, the optical signal is split into multiple paths. The subcarrier channels are optically pre-selected using a narrowband optical filter, such as a fiber Fabry-Perot (FFP) filter. An optical detector converts the selected optical signal into a baseband electrical data stream.

An advantage of the present invention is that a subcarrier multiplexing system is provided that is capable of transmitting multiple 2.5 Gbit/s (OC-48) data streams over an estimated 650 km of ordinary single-mode fiber without significant dispersion, and it is estimated that 622 Mbit/s (OC-12) data streams could be transmitted over 10,000 km of fiber.

Another advantage of the present invention is that a subcarrier multiplexing system is provided that does not require the use of an expensive, high-bandwidth optical detector.

A further advantage of the present invention is that a subcarrier multiplexing system is provided that reduces dispersion and allows direct detection at the receiver. Microwave mixers and lithium niobate external modulator are used that produce sidebands that are only separated by a few gigahertz from the principal laser optical carrier.

### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a block diagram of the subcarrier multiplexing system embodiment of the present invention; and

FIG. 2 illustrates various waveforms representing the signals communicated in the system of FIG. 1.

### DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

FIG. 1 represents a subcarrier multiplexing (SCM) system for simultaneously reducing the concomitant problems of receiver complexity and dispersion penalty, such embodiment of the present invention is referred to herein by the general reference numeral 10. The SCM 10 accepts a number of digital data streams 11-13 that are independently

impressed upon carrier sidebands by a corresponding set of microwave modulators 21–23 driven by respective microwave oscillators 31–33. The independent high-speed data streams 11–13 are upconverted to microwave frequencies. These subcarriers are then combined with a microwave power combiner 40 and amplified with a microwave amplifier 42. A continuous wave laser 44 produces a solid-state 1550-nm laser carrier that is modulated by the microwave subcarriers in an external optical modulator 46. An erbium-doped fiber amplifier (EDFA) 48 is used just prior to long-distance transmission over an ordinary single-mode fiber 50. The transmitted optical signal may then traverse a plurality of EDFAs 52 to compensate for long-haul optical fiber losses caused by additional lengths of ordinary single-mode fiber 54.

At a receiving end, the optical signal is split into multiple paths by an optical splitter 56. The subcarrier channels are optically pre-selected by a plurality narrowband optical filters 61–63, such as a fiber Fabry-Perot (FFP) filter. A set of corresponding optical detectors 71–73 convert the selected optical signals into a respective set of baseband electrical data streams 81–83.

When a tunable filter is used to select a particular subcarrier and associated data sidebands, the passband energy is detected with a photodiode that reproduces the original baseband information. The filter blocks the energy from optical subcarriers such that the photodiodes each appear to be illuminated by a single intensity modulated signal. So the baseband information is directly detected. The photodetector and the later signal processing stages need only to be operable at baseband frequencies, not the carrier frequency.

Each of the microwave subcarriers must be amplified to a level that does not exceed the maximum power handling capability of the external modulator, e.g., to avoid damage. Excessive modulation (beyond  $V\pi$ ) can also result in non-linear transmission. Conversely, insufficient amplification of the small signals will provide for such inadequate optical modulation of the subcarriers that the subcarriers will not rise above the noise.

A DC bias must be applied to the optical modulator 46 (e.g., a Mach-Zehnder type) to maintain its quiescent operating point at a null, in order to suppress the main optical carrier. If such null bias is not maintained, the presence of a large optical carrier at the FFP filters 61–63 will prevent the filters' controllers from locking onto the relatively small optical subcarriers.

The modulator 46 preferably has an extinction ratio of 30–40 dB. Null-biased modulators having an extinction ratio less than this can pass significant fractions of the main optical carrier and thus can cause significant crosstalk at the receiving end.

The fiber Fabry-Perot (FFP) filters 61–63 preferably have a full-width half-maximum (FWHM) bandwidth of approximately one and a half times the bit rate. For a 2.5 Gbit/s data stream, a 3.75 GHz FFP filter should be used. Wider bandwidths than this allow too much crosstalk between adjacent subcarriers. Narrower bandwidths can distort the data stream that is passed through the filters. Where necessary, additional crosstalk suppression can be obtained by including additional FFP filters in cascade.

The optical detectors 81–83 preferably have a 3-dB bandwidth of approximately 0.75 times the bit rate. Such bandwidth provides additional suppression of crosstalk from adjacent subcarriers. The Lorentzian response of the FFP filters 61–63 cannot by itself adequately reduce the crosstalk levels of adjacent channels.

FIG. 2 illustrates various waveforms representing the signals communicated in the system of FIG. 1. The top portion represents the collection of optical subcarriers distributed about the optical carrier wavelength of 1550 nanometers, e.g., from optical modulator 46 to optical splitter 56. The middle portion represents a single "desired" subcarrier that has been selected by a filter 61–63, e.g., between filter 61 and detector 71. The bottom portion represents the baseband output of the detectors 71–73, e.g., on digital output 81.

Although particular embodiments of the present invention have been described and illustrated, such is not intended to limit the invention. Modifications and changes will no doubt become apparent to those skilled in the art, and it is intended that the invention only be limited by the scope of the appended claims.

The Invention claimed is:

1. A subcarrier multiplexing (SCM) system, comprising: a plurality of digital bit stream inputs;

a plurality of microwave oscillators equal in number to the plurality of digital bit stream inputs and having independent and separate operating frequencies;

a plurality of microwave mixers equal in number to the plurality of digital bit stream inputs and respectively connected to provide modulated outputs from input connections from the plurality of digital bit stream inputs and plurality of microwave oscillators;

a microwave combiner connected to receive all said modulated outputs from the plurality of microwave mixers and to provide a combined microwave output; a continuous wave (CW) laser with a laser light carrier output;

an optical modulator connected to modulate said CW laser light carrier output with a signal representing said combined microwave output;

an erbium-doped fiber amplifier (EDFA) connected to amplify said modulated CW laser light and to drive a conventional single-mode fiber optics cable; and

receiver means for connection to said conventional single-mode fiber optics cable and for recovering digital data input applied to each of the digital bit stream inputs.

2. A subcarrier multiplexing (SCM) system, comprising:

transmission means for combining the microwave outputs of a plurality of microwave mixers connected to receive digital bit stream inputs and microwave subcarriers from a corresponding plurality of microwave oscillators, and including optical modulator means for modulating a continuous wave (CW) laser light carrier output with said combined microwave subcarriers, and including an erbium-doped fiber amplifier (EDFA) connected to amplify said modulated CW laser and providing drive output for a conventional single-mode fiber optics cable;

an optical splitter for connection to said conventional single-mode fiber optics cable and for providing a plurality of separated optical subcarriers corresponding to said microwave subcarriers;

a plurality of tunable narrow-band optical filters each respectively connected to filter a single one of said plurality of separated optical subcarriers corresponding to said microwave subcarriers; and

a plurality of optical detectors each respectively connected to single ones of the tunable narrow-band optical filters and for providing a recovered signal representation of said digital bit stream inputs.

3. A subcarrier multiplexing (SCM) system, comprising: a plurality of digital bit stream inputs;

- a plurality of microwave oscillators equal in number to the plurality of digital bit stream inputs and having independent and separate operating frequencies;
- a plurality of microwave mixers equal in number to the plurality of digital bit stream inputs and respectively connected to provide modulated outputs from input connection from the plurality of digital bit stream inputs and plurality of microwave oscillators;
- a microwave combiner connected to receive all said modulated outputs from the plurality of microwave mixers and to provide a combined microwave output;
- a continuous wave (CW) laser with a laser light carrier output;
- an optical modulator connected to modulate said laser light carrier output with a signal representing said combined microwave output;
- an erbium-doped fiber amplifier (EDFA) connected to amplify said modulated CW laser and to drive a conventional single-mode fiber optics cable;
- an optical splitter for connection to said conventional single-mode fiber optics cable and for providing a plurality of separated optical subcarriers corresponding to said microwave subcarriers;
- a plurality of tunable narrow-band optical filters each respectively connected to filter a single one of said plurality of separated optical subcarriers corresponding to said microwave subcarriers; and
- a plurality of optical detectors each respectively connected to single ones of the tunable narrow-band optical filters and for providing a recovered signal representation for each of said digital bit stream inputs.
4. The system of claim 3, further comprising:
- an amplifier is placed between the microwave combiner and the optical modulator and is critically-adjusted in gain to produce an output signal to the optical modulator that does not exceed the maximum power handling capability of the optical modulator, and that is larger than that required for optical modulation of said subcarriers to be above the noise level.
5. The system of claim 3, wherein:
- the optical modulator is a Mach-Zehnder type having a DC bias is applied to maintain a quiescent operating point at a null providing for the suppression of the main optical carrier such that the plurality of tunable narrow-band optical filters are not prevented from locking onto a relatively small optical subcarrier.
6. The system of claim 3, wherein:
- the optical modulator has an extinction ratio of 30-40 dB, wherein no significant portion of optical main carrier is passed through, and providing for crosstalk reduction.
7. The system of claim 3, wherein:
- the plurality of tunable narrow-band optical filters are Fabry-Perot type and each have a full-width half-maximum (FWHM) bandwidth of approximately one and one-half times the bit rate on the respective channel.
8. The system of claim 3, wherein:
- the plurality of tunable narrow-band optical filters are Fabry-Perot type and each have cascaded filters providing for increased crosstalk suppression.
9. The system of claim 3, wherein:
- the plurality of optical detectors each have a 3-dB bandwidth of approximately 0.75 times the corresponding channel bit rate, wherein crosstalk suppression is provided.
10. A subcarrier multiplexing (SCM) system, comprising:
- a plurality of digital bit stream inputs;
- a plurality of microwave oscillators equal in number to the plurality of digital bit stream inputs and having independent and separate operating frequencies;

- a plurality of microwave mixers equal in number to the plurality of digital bit stream inputs and respectively connected to provide modulated outputs from input connection from the plurality of digital bit stream inputs and plurality of microwave oscillators;
- a microwave combiner connected to receive all said modulated outputs from the plurality of microwave mixers and to provide a combined microwave output;
- a continuous wave (CW) laser with a laser light carrier output;
- an optical modulator connected to modulate said laser light carrier output with a signal representing said combined microwave output, wherein the optical modulator is a Mach-Zehnder type having a DC bias that is applied to maintain a quiescent operating point at a null providing for the suppression of the main optical carrier, and wherein the optical modulator has an extinction ratio of 30-40 dB, such that no significant portion of the optical main carrier is passed through;
- an amplifier is placed between the microwave combiner and the optical modulator and is critically-adjusted in gain to produce an output signal to the optical modulator that does not exceed the maximum power handling capability of the optical modulator, and that is larger than that required for optical modulation of said subcarriers to be above the noise level;
- an erbium-doped fiber amplifier (EDFA) connected to amplify said modulated CW laser and to drive a conventional single-mode fiber optics cable;
- an optical splitter for connection to said conventional single-mode fiber optics cable and for providing a plurality of separated optical subcarriers corresponding to said microwave subcarriers;
- a plurality of cascaded Fabry-Perot type tunable narrow-band optical filters each having a full-width half-maximum (FWHM) bandwidth of approximately one and one-half times the bit rate on the respective channel and each respectively connected to filter a single one of said plurality of separated optical subcarriers corresponding to said microwave subcarriers; and
- a plurality of optical detectors each respectively connected to single ones of the tunable narrow-band optical filters and for providing a recovered signal representation for each of said digital bit stream inputs, and wherein each optical detector has a 3-dB bandwidth of approximately 0.75 times the corresponding channel bit rate providing for crosstalk suppression.
11. A method for overcoming dispersion effects in the long-haul transmission of multiplexed high-speed digital data over a single-mode fiber optics cable, the method comprising the steps of:
- modulating a unique microwave subcarrier frequency with a high-speed digital data stream for each of a plurality of channels;
- combining the microwave energies of said plurality of said modulated subcarrier frequencies;
- optically modulating a continuous wave (CW) laser with said combined modulated subcarrier frequencies;
- transporting said optically-modulated CW laser with single-mode fiber optic cable and using a fiber amplifier to make up fiber cable losses;
- optically splitting said optically-modulated CW laser to a plurality of tunable narrowband optical filters to select a single subcarrier for each optical filter; and
- detecting respective said high-speed digital data streams directly from each tunable narrowband optical filter.



**IE2**

## DESCRIPCION

Sistema de radiotransmisión de comunicaciones, especialmente sistema radiomóvil celular.

El invento se refiere a un sistema de transmisión de comunicaciones según el preámbulo de la reivindicación 1 y a uno según el preámbulo de la reivindicación 7. Un sistema de esta clase es conocido a través de la publicación "Elektrisches Nachrichtenwesen", volumen 63, n° 1/1989, páginas 45 a 51 o a través de la publicación "telecom report" 12 (1989), cuaderno 5, páginas 142 a 145. En ellas se trata del sistema de radiocomunicaciones móviles celular estandarizado en toda Europa como sistema GSM.

A través de la publicación IEE REPRINT SERIES 4, Progress in optical communication, vol. 2.1982, Londres, UK, páginas 228 a 230, "Optical heterodyne detection of directly frequency modulated semiconductor laser signals", 09. septiembre 1990: S.Sato et al. se conoce un sistema experimental en el que una señal de alta frecuencia, que es una oscilación de 300 MHz o una secuencia de impulsos es transmitida como sigue.

Un laser de transmisión es modulado con la señal de alta frecuencia. Su señal de salida es transmitida junto con una oscilación portadora no modulada de un laser "Local Oscillator" por medio de una fibra óptica a un fotodiodo. De la señal de salida de este, denominada frecuencia intermedia, se recupera con un mezclador la señal de alta frecuencia.

La diferencia entre las frecuencias de ambos laser se ajusta de tal modo, que sea igual a la frecuencia central del mezclador.

La fuente, que suministra la señal de comunicaciones, que debe transmitir la estación radio, es en el sistema mencionado en primer lugar la así denominada "central de conmutación para comunicaciones móviles" y la estación radio distanciada de ella en el espacio es la así denominada estación fija. En la fuente de la señal de comunicaciones, es decir en la "central de conmutación para comunicaciones móviles", se halla un equipo de transmisión conectado a través de una línea con la estación radio y que transmite a la estación fija la señal de comunicaciones procedente de la fuente se señales de comunicaciones. La estación fija, más exactamente la estación radio de la estación fija, transmite una señal radio de microondas, que posee una frecuencia portadora determinada y que contiene la señal de comunicaciones.

La señal de comunicaciones es transmitida en los sistemas conocidos desde la fuente de señales de comunicaciones a la estación fija en la posición de banda base, por ejemplo como señal PCM 30. La estación fija posee equipos de frecuencia portadora, que transforman la señal de comunicaciones que debe ser transmitida de la posición de banda base en la señal radio, para que pueda ser transmitida a través de los enlaces radio a los abonados móviles.

La estación fija de los sistemas conocidos posee para la señal radio, que una estación fija recibe de los abonados móviles, dispositivo de demodulación de alta frecuencia (HF), denominados también de una forma general "dispositivos de frecuencia portadora de alta frecuencia (HF)".

Estos dispositivos extraen de la señal radio recibida la señal de comunicaciones contenida en ella, por ejemplo una señal digital con una velocidad binaria de 8 Mbit/s aproximadamente, que se transmite después en la posición de banda base a la "central de conmutación para comunicaciones móviles".

Si el tráfico radio, que debe ser gestionado, es tan denso, que las células atendidas cada una por una estación fija se eligen convenientemente muy pequeñas, es decir, que se recurre a las así denominadas "microcélulas", se necesitan muchas células y, con ello, una gran cantidad de estaciones fijas para cubrir una determinada zona geográfica. Si se toma para ello como base el sistema conocido, significa esto un elevado coste, ya que es necesaria la existencia de una gran cantidad de estaciones fijas y que cada una de ellas es cara, principalmente a causa de sus dispositivos de frecuencia portadora de alta frecuencia (HF).

A través del documento DE 37 13 340 A1 se conoce un procedimiento para la transmisión óptica de comunicaciones entre transmisores y receptores separados entre sí en el espacio en el que se recurre al principio de la recepción superheterodina. Una portadora óptica no modulada generada por un laser dispuesto en el lado de recepción es transmitida por medio de una fibra óptica al lado de transmisión y se modula aquí con una señal útil en un modulador. La señal óptica así formada, que contiene la señal útil, retorna al lado de recepción y se transforma, en un receptor óptico existente aquí, por mezcla con una oscilación portadora no modulada extraída del mismo laser, en una banda de frecuencia intermedia para su procesamiento ulterior. En este documento no se menciona la transmisión de una señal radio, que contenga una señal de comunicaciones. Como caso de aplicación para el que se puede utilizar ventajosamente el procedimiento, se menciona la transmisión en banda ancha en el nivel de la conexión de abonados.

El objeto del invento es por ello indicar un sistema de la clase mencionada más arriba en el que la señal radio, que debe ser transmitida por una estación fija, se genera de tal modo y en el que la señal radio recibida por una estación fija se procesa de tal modo, que, con una gran cantidad de células existentes, brinde ventajas de costes frente al sistema conocido y que, en especial, se preste para señales radio de alta frecuencia en el margen de las longitudes de ondas milimétricas.

Este problema se soluciona, desde el punto de vista de la señal radio que debe ser transmitida, como se indica en la reivindicación 1, y desde el punto de vista de la señal radio recibida, como se indica en la reivindicación 7. Los perfeccionamientos se desprenden de la reivindicaciones subordinadas.

El invento brinda para los sistemas de radiocomunicaciones móviles celulares en los que desde un puesto central se deben transmitir diferentes señales de comunicaciones a diferentes estaciones radio e inversamente, la ventaja de que las estaciones radio son sumamente sencillas y de que todos los equipos de transmisión clásicos están dispuestos en el puerto central y pueden ser utilizados por lo tanto conjuntamente por una gran

cantidad de estaciones radio.

El invento brinda también para otros sistemas de radio de transmisión de comunicaciones en los que desde un determinado puesto sólo se transmite una señal de comunicaciones única hacia la estación radio, por ejemplo una estación de radioenlace, e inversamente, la ventaja de que la estación radio, por ejemplo la estación de radioenlace, es un equipo técnico sumamente sencillo y barato y de que los equipos de transmisión caros están dispuestos en un punto, al que posiblemente se puede acceder con mayor facilidad que a la estación de microondas y que se puede proteger con mayor facilidad contra destrucción.

Prescindiendo de la aplicación, presentada como preferida, en los sistemas de radiocomunicaciones móviles celulares, la solución según la reivindicación 1 (y sus perfeccionamientos) se puede aplicar en todos aquellos casos en los que en un primer lugar existe una señal de comunicaciones y en los que en un segundo lugar es preciso generar una señal, en especial una señal de alta frecuencia, que contenga, debido a una modulación, la señal de comunicaciones. Correspondientemente, la solución según la reivindicación 7 (y sus perfeccionamientos) se puede aplicar en todos aquellos casos en los que una señal, en especial una señal de alta frecuencia, tenga que ser transmitida de un primer lugar a un segundo lugar, sin que se necesiten equipos caros en el primer lugar.

El invento se basa en la idea fundamental de trasladar en la medida que sea posible de la estación radio a la central de conmutación el coste necesario para la generación de la señal radio que debe ser transmitida y para el procesamiento de la señal radio recibida. Ésto ya es objeto de la solicitud de patente alemana DE-A1 40 08 165 más antigua.

El presente invento recurre, tanto en la solución según la reivindicación 1, como también en la solución según la reivindicación 7, a la técnica en sí conocida de la recepción superheterodina óptica. Esta se describió muchas veces, por ejemplo en la publicación "FREQUENZ" 41 (1987) 8, páginas 201 a 208.

Si se compara con ella la solución según la reivindicación 1, se puede decir, que se trata de un sistema con recepción superheterodina óptica, con la peculiaridad de que la señal de frecuencia intermedia formada por la recepción superheterodina no es la señal de recepción, que debe ser desmodulada, sino la señal radio que debe ser transmitida y que el "oscilador local" típico en la recepción superheterodina no se halla en el receptor, sino en el transmisor. Si se compara la solución según la reivindicación 7 con la técnica conocida de la recepción superheterodina óptica, se puede decir, que se trata de un sistema con recepción superheterodina óptica, con la peculiaridad de que el "oscilador de transmisión" y el "oscilador local" se realizan con un solo oscilador (transmisor óptico).

El invento se describe ahora con detalle por medio de ejemplos representados en el dibujo. En el muestran:

La figura 1, una representación esquemática de un sistema según el invento para la transmisión de una señal de comunicaciones, que debe

se transmitida como señal radio.

La figura 2, una representación detallada del equipo 10 de transmisión de la figura 1.

La figura 3, una representación esquemática de un sistema según el invento para la transmisión de una gran cantidad de señales de comunicaciones, que deban ser transmitidas como señales radio.

La figura 4, una representación esquemática de un sistema para la transmisión de una señal radio recibida, que contiene una señal de comunicaciones.

La figura 5, una alternativa del modulador 43 óptico contenido en la figura 4.

El sistema según el invento representado en la figura 1 puede ser descrito como sigue:

Como en el sistema conocido mencionado más arriba, en un primer lugar se halla una fuente 1 de señales de comunicaciones, que suministra una señal de comunicaciones, que debe ser transmitida, por ejemplo, una señal digital con una velocidad binaria de aproximadamente 8 Mbit/s. Esta puede ser por ejemplo la central de conmutación del sistema de radiocomunicaciones móviles celular conocido mencionado más arriba. En un segundo lugar, que se halla muy distante en el espacio del lugar de la fuente 1 de señales de comunicaciones, se halla una estación 2 radio, que, como en el sistema conocido, tiene la misión de emitir una señal radio, que contiene la señal de comunicaciones procedente de la fuente 1, ya que es modulada con ella.

La estación 2 radio puede ser una de las numerosas estaciones fijas de un sistema de radiocomunicaciones móvil celular, que tiene la misión de transmitir la señal de comunicaciones al abonado móvil que se halla en su zona de radio, la así llamada célula, o puede ser una estación de radioenlace, que sirve para transmitir la señal de comunicaciones a otra estación de radioenlace muy alejada.

Perteneciente a la estación 2 radio se representa una antena 3 de transmisión, que transmite la señal radio, cuya frecuencia portadora se designa con  $f_1$ . En el lugar de la fuente 1 de señales de comunicaciones se halla un equipo 10 de transmisión conectado según el invento a través de una fibra 4 óptica con la estación 2 radio distante. La transmisión de la señal de comunicaciones desde su fuente 1 hasta la estación 2 radio tiene lugar como sigue:

La señal de comunicaciones modula un transmisor  $T_1$ , que forma parte del equipo 10 de transmisión, que en calidad de fuente de luz posee un laser de semiconductores, de manera, que suministre en su salida una oscilación portadora modulada con una frecuencia  $\nu_1$  óptica. Un segundo transmisor  $T_0$  óptico genera una oscilación portadora óptica no modulada con una frecuencia  $\nu_0$  óptica. Las frecuencias  $\theta_1$  y  $\nu_0$  se eligen aquí de tal modo, que se diferencien exactamente en el valor  $f_1$ , que debe tener la señal radio emitida por la estación 2 radio. Las oscilaciones se denominarán en lo que sigue "portadora" para simplificar.

En la figura 1 se ha suprimido el dispositivo de regulación de la frecuencia necesario para el mantenimiento de la diferencia de frecuencias prefijada. Se describe por medio de la figura 2. De

las salidas de los transmisores  $T_1$  y  $T_0$  ópticos se acoplan la portadora modulada con la frecuencia  $\nu_1$  óptica y la portadora no modulada con la frecuencia  $\nu_0$  óptica por medio de sendas fibras  $L_1$  y  $L_0$  ópticas y de un acoplador 5 de fibras ópticas en una fibra 4 óptica y se transmiten a través de ella a la estación radio distante.

La luz transmitida, procedente de las distintas fuentes de luz, incide aquí en un receptor 6 óptico, cuyo fotodiodo 7 se representa por separado. Por medio de la mezcla de las dos señales de luz se obtiene, de acuerdo con la técnica conocida de la recepción superheterodina, una señal eléctrica, que contiene una componente con una frecuencia, que es igual a la diferencia de las frecuencias de las señales de luz mutuamente superpuestas y que equivale a la señal de frecuencia intermedia en la recepción superheterodina óptica clásica. Esta señal contiene la misma modulación que la señal óptica de salida del transmisor  $T_1$  óptico del equipo 10 de transmisión, que puede ser una de las clases de modulación usuales en la técnica de la recepción superheterodina óptica. El receptor óptico posee un elemento selectivo apropiado para seleccionar la componente de señal con la frecuencia  $f_1$  de la señal obtenida por medio de la mezcla. Este elemento puede ser un amplificador selectivo en frecuencia o un filtro sintonizado con la frecuencia  $f_1$  con un amplificador conectado a continuación.

Como en cualquier sistema con recepción superheterodina óptica, en el descrito en lo que antecede también es preciso cuidar, que los estados de polarización de las ondas portadoras, que se quieren superponer, no sean ortogonales entre sí. Aparte de la costosa solución de la utilización de fibras ópticas, que conservan la polarización, se pueden utilizar para ello los conocidos procedimientos de la recepción en diversidad de polarización o de la regulación de la polarización. Parece especialmente favorable, que la polarización de la luz generada por uno o por los dos transmisores ópticos se modifique permanentemente en el tiempo ("aleatorización (scrambling) de polarización"), de manera, que, desde un punto de vista estadístico, los estados de polarización relativos de ortogonalidad indeseados sean suficientemente improbables.

La fibra 4 óptica puede ser una fibra óptica monomodo estándar y desde el punto de vista de los transmisores ópticos y de los receptores ópticos no es preciso establecer condiciones más exigentes que en cualquier sistema que trabaje con recepción superheterodina óptica.

Como es obvio, las dos oscilaciones portadoras ópticas también pueden ser transmitidas por medio de fibras ópticas distintas al receptor óptico. La mezcla descrita para el receptor óptico no tiene lugar en la fibra 4 óptica, ya que, contrariamente al fotodiodo 7, posee propiedades ópticas lineales.

Una ventaja esencial del sistema descrito reside en el hecho de que la portadora óptica con la frecuencia  $\nu_1$  portadora se modula con una señal en posición de banda base, es decir con una señal con un ancho de banda comparativamente muy pequeño. Una modulación de esta clase se puede realizar con facilidad con los diodos laser usuales. De una forma especialmente ventajosa se

puede insertar, si fuera necesario, en un punto adecuado de la fibra 4 óptica adecuado un amplificador óptico, que, de una forma totalmente carente de problemas, amplifica las dos oscilaciones portadoras, ya que posee un ancho de banda grande de 3000 GHz.

El ejemplo numérico que sigue explicará de forma todavía más clara el funcionamiento del sistema según el invento:

Si para la señal radio, que debe ser transmitida por la estación radio, se prevé una frecuencia portadora de 60 GHz, lo que equivale a una longitud de onda de 5 mm y que es una longitud de onda típica en el margen de las ondas milimétricas, se puede elegir la frecuencia  $\nu_0$  portadora igual a 200 000 GHz y la frecuencia  $\nu_1$  portadora igual a 200 060 GHz. Las dos oscilaciones portadoras equivalen entonces a longitudes de onda en el vacío en el margen de 1500 nm. Para las señales radio, como las del ejemplo elegido, que se hallan en el margen de longitudes de onda de las ondas milimétricas, existen condiciones de propagación muy favorables y constantes en la atmósfera para enlaces radio pequeños, como los que se prevén en un sistema de radiocomunicaciones móvil con células muy pequeñas. Estas frecuencias portadoras pueden ser utilizadas por ello de forma ventajosa para un sistema de esta clase y el sistema de transmisión con recepción superheterodina según el invento se presta de forma especial para ellas, ya que resultaría difícil transmitir una señal de 60 GHz por medio de una modulación laser directa a través de un vano de transmisión óptico o a través de cualquier otro medio de transmisión.

Por medio de la figura 2 se describe ahora la regulación de la frecuencia para los transmisores  $T_0$  y  $T_1$  del equipo 10 de transmisión. La luz con la frecuencia  $\nu_0$  óptica llega desde el transmisor  $T_0$  óptico, a través de un enlace LR0 de fibra óptica, a la entrada óptica de un dispositivo 11 de regulación de la frecuencia. La luz con la frecuencia  $\nu_1$  óptica, modulada con la señal de comunicaciones, llega a través de un enlace LR1, a otra entrada óptica del dispositivo 11 de regulación de la frecuencia. La luz introducida a través de las fibras ópticas LR0, respectivamente LR1 en el dispositivo 11 de regulación de la frecuencia puede ser la luz reflejada del laser contenido en el transmisor óptico o una fracción de luz extraída de la luz emitida en el sentido de avance. El dispositivo 11 de regulación de la frecuencia es un receptor óptico, que, por superposición de las dos señales de luz, genera una señal óptica con la frecuencia diferencial, cuyo valor es  $f_1 = | \nu_0 - \nu_1 |$  y que contiene un filtro conectado a continuación sintonizado con la frecuencia  $f_1$  nominal, que aplica una señal de mando a uno o al otro transmisor óptico o a los dos, cuando la diferencia de frecuencias no coincide con la frecuencia  $f_1$  nominal. Las señales de mando llegan a través de circuitos S0, respectivamente S1 al correspondiente transmisor óptico y modifican la frecuencia óptica de este de tal modo, que la diferencia de frecuencias se regule hasta el valor nominal. La modulación contenida en la señal de luz con la frecuencia  $\nu_1$  portadora puede ser suprimida en la regulación de la frecuencia por medio de un filtrado con un

filtro paso bajo sencillo de la señal obtenida en la mezcla. Para presintonizar la frecuencia  $f_1$  nominal se inyecta en el dispositivo 11 de regulación de la frecuencia una señal S de mando. Los dispositivos para la regulación de señales ópticas son en sí conocidos, por ejemplo a través del documento DE-A1 39 07 851.

Por medio de la figura 3 se describe ahora un sistema de transmisión con el que se transmite una gran cantidad de señales de comunicaciones a una gran cantidad de estaciones radio. Dado que en el sistema según la figura 3 no se debe transmitir una señal de comunicaciones única como en el sistema según la figura 1, posee aquel, además del transmisor  $T_0$ , que genera la oscilación portadora óptica con la frecuencia  $\nu_0$  portadora, un sólo transmisor  $T_1$  óptico adicional, que suministra la oscilación portadora con la frecuencia  $\nu_1$  portadora, modulada con la señal de comunicación, sino también otros transmisores ópticos, numerados de forma correlativa hasta  $T_n$ . De la totalidad de las  $n$  señales de comunicaciones procedentes de fuentes  $E_1$  a  $E_n$ , una de ellas modula uno de los transmisores  $T_1$  a  $T_n$ , que generan oscilaciones portadoras con diferentes frecuencias  $\nu_1$  a  $\nu_n$ . Todas las portadoras ópticas generadas por los transmisores ópticos, la portadora no modulada con la frecuencia  $\nu_0$  óptica y la portadora modulada con las frecuencias  $\nu_1$  a  $\nu_n$  son transmitidas siempre a través de una fibra óptica a un acoplador 20 en estrella, conectado por medio de una fibra  $LL_1$  a  $LL_n$  óptica con una estación  $R_1$  a  $R_n$  radio. Para las estaciones  $R_1$  a  $R_n$  radio se prevén frecuencias portadoras distintas de las señales radio, que deben ser emitidas y que se designan con  $f_1$  a  $f_n$ , por ejemplo  $f_1 = 60$  GHz,  $f_2 = 61$  GHz, etc.

En el lugar de los transmisores  $T_0$  a  $T_n$  ópticos se halla un dispositivo 21 de regulación de la frecuencia, que, de acuerdo con la regulación de frecuencia descrita en relación con la figura 2, se encarga de que cada una de las frecuencias portadoras de la portadoras ópticas se diferencie de la frecuencia  $\nu_0$  portadora, que debe ser considerada como frecuencia de referencia, en un valor absoluto, que sea igual a la frecuencia de la estación radio correspondiente. Por lo tanto, para  $i = 1$  a  $n$  es válido:  $f_i = |\nu_0 - \nu_i|$ . Con ello se transmiten en cada una de las fibras  $LL_1$  a  $LL_n$  todas las portadoras ópticas con las frecuencias  $\nu_0$  a  $\nu_n$ .

En cada estación  $R_1$  a  $R_n$  radio tiene lugar, como se describió para la estación 2 radio de la figura 1 en relación con la mezcla de las dos portadoras con las frecuencias  $\nu_0$  y  $\nu_1$ , una mezcla de todas las portadoras, de manera, que se forman señales ópticas con todas las frecuencias  $|\nu_i - \nu_j|$  diferenciales. Dado, sin embargo, que cada receptor  $R_i$  óptico tiene la propiedad de dejar pasar únicamente la señal óptica con la frecuencia  $f_i = |\nu_0 - \nu_i|$  y de suprimir las señales con las otras frecuencias, aparece en la salida de cada uno de los receptores ópticos la señal radio con la frecuencia  $f_i$  deseada, que (como se describió por medio de la figura 1) está modulada con la señal de comunicaciones, que debe ser transmitida por esta estación radio.

Si fuera necesario, se puede insertar en un punto adecuado un amplificador óptico en una

de las fibras ópticas representadas. En el ejemplo representado se representa un amplificador de esta clase entre la salida del transmisor  $T_0$  óptico y el acoplador 20 en estrella y se designa con el símbolo de referencia 22.

El sistema multiseñal según la figura 3 también tiene la ventaja de que las estaciones radio son extremadamente sencillas y baratas, de que todos los dispositivos, que determinan la frecuencia de la correspondiente señal radio están centralizados en un solo lugar y de que los componentes, que son aprovechables para la transmisión de diferentes señales, en especial el transmisor  $T_0$  óptico, que suministra la oscilación portadora no modulada, pueden ser aprovechados conjuntamente.

Además, se obtiene la ventaja de que las modificaciones en el transcurso de ampliaciones o en el transcurso de una nueva división en células, por ejemplo modificaciones del plan de frecuencias de radio, se pueden realizar de una forma centralizada y que las estaciones radio pueden permanecer invariables.

En las estaciones radio ya sólo se realizan las funciones relacionadas con la mezcla descrita de las dos oscilaciones portadoras y de forma directa con la emisión de las señales radio formadas con ello. Por ello, cualquier control de la frecuencia, por ejemplo el control, que tiene lugar cuando se utiliza un procedimiento con salto de frecuencia, también puede ser realizado por un mando central.

Para la realización del receptor óptico existente en una estación radio, que posea la propiedad de ser selectivo para la señal eléctrica con la frecuencia  $f_i = |\nu_0 - \nu_i|$  son posibles las distintas variantes siguientes:

La primera variante es la ya descrita por medio de la figura 1, en la que la luz recibida en el fotodiodo, por ejemplo un fotodiodo-pin de un receptor óptico, a continuación del que se conectan un filtro sintonizado con la frecuencia diferencial  $f_i = |\nu_0 - \nu_i|$  y un amplificador o un amplificador selectivo para esta frecuencia.

Una segunda variante prevé como receptor óptico un oscilador eléctrico de microondas sintonizado con la frecuencia diferencial deseada, que posee un transistor GaAs de efecto de campo o un HEMT (High Electron Mobility Transistor), que es igualmente sensible a la luz. Este último oscilador también es conocido como oscilador HEMT. En un oscilador de esta clase también tiene lugar una mezcla de las dos portadoras recibidas con la consecuencia de que el oscilador es atacado con la modulación obtenida por medio de la mezcla de la señal formada con la componente de la frecuencia diferencial. Este oscilador es con ello un oscilador óptico sincronizado por inyección.

Una tercera variante es igualmente un oscilador óptico sincronizado por inyección sintonizado con la frecuencia  $f_i = |\nu_0 - \nu_i|$ . Este oscilador contiene como elemento sensible a la luz un fotodiodo BARRIT o un fotodiodo Gunn o un fotodiodo IMPATT. Este oscilador se sincroniza con la frecuencia  $f_i$  diferencial de las dos portadoras ópticas recibidas y suministra por lo tanto en su salida la señal radio modulada con las señales de comunicaciones con la frecuencia  $f_i$  deseada. Se

presta en especial para las frecuencias  $f_i$ , que se hallan en el margen de longitudes de onda de las ondas milimétricas.

También es apropiado un oscilador de microondas con un componente de tiempo de propagación sensible a la luz.

En lo que sigue se describe el segundo invento mencionado al principio, que se refiere al procedimiento para procesar una señal radio, que contiene una señal de comunicaciones recibida por una estación radio, en la estación radio y en un equipo de transmisión distanciado de ella, para que en el equipo de transmisión distante se disponga de la señal de comunicaciones para su procesamiento ulterior. Este segundo invento tiene en común con el primer invento, que se refiere a la generación de una señal radio, que contiene una señal de comunicaciones y que debe ser emitida por una estación radio, la idea fundamental de que la mayor cantidad posible de equipos de transmisión y de procesamiento se trasladan de la estación radio al equipo de transmisión distante y de que la transmisión entre la estación radio y el equipo de transmisión distante es especialmente favorable para señales radio de alta frecuencia en el margen de las longitudes de onda milimétricas.

La figura 4 representa un sistema de transmisión de comunicaciones con una estación 40 radio de recepción, cuya antena 41 de recepción recibe una señal radio, que contiene una señal de comunicaciones, que se modula con una portadora con una frecuencia portadora situada en el margen de las longitudes de onda milimétricas, por ejemplo 61 GHz. La frecuencia portadora de esta señal radio se designa con  $f_1'$ . La estación 40 radio de recepción contiene un receptor-amplificador, que amplifica la señal radio recibida y la aplica a la entrada de modulación de un modulador 43 óptico.

El sistema de transmisión de comunicaciones posee, distanciado en el espacio de la estación 40 radio, un equipo 44 de transmisión. Contrariamente al sistema de radiocomunicaciones móvil conocido mencionado al principio, la señal radio recibida por la estación 40 radio de recepción, no es desmodulada en la estación radio, sino que es transmitida como sigue al equipo 44 de transmisión distante. El equipo 44 de transmisión posee un transmisor 47 óptico, que genera una portadora óptica con una frecuencia  $\nu_0'$  óptica. Este transmisor óptico está conectado a través de una fibra 45 óptica con el modulador 43 óptico de la estación 40 radio de recepción, de manera, que la portadora óptica es transmitida con la frecuencia  $\nu_0'$  al modulador óptico.

El modulador óptico es en el ejemplo representado un modulador de reflexión, que posee la propiedad de que la luz emitida hacia el a través de la fibra 45 óptica es reflejada hacia atrás y la modula al mismo tiempo con la señal aplicada a su entrada de modulación, en este caso la señal radio con la frecuencia  $f_1$  portadora. Con ello, a través de la fibra 45 óptica no sólo retorna al equipo 44 de transmisión la portadora no modulada con la frecuencia  $\nu_0'$ , sino también una portadora modulada con la frecuencia  $\nu_1' = \nu_0' \pm f_1'$ .

En el equipo 44 de transmisión se desacoplan

estas dos portadoras por medio de un acoplador 46 direccional de la fibra 45 óptica y se transmiten a través de un tramo 53 de fibra óptica a la entrada óptica de un receptor 48 óptico. En el ejemplo representado, el receptor óptico posee como elemento sensible a la luz un fotodiodo 49. Las dos portadoras ópticas, que inciden en el fotodiodo del receptor óptico, generan en el por mezcla, de acuerdo con la conocida técnica de la recepción superheterodina óptica, una señal eléctrica, que contiene una componente con una frecuencia que es igual a la diferencia de las frecuencias portadoras mutuamente superpuestas y que equivale a la señal de frecuencia intermedia de la recepción superheterodina óptica clásica. La señal de frecuencia intermedia posee en el presente caso la frecuencia portadora  $f_1'$ , es decir, que es la señal radio.

La señal de comunicaciones contenida en ella es recuperada finalmente por medio de un demodulador 50 y se halla disponible para el procesamiento ulterior o, por ejemplo, para la transmisión a través de una central de conmutación. En otras aplicaciones distintas del sistema de radiocomunicaciones móvil también es posible, que el demodulador 50 no se halle en el equipo de transmisión, sino en otro lugar.

Como se expuso más arriba en relación con el receptor 6 óptico de la figura 1, este debe poseer la propiedad de ser selectivo para la frecuencia deseada. Por lo demás, para el receptor óptico es válido lo dicho más arriba para el receptor 6 óptico de la figura 1, incluidas las deferentes formas de ejecución posibles descritas.

Como se desprende de la descripción que antecede se trata de un sistema, que de una forma general se puede utilizar en cualquier caso de aplicación, cuando surge el problema de transmitir una señal, en especial una señal de alta frecuencia de un lugar A a un lugar B distante, sin que para ello existan equipos de transmisión costosos en el lugar A. En el presente caso sólo es necesario, si se considera la salida del amplificador 42 de recepción como fuente de señales, que en el lugar A sólo se halle un modulador óptico pasivo sencillo. Todos los demás equipos necesarios para la transmisión se hallan en el lugar B. Por ello, el sistema se presta en especial para los casos de aplicación en los que el lugar A es difícilmente accesible o en los que los equipos existentes en el corren, por diversas razones, peligro de ser destruidos.

El sistema también puede ser utilizado en combinación con sistemas de radioenlaces, cuando se trata de que la construcción de la estación del radioenlace sea lo más sencilla posible y de trasladar los equipos caros a un lugar distante. El sistema se presta de una forma especial para la aplicación en sistemas de radiocomunicaciones móviles celulares para el procesamiento de la señal radio recibida en las estaciones radio, que permite, que el transmisor óptico sea utilizado de forma múltiple para una gran cantidad de células, de manera, que en conjunto se dispone de un sistema de transmisión barato.

De forma especialmente ventajosa se puede utilizar en el enlace de transmisión óptico entre el modulador 43 óptico y el equipo 44 de transmisión un amplificador de fibra óptica, ya que po-

see la propiedad de amplificar en los dos sentidos de transmisión la luz que pasa por el. En el ejemplo descrito se inserta convenientemente en la fibra 45 óptica en la proximidad del modulador 43, lo que se ha suprimido en el dibujo para mayor sencillez.

Tanto en el sistema según la figura 4, como también en el según la figura 1 es preciso tomar medidas apropiadas desde el punto de vista de los estados de polarización de las portadoras ópticas mutuamente superpuestas.

Por medio de la figura 5 se describe ahora otro modulador 51 óptico, que se puede utilizar en lugar del modulador 43 óptico representado en la figura 4, que es un modulador de reflexión. El modulador 51 óptico es un modulador, que modula la luz que pasa por el con la señal aplicada a su entrada de modulación. Por ello se puede denominar modulador óptico de transmisión. Los moduladores de esta clase también son conocidos. Generalmente se trata de moduladores basados en niobato de litio.

Si en este modulador 51 penetra una portadora óptica con la frecuencia  $\nu_0'$  portadora, se generan, por modulación con una señal de modulación con la frecuencia  $f_1'$ , una portadora con la frecuencia portadora  $\nu_1 = \nu_0' \pm f_1'$  y la portadora original con la frecuencia  $\nu_0'$ . Estas son acopladas por la salida del modulador 51 a través de una fibra óptica y de un acoplador 52 direccional

en la fibra óptica, se transmiten de aquí al equipo 44 de transmisión distante y se procesan como se describió más arriba.

Finalmente, se quiere mencionar todavía, que el sistema según la figura 1, en el que la señal de comunicaciones debe ser transmitida por el equipo 10 de transmisión hacia la estación radio, se puede combinar para formar un sistema bidireccional. La estación 2 radio de transmisión de la figura 1 se puede agrupar entonces de forma ventajosa en el espacio con la estación 40 radio de recepción de la figura 4, al mismo tiempo, que los equipos pueden ser utilizados de forma múltiple. Lo mismo es válido para el equipo 10 de transmisión de la figura y para el equipo de transmisión 44 de la figura 4. Finalmente, es posible utilizar para ambos sentidos de transmisión una sola fibra óptica en un múltiplex de longitudes de onda, por el hecho de que las frecuencias se eligen de tal modo, que las frecuencias  $\nu_0, \nu_1$  (y eventualmente otras) se hallen en un primer margen de longitudes de onda, por ejemplo alrededor de 1500 nm, mientras que las frecuencias  $\nu_0', \nu_1'$  se hallan en un segundo margen de longitudes de onda, por ejemplo alrededor de 1300 nm. Para el agrupamiento y la separación de las portadoras ópticas, considerablemente separadas entre sí debido a ello, se pueden utilizar entonces, como es usual, multiplexores/demultiplexores de longitudes de onda de fibra óptica.

## REIVINDICACIONES

1. Sistema de transmisión de comunicaciones con una fuente (1) de señales de comunicaciones y con una estación (2) radio distanciada de ella en el espacio, en el que un equipo (10) de transmisión existente en la fuente de señales de comunicaciones y conectado con la estación radio a través de una línea (4) transmite a la estación radio una señal de comunicaciones y en el que la estación radio emite una señal radio con una frecuencia  $f_1$  portadora, que contiene la señal de comunicaciones, **caracterizado**

- porque el equipo (10) de transmisión está conectado con la estación (2) radio a través de al menos una fibra (4) óptica,

- porque el equipo (10) de transmisión transmite a la estación (2) radio una oscilación portadora óptica modulada con la señal de comunicaciones con una primera frecuencia ( $\nu_1$ ) óptica y una oscilación portadora óptica no modulada con una segunda frecuencia ( $\nu_0$ ) óptica, al mismo tiempo, que las dos frecuencia ópticas se diferencian en el valor absoluto de la frecuencia  $f_1$  portadora y

- porque la estación (2) radio posee un dispositivo (6), que, por mezcla de las dos oscilaciones portadoras, genera la señal radio con la frecuencia  $f_1$  portadora, que contiene la señal de comunicaciones.

2. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el equipo (10) de transmisión existente en la fuente (1) de señales de comunicaciones contiene:

- un primer transmisor ( $T_1$ ) óptico, que es modulado con la señal de comunicaciones y que genera una oscilación portadora modulada con la primera frecuencia ( $\nu_1$ ) óptica,

- un segundo transmisor ( $T_0$ ) óptico, que genera una oscilación portadora no modulada con la segunda frecuencia ( $\nu_0$ ) óptica y

- un dispositivo (11) de regulación de la frecuencia, que estabiliza en el valor  $f_1$  prefijado la diferencia entre la primera y la segunda frecuencia óptica.

3. Sistema según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque el dispositivo (6) de la estación (2) radio se compone de un receptor (6) óptico con un fotodiodo (7) y de un filtro selectivo para la frecuencia  $f_1$  portadora o un amplificador selectivo.

4. Sistema según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque el dispositivo (6) de la estación (2) radio se compone de un oscilador sintonizado con la frecuencia  $f_1$  portadora con un transistor de efecto de campo sensible a la luz o con un transistor sensible a la luz con una movilidad alta de los electrones o con un componente de tiempo de propagación sensible a la luz.

5. Sistema según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado**

- porque para la transmisión de una gran cantidad de señales de comunicaciones a cada una de las estaciones ( $R_1$  a  $R_n$ ) radio un equipo ( $T_0$  a  $T_n$ , 21) de transmisión existente en las fuentes

( $E_1$  a  $E_n$ ) genera una gran cantidad de oscilaciones de portadora ópticas modulada cada una con una señal de comunicaciones con diferentes frecuencias ( $\nu_1$  a  $\nu_n$ ) y una oscilación de portadora óptica no modulada con una frecuencia ( $\nu_0$ ) de referencia, al mismo tiempo, que cada una de las frecuencias ( $\nu_1$  a  $\nu_n$ ) se diferencia de la frecuencia ( $\nu_0$ ) de referencia en el valor absoluto de las frecuencias ( $f_1$  a  $f_n$ ) portadoras prefijada para una de las estaciones radio,

- porque se prevén un acoplador (20) en estrella y una gran cantidad de fibras ( $LL_1$  a  $LL_n$ ) ópticas, que distribuyen la totalidad de las oscilaciones portadoras ópticas a la gran cantidad de estaciones ( $R_1$  a  $R_n$ ) radio y

- porque cada una de las estaciones ( $R_1$  a  $R_n$ ) radio genera, por mezcla de las oscilaciones portadoras recibidas y por medio de un filtrado selectivo la señal radio con la frecuencia portadora asignada ella.

6. Utilización de un sistema de transmisión de comunicaciones según una de las reivindicaciones 1 a 5 para generar a partir de una señal de comunicaciones existente en un primer lugar una señal, en especial una señal de alta frecuencia, que contenga la señal de comunicaciones.

7. Sistema de transmisión de comunicaciones con una estación (40) radio de recepción, que recibe una señal radio, que contiene la señal de comunicaciones, **caracterizado**

- porque la estación radio de recepción está conectada al menos a través de una fibra (45) óptica con un equipo (44) de transmisión distanciada de ella en el espacio,

- porque el equipo (44) de transmisión comprende un transmisor (47) óptico, que transmite una oscilación portadora óptica no modulada hacia la estación radio,

- porque la estación radio comprende un modulador (43, 51) óptico, que modula la oscilación portadora óptica emitida por el equipo (44) de transmisión con la señal radio ( $f_1'$ ) recibida y devuelve la señal óptica obtenida con la modulación al equipo (44) de transmisión y

- porque el equipo (44) de transmisión comprende un receptor (48) óptico, que recupera la señal ( $f_1'$ ) por mezcla de la oscilación portadora no modulada con la oscilación portadora modulada.

8. Sistema según la reivindicación 7, **caracterizado** porque el equipo (44) de transmisión posee un demodulador (50), que, por demodulación con la señal radio obtenida en el receptor (48) recupera la señal de comunicaciones contenida en ella.

9. Utilización de un sistema de transmisión de comunicaciones según la reivindicación 7 para transmitir una señal, en especial una señal de alta frecuencia, existente en un primer lugar a un segundo lugar.

10. Sistema según una de las reivindicaciones 7 y 8, **caracterizado** porque el modulador (43) óptico es un modulador de reflexión.

11. Sistema según una de las reivindicaciones 7 y 8, **caracterizado** porque el modulador (51)



óptico es un modulador de transmisión y porque su señal de salida es acoplada en la misma fibra (45) óptica a través de la que recibe su señal de

recepción y es transmitida al equipo (44) de transmisión distante.

5

10

15

20

25

30

35

40

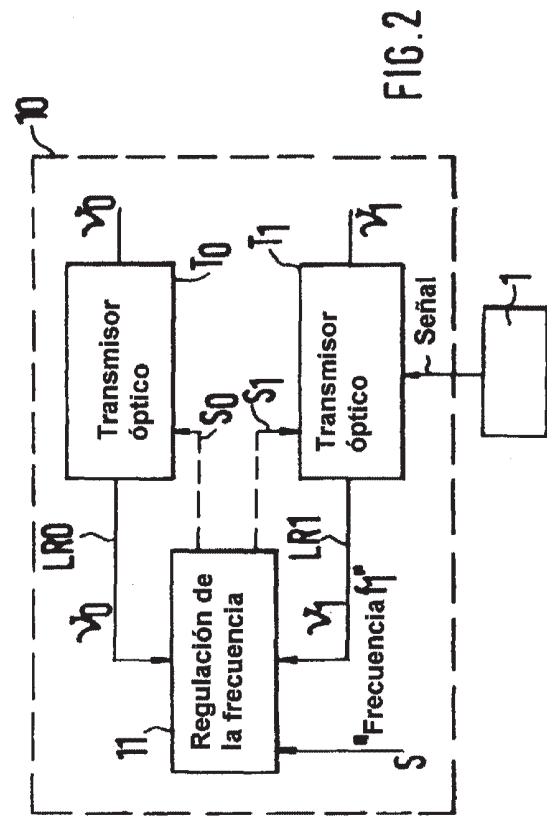
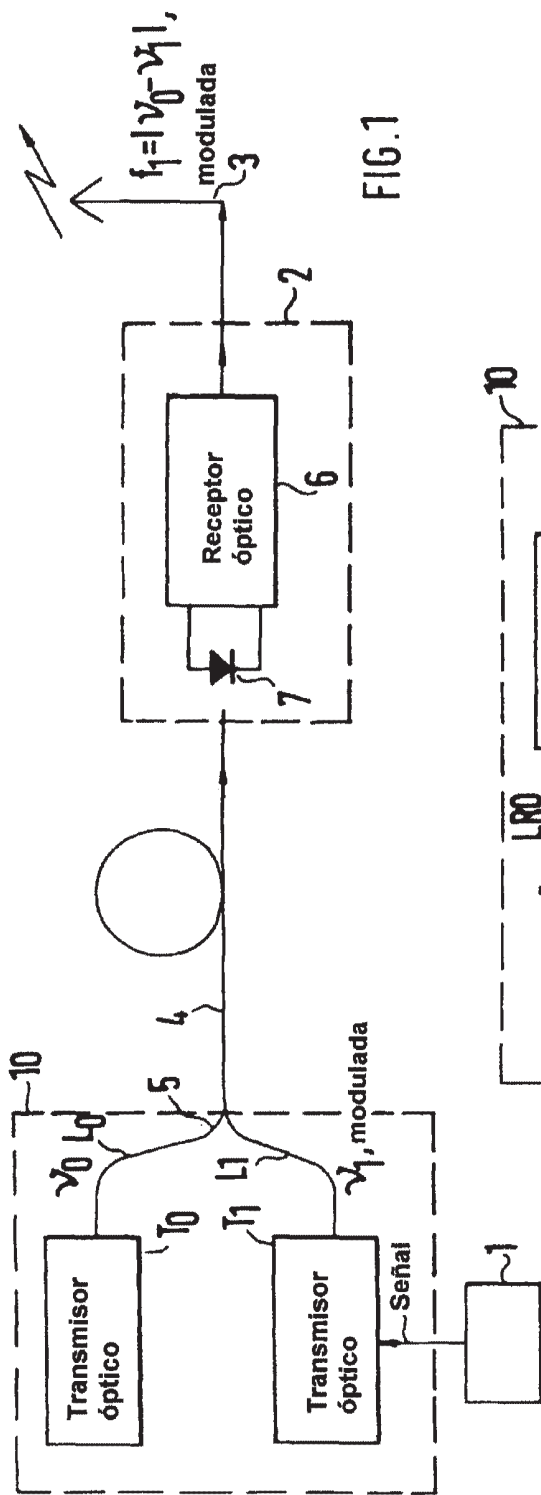
45

50

55

60

65



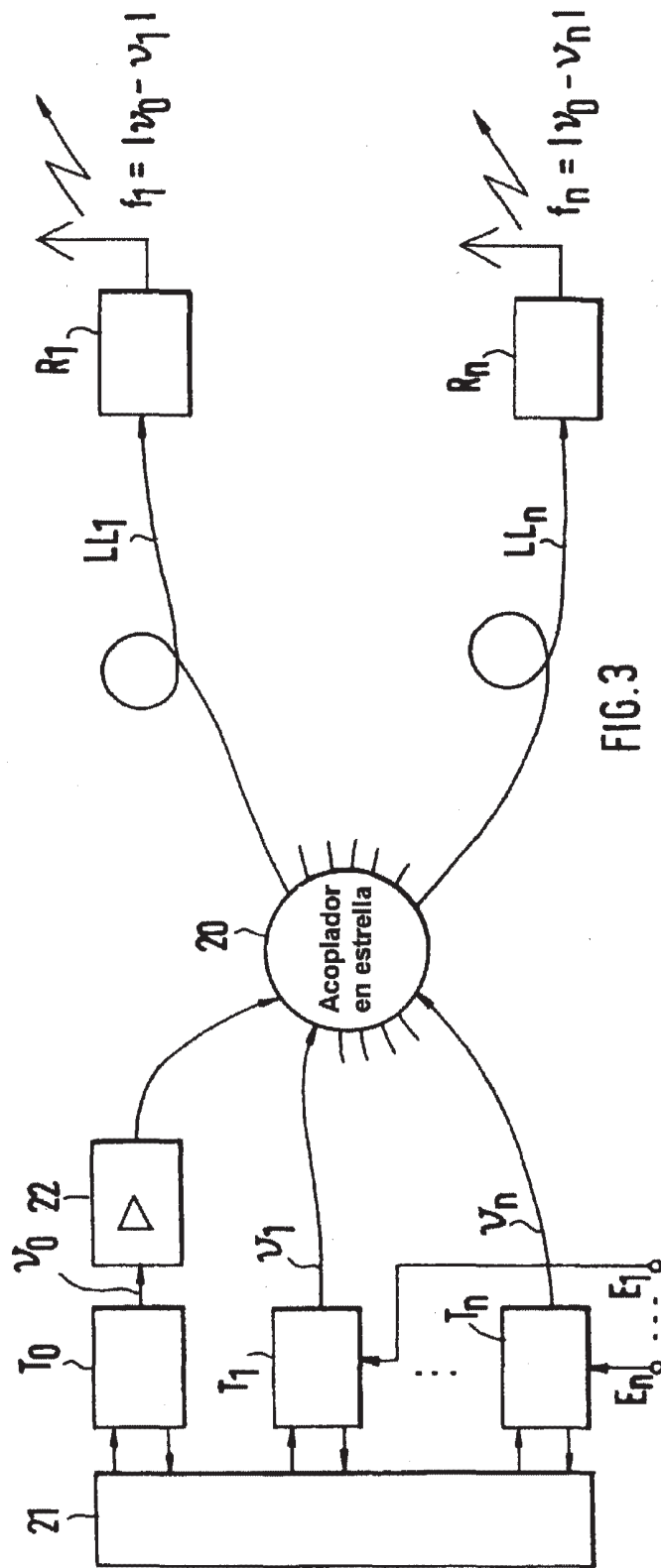


FIG.3



**IE3**

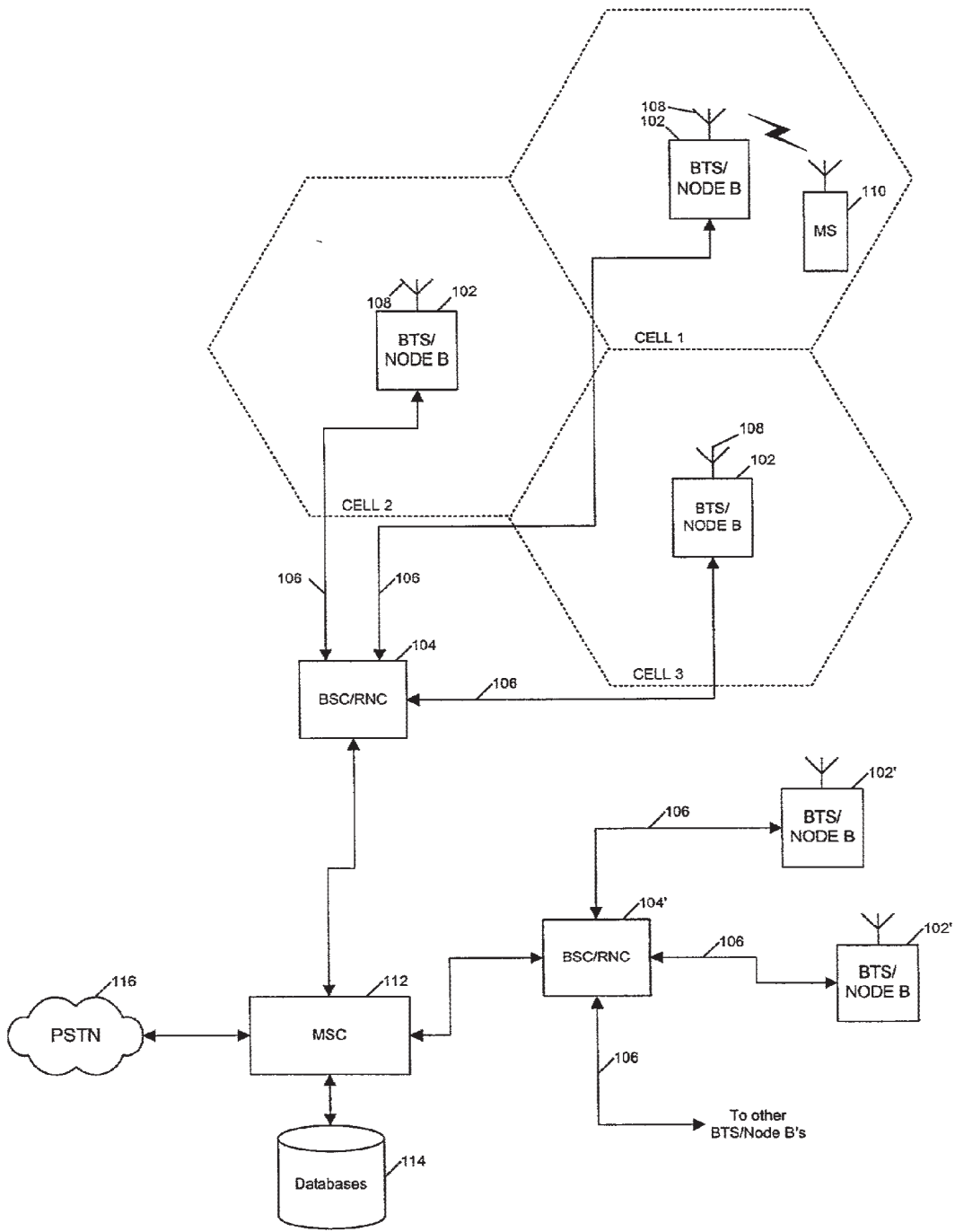


Figure 1  
(Prior Art)

100

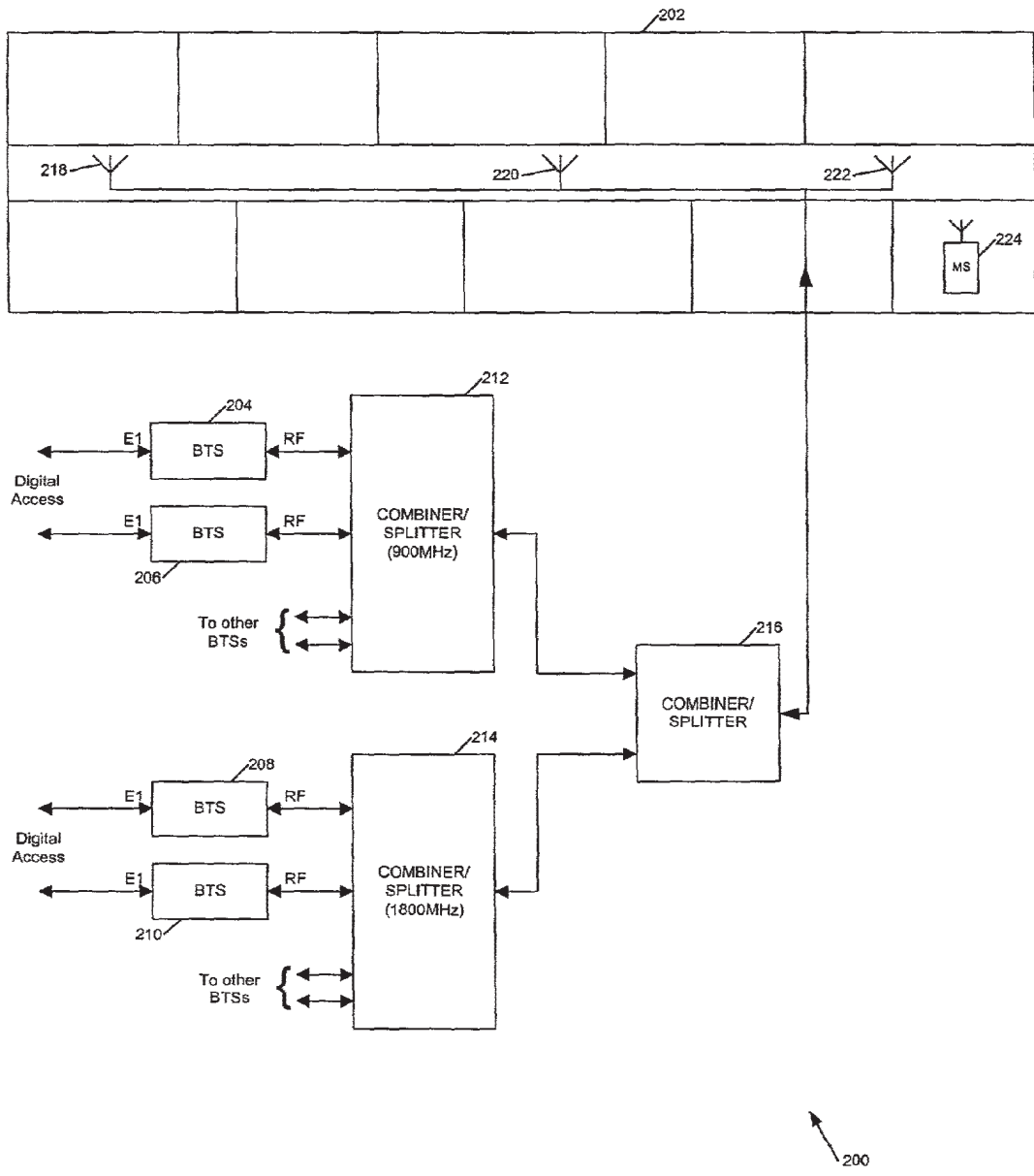


Figure 2  
(Prior Art)

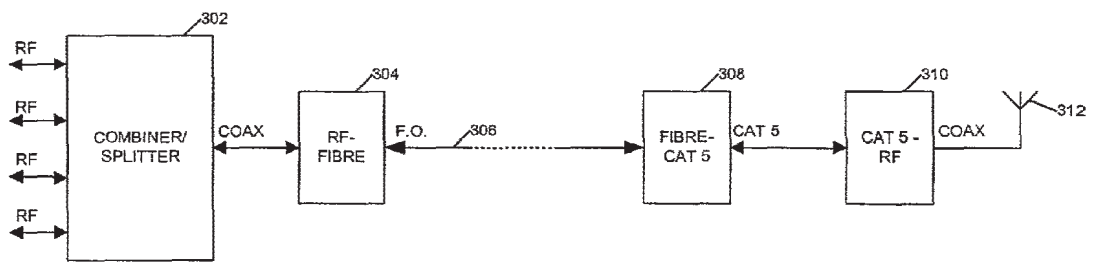


Figure 3a  
(Prior Art)

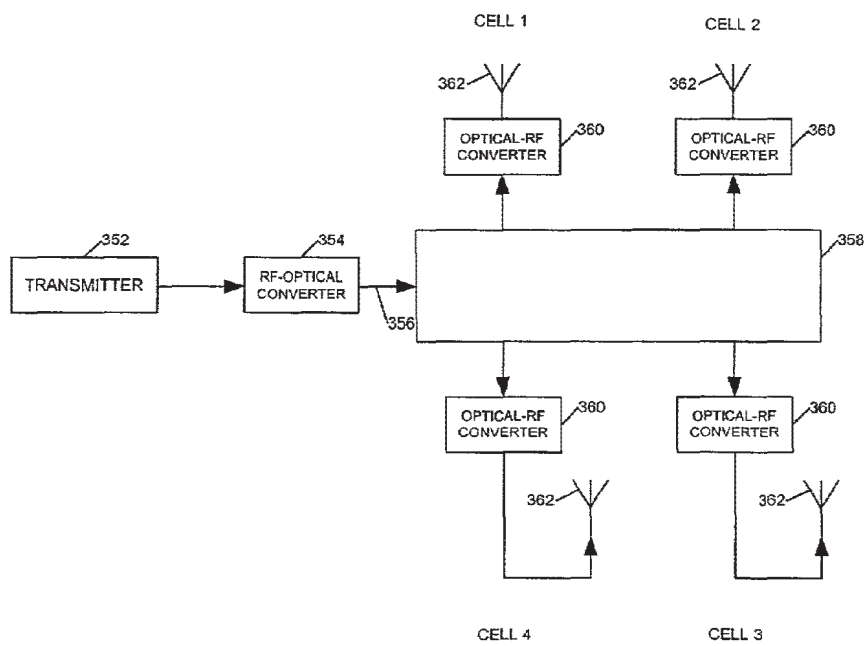


Figure 3b



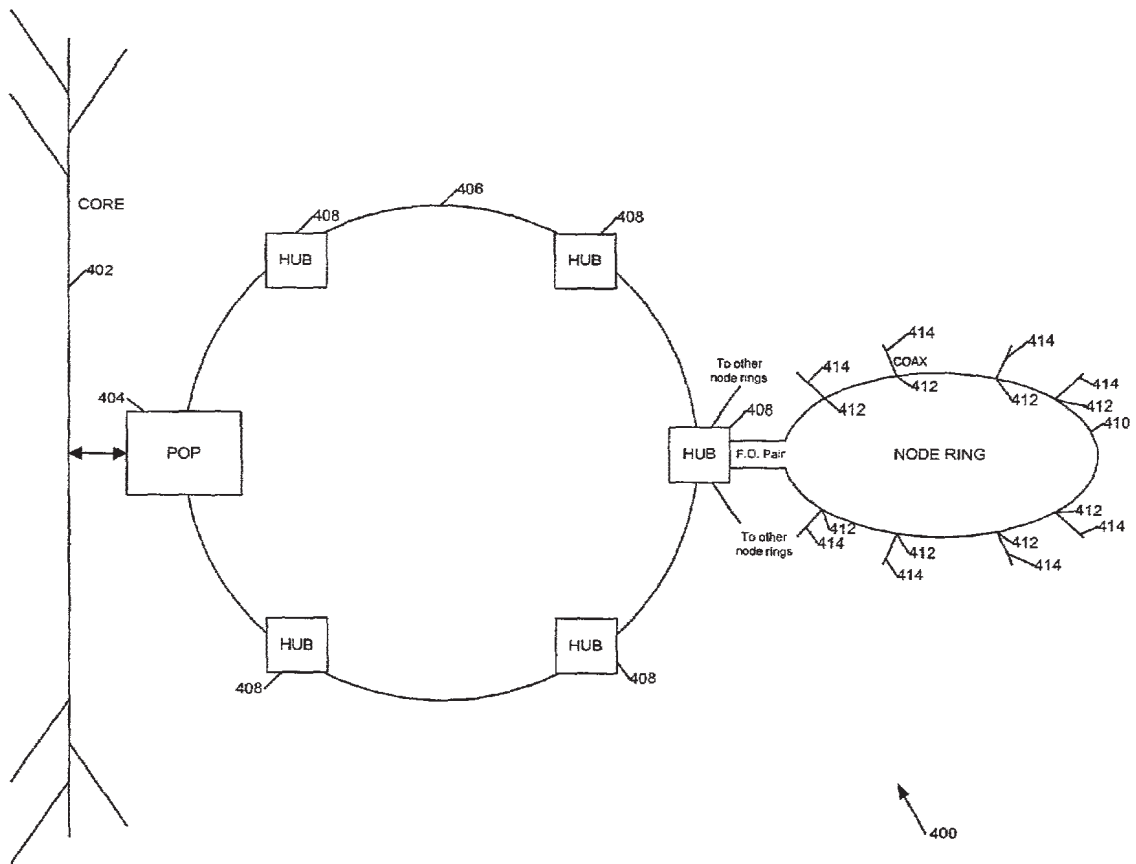


Figure 4

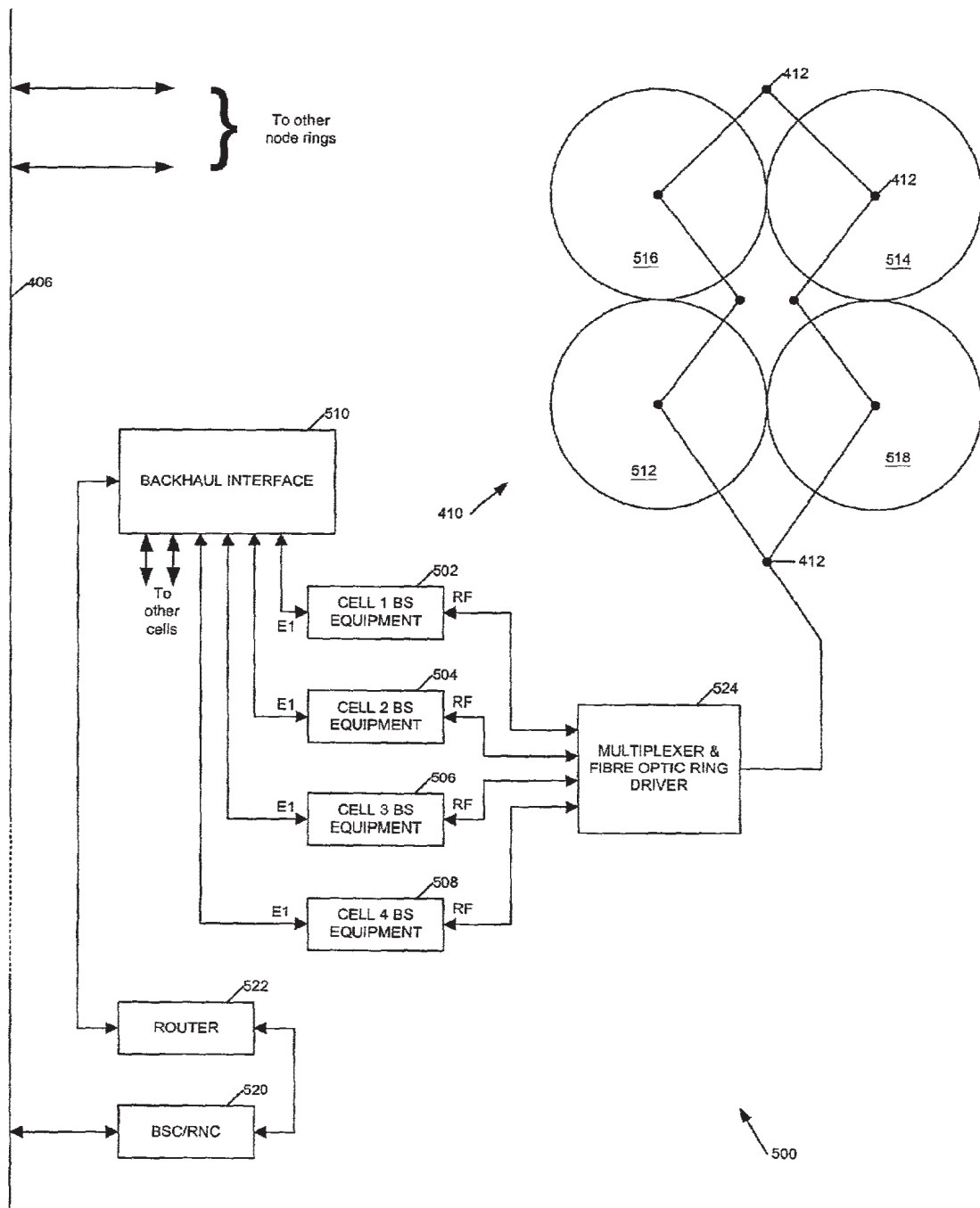


Figure 5

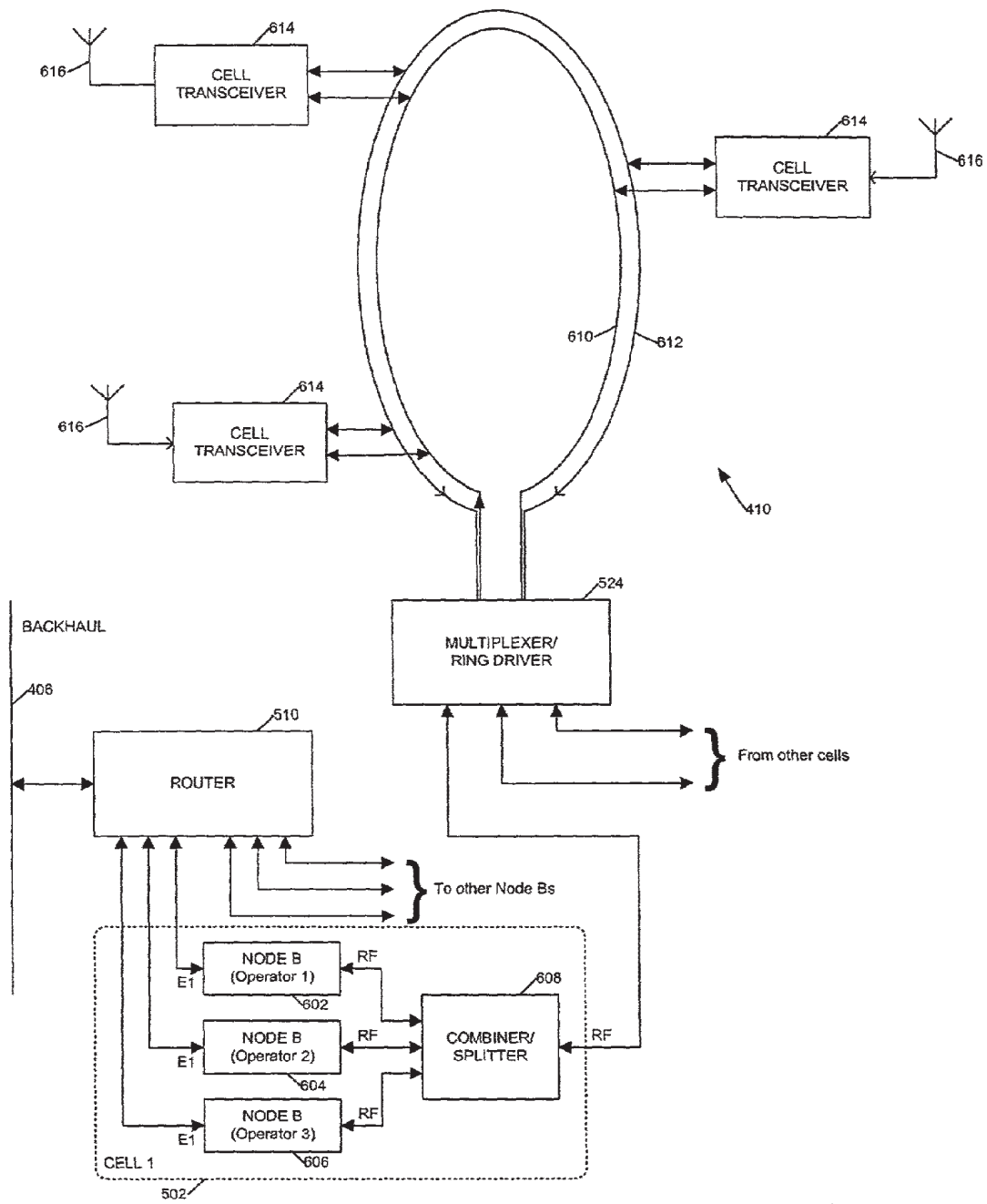


Figure 6

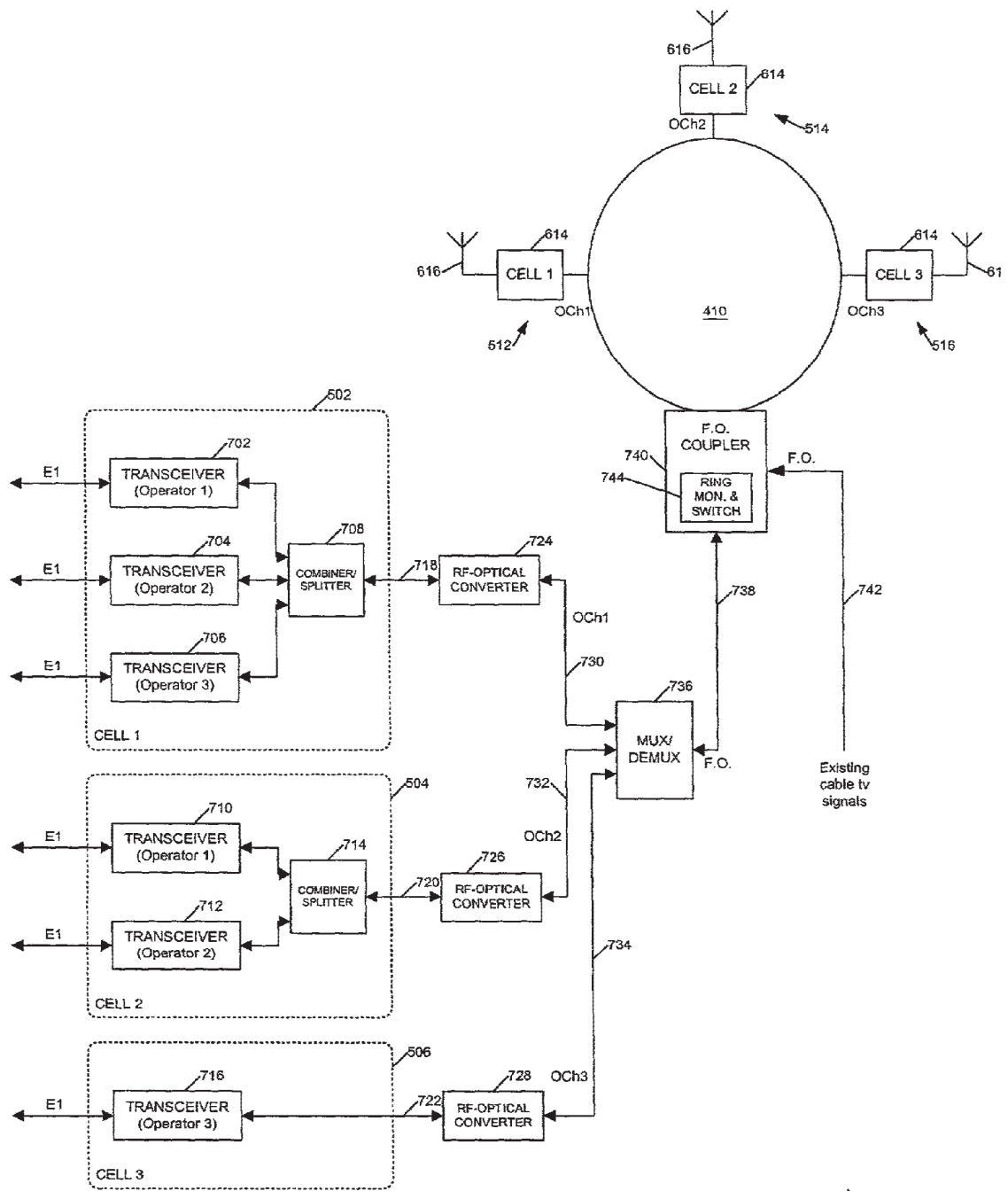


Figure 7

700

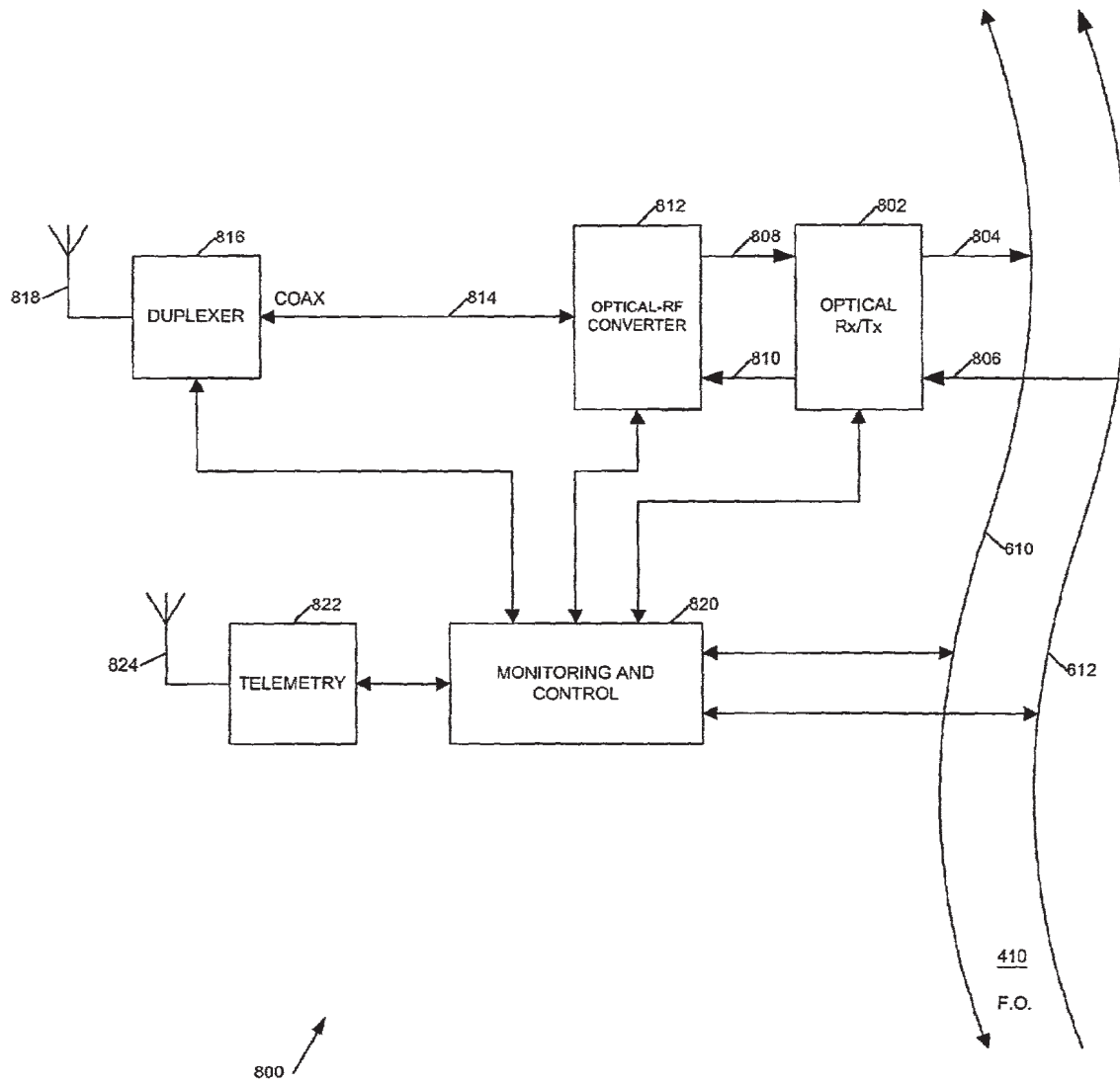


Figure 8

## SIGNAL TRANSMISSION SYSTEMS

### FIELD OF THE INVENTION

[0001] This invention is concerned with the transmission of signals between elements of a cellular communications network, such as a GSM network or an IMT-2000 network. More particularly it relates to the transmission of signals between transmitters and/or receivers serving cells in the network and antennas at the cells themselves. Aspects of the invention provide a system for distributing signals from a plurality of such transmitters to a plurality of cells and a system for receiving signals from a plurality of cells and transmitting these signals to a plurality of receivers.

### BACKGROUND TO THE INVENTION

[0002] FIG. 1 shows an overview of one type of cellular communications network, a GSM (Global System for Mobile communications) network 100. Referring to FIG. 1, a plurality of Base Transceiver Stations (BTS) 102 are coupled to a Base Station Controller (BSC) 104 by digital links 106 across the so-called  $A_{\text{bts}}$  interface. Each BTS 102 is provided with an antenna (or set of antennas) 108 for serving its respective cell. In FIG. 1 a Mobile Station (MS) 110 is located in Cell 1 and communicates with the BTS serving that cell. Both the Base Transceiver Station 102 and the mobile station 110 incorporate radio frequency (rf) transceivers to allow the mobile station 110 to transmit and receive voice and data traffic over the GSM network. The Base Transceiver Station defines a cell and manages the protocols for RF communication with the mobile station across the air interface, also known as the Um interface.

[0003] As illustrated in FIG. 1, a single BTS is provided for each cell but, in practice, two or more BTS's may be provided for each cell, depending upon the number of anticipated simultaneous users in that cell. Each BTS normally comprises a plurality of transceivers, typically six for a tri-sector GSM cell, two for each sector. Each transceiver provides a frequency channel comprising 8 traffic channels, for serving up to 8 mobile stations. In the GSM system communication between the BTS and the mobile station uses a combination of TDMA (Time Division Multiple Access) and FDMA (Frequency Division Multiple Access). The frequency spectrum allocated to the network is divided into a plurality of carriers to implement FDMA and each carrier is divided into a plurality of TDMA frames to define the traffic channels.

[0004] In Europe, GSM operates at around 900 MHz (the frequency ranges 890-915 MHz and 935-960 MHz are allocated to mobile communications networks) and according to the GSM FDMA scheme the FDMA carriers are spaced at 200 KHz, to occupy a maximum of 25 MHz (with 124 carriers). An equivalent system, DCS 1800, operates at approximately 1.8 GHz, and in North America GSM (and the equivalent PCS 1900 system) operates at 1.9 GHz.

[0005] As shown in FIG. 1, a plurality of Base Transceiver Stations are coupled to a single Base Station Controller (BSC) 104. Elsewhere in the system other Base Transceiver Stations 102' are coupled to other Base Station Controllers, such as BSC 104'. The Base Station Controller controls a plurality of Base Transceiver Stations, normally in a plurality of different cells, and, among other things, manages handovers (or handoffs) of the mobile station

between cells and between different channels in a single cell. The BSC also manages other channel set up and control functions. Thus, for example, the Base and Mobile stations generally hop between different frequencies during a single TDMA frame for transmit, receive and monitor functions, and also hop between frequencies on TDMA frame changes. The Base Station Controller manages this frequency hopping as well as other functions, such as transmit power control.

[0006] Each Base Station Controller 104, 104' is connected via a digital link to a Mobile Switching Centre (MSC) 112 which in turn is connected to the Public Switched Telephone Network (PSTN) 116 and/or the Integrated Services for Digital Network (ISDN) (not shown). Mobile switching centre 112 is also coupled to a plurality of databases 114, including a Home Location Register (HLR) and a Visitor Location Register (VLR) to provide call-routing and roaming functions, and an Equipment Identity Register (EIR) and an Authentication Centre (AuC) for mobile station identification, authentication, and security. Generally MSC 112 will also be coupled to other MSCs over a high bandwidth digital network, such as (Synchronous Transfer Mode) STM-16/64. For further details of the GSM specification, reference may be made to the GSM standards published by ETSI (the European Technical Standards Institute), including standards GSM 01-12 which are hereby incorporated by reference.

[0007] As illustrated in FIG. 1, in a cellular communications network the physical area covered by the network is divided into cells. A given physical area will normally receive coverage from two or more network operators, each of which will have their own system of Base Transceiver Stations. A Mobile Station incorporates a Subscriber Identity Module (SIM) which allows a user of the mobile station access to the network of a particular operator and which specifies the services, such as speech and data services, to which the user has subscribed. However, the GSM hardware such as the Base Transceiver Stations and GSM terminals (or "Mobile Equipment") into which the SIM cards are inserted, is generally not operator-specific and is usable with any GSM network. An operator normally restricts access, by means of data stored on the SIM cards, to the networks of other operators for commercial rather than technical reasons.

[0008] The above described cellular communications network is a so-called "2G" or second generation system. Later systems are referred to as 2.5G and 3G (third generation) communication systems. These are also cellular communications systems although they may be based on packet switched data services such as GPRS (General Packet Radio Service) rather than a circuit switched network approach. The invention described below is suitable for use with either type of cellular communications network.

[0009] Referring now to FIG. 2, this shows a prior art in-building signal distribution system 200 for distributing base station transceiver signals in a GSM communications network. In FIG. 2 a shopping centre 202 comprises a so-called "pico" cell—that is it forms a cell of its own within a physically larger, conventional mobile communications network cell. Such an arrangement helps manage network traffic where a large number of users is concentrated within a single building. The pico cell is served by one or more Base Transceiver Stations separately from the larger con-

ventional cell (which may be termed a macro cell) within which it is sited. In the signal distribution system of FIG. 2, the pico cell of shopping centre 202 is shared between a number of operators—that is the physical area of the pico cell is served by dedicated Base Transceiver Stations of more than one operator.

[0010] In more detail, Base Transceiver Stations 204 and 206 are coupled to first and second GSM networks managed by first and second GSM network operators, operating at 900 MHz. Base Transceiver Stations 208 and 210 are coupled to third and fourth GSM-type networks operating at 1800 MHz and managed by respective third and fourth network operators. Each Base Transceiver Station receives a digital E1 (2 Mbps) data feed, coupling the BTS to its Base Station Controller.

[0011] The RF input/outputs of BTS 204 and 206 are coupled to RF combiner/splitter 212, together with the RF input/outputs of any further Base Transceiver Stations operating at 900 MHz. Similarly, the RF interfaces of Base Transceiver Stations 208 and 210 are coupled to RF combiner/splitter 214 operating at 1800 MHz. The RF combiner/splitters operating at 900 MHz and 1800 MHz are preferably separate to reduce the risk of a second harmonic of the 900 MHz signals interfering with the 1800 MHz signals.

[0012] Each combiner/splitter accepts two or more RF output signals from the Base Transceiver Stations and combines these into a single rf output, for example by simple simulation. Each combiner/splitter also accepts a single RF input, for example from a cell antenna, and separates this into two or more received signals provided as RF outputs to the Base Transceiver Station RF inputs. Since the Base Transceiver Stations are configured to select, from a plurality of signals received at an RF receive antenna, only those signals which are intended for processing by the BTS, the RF “separator” need only duplicate the signal received at its RF input to a plurality of outputs for the Base Transceiver Stations. Thus the “splitter” need only provide a fan-out function, and could be referred to as an RF separator.

[0013] As illustrated, each combiner/splitter has a plurality of first interface lines, one for each Base Transceiver Station it interfaces to, and a second interface with a single interface line for interfacing, directly or indirectly, to a cell antenna. Both sets of interface lines are input-output lines. The first interface lines are coupled to inputs of a combiner module of the combiner/splitter and to outputs of a splitter module of the combiner/splitter. The second interface line is coupled to an output of the combiner module and an input of the separator module.

[0014] The second interface lines of combiner/splitters 212 and 214 are coupled to a further combiner/splitter 216 which operates with signals at both 900 MHz and 1800 MHz. Such devices are available from, for example, Aerial Facilities Limited and Remec, in the UK. The single second interface line of combiner/splitter 216 then provides a coaxial cable feed to a plurality of cell antennas 218, 220 and 222 positioned at points within the pico cell chosen to ensure good coverage throughout the cell. In practice, antennas 218, 220 and 222 may each comprise separate transmit and receive antennas or a combined transmit/receive antenna. Antennas 218, 220 and 222 are dual band antennas for operation at both 900 and 1800 MHz but, in other embodiments, may comprise separate antennas for the 900 MHz and

1800 MHz frequency bands. In this way a mobile station such as GSM hand set 224, within the pico cell may be provided with coverage for two or more GSM network operators. Further components of the system, such as RF duplexers and preamplifiers, which may also be employed in practical embodiments of the system, are not shown in FIG. 2.

[0015] In the system of FIG. 2, the cable run between combiner/splitter 216 and antennas 218, 220 and 222 may be several hundred meters, in which case signals received at the antennas may be lost and signals for transmission by the antennas may be severely attenuated. FIG. 3 shows prior art equipment 300 which may be used in such circumstances to provide longer cable runs than could otherwise be tolerated.

[0016] In FIG. 3a combiner/splitter 302 provides an RF output on co-axial cable to an rf-optical converter 304, which in turn is coupled or connected to a first end of fibre optic cable 306. The rf-optical converter 304 converts an input rf signal to an optical output signal for fibre optic cable 306 and converts an optical input signal from fibre optic cable 306 to an rf output signal for input to combiner/splitter 302. A second end of fibre optic cable 306 is connected to optical-Category 5 converter 308 which provides a Cat 5 cable connection to Cat 5-rf converter 310 which provides a coaxial cable connection to antenna 312. A problem with this system is, however, that it is only able to serve a single antenna and a separate fibre optic cable connection is required for each separate antenna 312.

[0017] The Cat 5 cable run is typically 60 to 90 meters whilst the fibre optic cable run may be up to 1 kilometer for multimode fibre and greater than 1 kilometer for single mode fibre. Fibre optic cable 306 is shown as a single connection between converters 304 and 308, but in practice it will normally consist of a pair of optical fibres, one to provide an uplink connection from the antenna 312 and the other to provide a downlink connection to the antenna 312. Equipment of the type shown in FIG. 3a is available from LGC Wireless Inc., San Jose, USA and/or Tekmar Sistemi, Italy.

[0018] Third generation (3G) mobile communications networks are briefly mentioned above. The third generation standard is known as the International Mobile Telecommunications or IMT-2000 standard and is available from the International Telecommunications Union (ITU), for example via [www.itu.int](http://www.itu.int), and a copy of this standard is hereby incorporated by reference.

[0019] Unlike GSM, the third generation technology uses CDMA (Code Division Multiple Access) rather than TDMA with, in Europe, the USA and Japan, FDD (Frequency Division Duplex) operation for the up and down links from and to the Mobile Station. Europe and Japan use wide band (W) CDMA with direct spread FDD whilst the USA uses cdma2000 with multi-carrier FDD.

[0020] Broadly speaking, the architecture of third generation systems is similar to that of the GSM system shown in FIG. 1. Thus a Radio Network Controller (RNC) replaces the Base Station Controller (BSC) and a so-called Node B replaces the Base Transceiver Station (BTS). The RNC performs similar functions to the BSC but includes support for packet data handling, as well as support for legacy (2G and 2.5G) systems. Third generation networks will also

incorporate additional systems, not shown in **FIG. 1**, such as Media Gateways (MGW), Serving GPRS Support Nodes (SGSN) and Gateway GPRS Support Nodes (GGSN). The 3G systems comprise a radio access network coupled to a core network by a backbone network using asynchronous transfer mode (ATM) and/or internet protocol (IP) such as IP over SONET/SDH rings, which provide a high bandwidth, for example, by operating using Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM). Since code domain access is used in 3G systems Node B transceivers in adjacent cells may operate on the same or overlapping frequencies. Thus a single Node B may serve more than one cell.

[0021] The planned European WCDMA systems have at least a nominal 2x5 MHz bandwidth for each operator and the European Telecommunications Standard Institute (ETSI) has allocated the frequency bands of 1920-1980 MHz and 2110-2170 MHz for FDD operation. More generally, third generation systems are being implemented between 1 GHz and 3 GHz. In the UK five licences have been issued by the Government for third generation cellular telecommunications networks allocating 60 MHz of spectrum, three operators being provided with two 5 MHz FDD WCDMA channels, and two operators being provided with three 5 MHz channels.

[0022] From a user's perspective, the main feature of IMT-2000 is that it is intended to provide much greater data rates than 2G and 2.5G networks. Thus the standard specifies predefined user data rates of, for example, 144 Kbps and 384 Kbps up to 2 Mbps. The main way in which these relative high data rates are to be achieved when operating at around 2 GHz is by making the cells very much smaller than those of 2G systems. The consequence of this is that very many more cells are needed for a 3G system than for a 2G system. This results in a number of problems.

[0023] Installing a 3G network can have a significant detrimental effect on the environment as a large number of antenna sites is required for the smaller, more numerous cells, especially because the required number of sites is multiplied by the number of different network operators (in the UK, five). A related problem is the possible radiation hazard associated with the increased power transmission from antennas at these sites. Acquiring sites for these new antennas is expected to be difficult and expensive and, more generally, large capital and operational costs are expected to be associated with 3G networks. Maintenance of base station equipment for such a large number of cells, and upgrading such networks to provide increased capacity, is also likely to be time consuming and expensive.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

[0024] The present invention aims to address these and other problems associated with 2G, 2.5G, and particularly 3G cellular communications networks.

[0025] According to a first aspect of the present invention there is therefore provided a signal distribution system for distributing wireless communications network signals, the system comprising a plurality of rf transmitters for transmitting rf signals to serve communications devices in a plurality of network cells or sectors; and characterised in that the system further comprises a multiplexer, coupled to the rf transmitters, for multiplexing output signals from the transmitters and outputting a multiplexed transmitter signal;

a signal transporter, coupled to the multiplexer, for transporting the multiplexed transmitter signals to each of the network cells or sectors served by the transmitters; and a multiplexed signal receiver at each served cell or sector, coupled to the signal transporter, for selecting and receiving a transmitter signal from an rf transmitter serving the cell or sector from the multiplexed transmitter signal.

[0026] By multiplexing the outputs from a plurality of base station transmitters and transporting the multiplexed signal to each served cell or sector the location of base station equipment for a number of cells or sectors can be centralised at a location remote from the cell or sector antenna site or sites. Here a cell refers to a geographical region of coverage and thus the system is usable to distribute signals to serve separate (cell) sectors conventionally provided with coverage from a single physical location ("cell site").

[0027] At the antenna sites the multiplexed signal is converted back to an rf signal and transported, for example by means of co-axial cable, to a suitable antenna support such as a lamp post or building. The converter equipment is much smaller than the conventional Base Station Transmitter equipment, and also requires less power. It is therefore feasible in embodiments of the system to locate the converter equipment in roadside cabinets similar to those used for existing cable TV applications. This greatly simplifies the selection of sites for cell antennas, and facilitates the installation of equipment for a network with a large number of very small cells. Furthermore, the larger number of antenna locations possible together with their discreet street-level citing allows transmit power levels to be reduced. The environmental impact of a roadside cabinet is also significantly less than a conventional base station comprising a fenced-off mast and physically substantial enclosures for base station equipment.

[0028] Remotely siting the base station equipment also permits much faster deployment of cellular network equipment in urban and suburban areas, as well as simplifying maintenance and reducing maintenance and other operational costs. For similar reasons, capital investment costs can also be significantly lower than with conventionally served networks. The system also provides a scaleable architecture, simplifying the addition of Base Station Transmitters to a network as needed. The signal distribution system can be used with any cellular mobile communications network and is also applicable to networks intended to serve stationary devices, for example in indoor environments.

[0029] In another aspect the invention provides a signal reception system for receiving wireless communications network signals, the system comprising at least one rf receiver for receiving rf signals from communications devices in a plurality of network cells or sectors served by the receiver; and characterised in that the system further comprises a signal transporter for transporting signals from each served cell or sector to a demultiplexer; a cell or sector signal transmitter at each cell or sector, coupled to the signal transporter, for receiving a signal from a communications device in the cell or sector and for transmitting a cell or sector signal onto the signal transporter to make up at least part of a multiplexed cell or sector signal on the signal transporter; and a demultiplexer, coupled to the signal transporter and to the rf receiver, for demultiplexing the



multiplexed cell or sector signal on the signal transporter and for outputting a plurality of demultiplexed cell or sector signals to the rf receiver.

[0030] The signal reception system operates in a broadly corresponding manner to the above described signal distribution system, multiplexing signals received at cell or sector antennas onto a signal transporter which transports signals from a plurality of cells or sectors back to a common point, at which receiver base station equipment is housed. In a CDMA system only a single receiver is needed to serve a plurality of cells or sectors but where traffic is heavy it may be preferably to employ a plurality of receivers for the plurality of cells or sectors.

[0031] The signal distribution signal and the signal reception system may be deployed independently of one another, for example by making use of conventional base stations to provide a respective reception or transmission function from or to a mobile communications device, but preferably the signal distribution system also operates to receive signals from mobile devices and the signal reception system also operates to distribute signals for transmission to mobile devices. Thus the signal distribution system preferably distributes signals for radio frequency transceivers by distributing both multiplexed transceiver output signals and multiplexed signals for input to the transceivers. In such a system a cell may be provided with a combined transmit/receive antenna or antenna array or may be provided with separate transmit and receive antennas. The skilled person will be aware of the many other alternatives available for GSM, 2.5G, and 3G antenna systems such as, for example, polarity diversity antennas. In preferred embodiments the transceivers comprise part of one or more GSM or IMT-2000 networks.

[0032] Preferably, the transmitters/receivers/transceivers all share a common digital interface, further reducing the requirements for a physical network infrastructure. The common digital interface may be provided by, for example, a switch and/or router. In this way only a single physical digital network connection, such as a fibre optic cable connection, need be provided for a plurality of transceivers, whether they are connected to a single BSC/RNC, or to different BSCs/RNCs. Such a single physical interface may even be utilised to provide a common interface to transceiver equipment belonging to two or more network operators since the switch/router can be used to direct network control signals and traffic of each operator to transceiver equipment on those operators' networks.

[0033] Preferably, the signal transporter comprises a fibre optic cable, as this allows the re-use of existing cable infrastructure, such as fibre optic cable installed to provide cable TV services. However, in other embodiments the multiplexed transmitter/receiver/transceiver signals may be transported by, for example, co-axial cable and/or microwave links. Re-use of existing fibre optic cable networks can be achieved by, for example, selecting a wavelength or wavelengths for the cellular network traffic which is or are different to those already in use by, for example a cable TV network.

[0034] A further advantage of the use of fibre optic cable is the relative ease with which such a system can be scaled to increase the traffic capacity provided to the cell transmission and/or reception sites to allow future upgrade of a

network, for example to take account of increased use of data hungry applications such as video transmission/reception.

[0035] In embodiments where the signal distribution system is used to transport both multiplexed transmitter signals and multiplexed cell signals for cell transceivers, the fibre optic cable preferably comprises a pair of optic fibres, a first fibre for transporting signals output from the transceivers and a second fibre for transporting signals for input to the transceivers. This simplifies the optical interfacing and also provides a degree of redundancy should one or other fibre fail.

[0036] In embodiments where signals received at a cell are multiplexed onto the second fibre the cell signals may simply be transmitted onto the fibre, for example in the case of frequency or wavelength division multiplexing, or an optical signal may be received from the fibre and the cell's signal integrated with the received signal and the combined multiplexed signal then retransmitted onto the fibre (this latter approach may be used, for example with TDMA multiplexed cell signals).

[0037] In a preferred embodiment the fibre optic cable includes a cable loop and a switch to reverse the direction of signal transmission around the loop when a fault is detected or when system performance degrades. To increase the system's fault tolerance and to provide back up transmission paths should the fibre loop be accidentally severed. The reliance which many users place on mobile communications networks makes such a feature important in a practical embodiment.

[0038] The integrity of the cable loop may be monitored either where the Base Station Transceivers are located or, more preferably, a distributed monitoring system may be employed in which each cell includes a fibre monitor and means for transmitting a monitoring signal back to fibre optic drivers for the loop which may conveniently be co-located with the base station equipment. The signal monitor may be coupled to the multiplexed signal receiver and/or the cell signal transmitter at each cell or it may be separately coupled to the fibre optic cable. An rf telemetry transmitter, together with a corresponding receiver coupled to the fibre optic drivers may be used for signal transmission or the signal transmitter may employ a back channel (if necessary, multiplexed) on the fibre optic cable, for example, using a different wavelength or a different fibre or a different direction of signal transmission to distinguish the monitoring signal from the multiplexed traffic signals.

[0039] Use of a distributed monitoring system provides increased robustness and greater reliability as well as the potential for more accurately locating a fault. Such a monitoring system can also be used to provide remote alarm and network programming and diagnosis functions for equipment located at a cell and/or equipment located with the base stations.

[0040] Preferably the signal distribution system includes a signal combiner for combining the outputs of at least two of the rf transmitters before the combined outputs are multiplexed onto the signal transporter. This allows the signals from the transmitters of two or more different network operators to be combined, although the transmitters themselves may be coupled to different Base Station Controllers/

Radio Network Controllers. Since the signal multiplexing is done on a per cell basis, when demultiplexed the combined signal will be processed by a single cell. At that cell the combined signal may be separated out into separate signals for the two (or more) network operators, for example by using filters where the two network operators have been allocated different transmit frequency bands, or the combined signal may be transmitted without separation.

[0041] In embodiments where the combined signal is transmitted from a cell or sector without separation into components from the different network operators, approximately the same coverage will be provided to the two or more network operators. Alternatively, the signals of the two or more operators may be separated before transmission to provide different, albeit possibly overlapping cell or sector coverage. Such a signal combiner may also be used where the system is distributing the network traffic of a single operator, for example, to provide redundancy by the provision of more than one transmitter per cell or sector, and/or to provide additional channels and traffic capacity for a cell or sector.

[0042] In a preferred embodiment, the system is used with cellular network transceivers, in which case a received signal from a selected cell may be split so that the received signal may be fed to inputs of two or more transceivers serving the cell or sector. In a simple embodiment a received signal line is merely connected in parallel to two transceiver inputs. However, practical embodiments preferably incorporate some form of buffering and/or impedance matching, as is well known to those skilled in the art. In other embodiments, the received signals may be processed with an additional layer of multiplexing and then demultiplexed before being input to the transceivers. Where both a signal combiner and a signal splitter is present, a single device with bi-directional input/output lines may be used to provide the combiner/splitter function. Alternatively, such a single combiner/splitter may be provided with separate input and output lines (a plurality of inputs and a single output for signal combination and a single input and a plurality of outputs for signal splitting) for ease of signal management.

[0043] In one embodiment of the signal distribution/signal reception system the network cells or sectors served by the system may comprise the cells or sectors of a single mobile communications network operator and in this case the transceivers comprise elements of that single operator's network. In other embodiments the network cells or sectors served by the system or systems comprise cells or sectors of more than one mobile communications network operator, that is, the transceivers are coupled to the networks of different operators although the geographical cell or sector sites served by the operators substantially correspond or overlap. The provision of a multi-operator system further reduces the number of cell or sector antenna/base station sites and this can further enhance the above described advantages of the systems.

[0044] In another aspect the invention provides a system for distributing signals from an rf transmitter to a plurality of antennas for transmitting to a plurality of coverage regions, the system comprising: an rf-to-optical converter for converting an rf input signal from the transmitter into an optical output signal; a fibre optic cable, coupled to the rf-to-optical converter, for transporting the optical signal;

and a plurality of optical-to-rf converters, each coupled to the fibre optic cable, for providing an rf output signal corresponding to the rf signal from the transmitter to the plurality of antennas.

[0045] According to a further aspect of the invention there is provided a method of distributing signals for a communications network, the communications network having a plurality of cells or sectors each served by a transmitter, the method comprising multiplexing output signals from the transmitters to provide a composite signal comprising transmissions for each of the plurality of cells or sectors; distributing the composite signal to each of the cells or sectors; and selecting, at a said cell or sector, the transmission for the cell or sector from the composite signal.

[0046] According to another further aspect of the invention there is provided a complementary method of receiving signals for a communications network, the communications network having a plurality of cells or sectors each served by a receiver, the method comprising receiving signals from communications devices in the plurality of cells or sectors; forming a multiplexed signal comprising the signals received in the cells or sectors; transmitting the multiplexed signal to a demultiplexer; demultiplexing the received signals using the demultiplexer; and providing the or each receiver with a received signal from each said cell or sector. As described above, with reference to the signal reception system, one or a plurality of receivers may be used to serve the plurality of cells or sectors.

[0047] According to a still further aspect the invention provides a method of distributing an rf transmitter signal to cells or sectors of a wireless communications network, the method comprising: converting the rf transmitter signal to an optical signal; distributing the optical signal to the cells or sectors of the network over a fibre optical cable; and converting the optical signal to an rf signal for transmission at each said cell or sector.

[0048] These methods broadly correspond to the above described signal distribution and signal reception systems and provide corresponding advantages.

[0049] In a further aspect the invention provides a multiplexer for multiplexing rf output signals from a plurality of transmitters onto a multiplexed output signal, each transmitter serving at least one cell or sector in a cellular communication network, the multiplexer comprising a plurality of rf-to-optical converters to convert the rf outputs of the plurality of transmitters to a corresponding plurality of optical signals; and an optical multiplexer to multiplex the plurality of optical signals to provide a multiplexed optical output signal from which a signal for serving a cell or sector is selectable.

[0050] The multiplexer operates to multiplex a plurality of rf output signals from rf transmitters or transceivers on a cell-by-cell and/or sector-by-sector basis and thus provides base station equipment for distributing signals for a plurality of cells or sectors from a single physical location. The multiplexer is usable with either or both of the signal distribution system and signal reception system described above.

[0051] Preferably the multiplexer also includes at least one rf signal combiner for combining the rf outputs of transmitters serving substantially the same physical or geographical

cell or sector, or for combining the outputs of transmitters serving overlapping cells or sectors. This allows a single set of physical or geographical cells or sectors to be served by more than one operator whilst at least partly using the same signal transmission equipment. The transmitters (or transceivers) for different network operators will generally be logically coupled to different controllers. It is thus further preferable to provide a common physical interface to a data transmission network for the transmitters (or transceivers) to further simplify physical network equipment installation.

[0052] In a further aspect the invention provides a demultiplexer for receiving and demultiplexing a multiplexed optical signal, the multiplexed signal comprising signals received from a plurality of cells or sectors of a cellular communications network, the demultiplexer comprising an optical demultiplexer to demultiplex the multiplexed optical signal into a plurality of separate optical signals, each corresponding to a signal received from a said cell or sector; and a plurality of optical-to-rf converters, each coupled to the optical demultiplexer, for converting the plurality of optical signals to a corresponding plurality of rf signals for output to a plurality of rf receivers serving the said plurality of cells or sectors.

[0053] The demultiplexer operates to demultiplex signals received at cells from mobile devices, on a cell-by-cell and/or sector-by-sector basis. Preferably, the demultiplexer also incorporates a signal splitter to receive a demultiplexed signal and split the signal into a plurality of versions for input to a corresponding plurality of receivers (or transceivers). This allows an individual cell or sector to be served by the receivers (or transceivers) of more than one operator or, when the demultiplexer is being used with base station equipment of only a single network operator, it facilitates the provision of additional capacity, by means of additional receivers (or transceivers) for the cell or sector.

[0054] The invention also provides a signal receiver for a cell or sector of a cellular communications network, the signal receiver comprising an optical input, to receive a multiplexed optical signal; an optical selector to select a part of the multiplexed optical signal comprising an optical signal carrying information for an rf signal for the cell or sector; and an optical-to-rf converter, having an input coupled to the optical selector and an output for receiving and converting the selected part of the multiplexed signal into an rf signal, and for outputting the rf signal for transmission by the cell or sector.

[0055] This receiver is operable with the above described multiplexer to select transmitter (or transceiver) signals for a cell or sector and to provide the selected signals to a cell or sector antenna.

[0056] In a complementary aspect the invention provides a signal transmitter for a cell or sector of a cellular communications network, the signal transmitter comprising an rf input for inputting an rf signal received from a cell or sector antenna; an rf-to-optical converter, coupled to the rf input, for converting the rf input signal to an optical signal; and an optical multiplexer, coupled to the rf-to-optical converter, to multiplex to the optical signal into a multiplexed optical signal comprising optical signals provided from one or more other cells or sectors.

[0057] The signal transmitter is usable to multiplex signals received at a cell or sector from a mobile communications

device onto a signal transporter. As described above, a signal corresponding to the received signal can be multiplexed onto a fibre optic cable either by receiving a signal from the cable, multiplexing the cell or sector signal with the signal on the cable and then re-transmitting the signal, or by identifying a time or frequency allocation for the cell or sector and transmitting during that time or on that frequency.

[0058] Preferably, the above described transmitter and/or receiver include an optical signal monitor either as part of the optical selector/multiplexer or as a separate element with a separate connection to a fibre optic or other signal transporter. The signal monitor can be used to identify faults in the signal transmission signal and to report these back to a system management device which can then take action to switch in an alternative, back up signal transmission system. In a preferred embodiment the signal transmitter and receiver share a common optical front end to reduce the number of optical components in the cell-end equipment. Each cell or sector in a network operating with the above described signal distribution and reception signals may be provided with this type of signal receiver and/or transmitter so that mutually compatible multiplexed cell signals and transmitter signals are carried on a fibre optic loop.

[0059] According to a yet further aspect of the invention there is provided a system for coupling cell transceivers of a cellular mobile communications network to respective cell antennas, the system comprising a plurality of said cell transceivers and cell antennas; a transceiver signal combiner/separator coupled to the plurality of transceivers and to a signal bearer to combine transceiver output signals from the transceivers for output onto the signal bearer and to separate combined transceiver input signals received from the bearer for input to the transceivers; a signal bearer coupled to the combiner/separator to carry the combined transceiver input and output signals between the transceivers and each cell; and a plurality of cell signal combiner/separators, each coupled to the signal bearer and to a said cell antenna, to combine a signal received at the cell antenna with other signals on the signal bearer received at other cell antennas to provide said combined transceiver input signals, and to separate a transmit signal for the cell antenna from said combined transceiver output signals.

[0060] According to another aspect of the invention there is provided a cellular communications sub-system comprising a plurality of transceivers each serving a respective cell, each cell having a cell antenna characterised in that the transceivers for a plurality of said cells are substantially co-located, and in that the system further comprises transceiver interface means to combine rf interfaces of a plurality of the transceivers into a combined signal interface; transport means to transport signals between the combined signal interface and two or more of said cells; and coupling means to selectively couple signals between said transport means and each said cell antenna.

[0061] The transport means preferably comprises optical signal transport means such as a fibre optic cable, in a preferred embodiment a cable or an existing domestic cable network such as a cable TV or similar network. However, it may also include other signal transport means such as a co-axial cable and/or microwave rf link. As described above, separate or combined cell transmit and receive antennas may be provided. The signal interface is preferably a bi-direc-

tional signal interface which operates to combine transceiver rf outputs and to split an rf input between inputs of the transceivers.

[0062] In a further aspect the invention provides a signal distribution system for distributing signals for a wireless communications network in which a geographical area covered by the network is divided into cells, the system comprising a first wireless transmitter to provide a first signal output for serving a first cell; a second wireless transmitter to provide a second signal output for serving a second cell; a multiplexer having inputs coupled to the first and second wireless transmitters to receive the first and second signal outputs from the transmitters and having an output, to multiplex the received transmitter outputs onto a multiplexed output signal; a signal transporter coupled to the multiplexer output to transport the multiplexed signal to first and second cell sites; and

[0063] a first signal selector at the first cell, coupled to the signal transporter to select a first signal from the multiplexed signal corresponding to the signal output from the first transmitter, for serving the first cell.

[0064] In a yet further aspect the invention provides a signal transmission system for transmitting signals between a plurality of transmitters and/or receivers and a corresponding plurality of antennas, each antenna serving a separate cell of a cellular communications system, the signal transmission system comprising a fibre optic cable for coupling the transmitters and/or receivers and corresponding antennas, characterised in that the fibre optic cable includes a loop; and in that the system further comprises a monitor to monitor integrity of signal transmission on the cable loop and a switch responsive to the monitor to reverse a direction of signal transmission on the cable loop and/or to select an end of the cable loop for reception of signals from a cell of the communication system in response to the monitor signalling that the integrity of signal transmission is or has been adversely affected, for example, where transmission quality or system performance is degraded.

[0065] In a further aspect the invention provides a signal distribution system for a GSM mobile communications network comprising a digital communications network, at least one Base Station Controller (BSC) and a plurality of Base Transceiver Stations (BTSs), each Base Transceiver Station having a digital interface coupled to the Base Station Controller via the digital communications network, characterised in that the system further comprises a common digital interface device to the digital communications network; and in that each of the Base Transceiver Stations is coupled to the common interface device to provide a shared digital connection for the Base Transceiver Stations to the Base Station Controller.

[0066] In a still further aspect the invention provides a signal distribution system for a IMT-2000 mobile communications network comprising a digital communications network, at least one Radio Network Controller (RNC) and a plurality of Node Bs, each Node B having a digital interface coupled to the Radio Network Controller via the digital communications network, characterised in that the system further comprises a common digital interface device to the digital communications network; and in that each of the

Node Bs is coupled to the common interface device to provide a shared digital connection for the Node Bs to the Radio Network Controller.

[0067] In the above described aspects of the invention, to facilitate use of the invention with an existing cable TV network, in embodiments of the invention cable TV signals are carried in a first fibre optical transmission band and communications network signals are carried in a second fibre optic transmission band, separate from the first band.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0068] These and other aspects of the invention will now be further described, by way of example only, with reference to the accompanying figures in which:

[0069] **FIG. 1** shows an overview of a GSM mobile communications network;

[0070] **FIG. 2** shows a prior art in-building signal distribution signal for a GSM network;

[0071] **FIGS. 3a** and **b** show, respectively, prior art equipment for siting a cell antenna remote from a transceiver or transceivers, and a simplified block diagram of a transmitter signal distribution system;

[0072] **FIG. 4** shows a schematic diagram of part of a ring architecture cable TV network;

[0073] **FIG. 5** shows a schematic diagram of a signal transmission system for cells of a third generation cellular communications network;

[0074] **FIG. 6** shows a more detailed schematic diagram for the signal transmission system of **FIG. 5**;

[0075] **FIG. 7** shows a schematic diagram of a cell signal multiplexing arrangement for the system of **FIG. 6**; and

[0076] **FIG. 8** shows a schematic diagram of cell antenna-end equipment for the system of **FIG. 6**.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE EMBODIMENTS

[0077] Referring first to **FIG. 3b**, this shows a simplified block diagram of a transmitter signal distribution system. In a third generation CDMA-based cellular mobile communications network adjacent cells or cell sectors may operate on the same transmit frequency since mobile communications devices within the cells identify transmissions using the spreading code sequence rather than (or in addition to) the broadband transmit frequency. Thus, in **FIG. 3b**, Cells **1** to **4** may all be served by a single transmitter, the need for separate cells arising in part because of the difficulties in providing coverage over a geographical area, particularly in urban environments where buildings cause shadowing and signals tend to propagate along the directions of streets. Thus the arrangement of **FIG. 3b** assists in achieving uniform coverage over an urban or suburban region and, in common with other aspects of the invention outlined above, also reduces the quantity of equipment required at each antenna site.

[0078] In **FIG. 3b** a transmit distribution system **350** comprises a transmitter **352** which may, for example, comprise one of a plurality of transmitters or transceivers in a BTS or Node B. Transmitter **352** is coupled to an rf-to-

optical converter **354** which provides an optical output **356** modulated by the rf signal from transmitter **352**. Optical output **356** is carried on a fibre optic cable which may comprise one or more single fibre cores. In a preferred arrangement fibre optic output **356** is coupled to a fibre optic cable loop **358** for greater fault tolerance and system resilience. The optical signal output of converter **354** is provided to each cell on spurs coupled to fibre optic loop **358** which provide the optical signal to an optical-to-rf converter **360** which, in turn, provides an rf output to an antenna **362**. The arrangement of **FIG. 3b** is simplified and, in practice, each cell would normally be provided with further equipment such as, for example, that described below with reference to **FIG. 8**. As illustrated, the system employs a single transmitter **352** which, depending upon traffic and noise levels, might provide in the region of 50 CDMA channels. For larger scale systems a plurality of transmitters **352** may be employed, for example, between ten and twenty transmitters when serving forty to fifty cells or cell sectors.

[0079] Referring now to **FIG. 4**, this shows part of a large area fibre optic communications network **400** for delivering cable TV signals to domestic homes. In **FIG. 4 a** network core **402** comprises a resilient STM-16/64 data transportation system operating at 155 Mbps or faster (where STM comprises 155 Mbps data channel and STM-64 comprises 64 such channels).

[0080] The network core **402** is coupled to a plurality point of presence **404** comprising a plurality of routers (of which only one is shown in **FIG. 4**) and/or switches (depending upon the network implementation) each serving a fibre optic ring **406** for a franchise area. Each franchise area ring **406** is coupled to a plurality of hubs **408** and to each hub is coupled a plurality of node rings **410**. For clarity only a single node ring **410** is shown in **FIG. 4**. On each node ring is a plurality of node points **412** at which the "last mile" connection to a domestic homes is made.

[0081] The franchise area ring **406** and node ring **410** are constructed using fibre optic cable, and both typically comprise many fibre cores. As described in more detail below, a pair of fibre cores of the node ring **410** is used for cellular network signal transmission. The "last mile" connection **414** is made using co-axial cable and rf-fibre conversion equipment, for example including a bi-directional amplifier, is provided at each node point.

[0082] A "last mile" connection typically serves 500 homes; a node ring, 4,000 homes; a hub approximately 40,000 homes; and a franchise area typically comprises around 250,000 homes. A node ring is typically between 1 and 50 km in length. Although, for simplicity, node ring **410** is shown as a simple loop it may, in practice, have a more complex tree-and-loop structure. The franchise area ring **406** typically offers up to  $n \times \text{STM-1}$  whilst a node ring typically operates at  $1 \times \text{STM-1}$  (155 Mbps) per fibre.

[0083] The cable TV signals are transmitted digitally over the franchise area network and converted to rf at node points **412** for analogue delivery over co-axial cable for the last mile connection, although digital TV signals may also be transmitted directly to the home over co-axial cable links **414** or, in other TV delivery networks, over fibre to the home. Analogue rf over fibre signal transmission may also be used.

[0084] The applicant has recognised that such a cable TV delivery system can be used to provide environmentally

sensitive cell coverage for 2G, 2.5G and 3G cellular communications networks, particularly in dense urban and suburban areas. Broadly speaking, the applicant has recognised that operator base station equipment can be located at or nearby hubs **408** and that the node rings **410** can then be used to transport signals for the cellular communications network between the base station equipment and remote cell site antennas. The cell site antennas are conveniently located at fibre node points **412** together with cell antenna-end equipment for transmitting signals from and to the antennas over the node ring.

[0085] Experimental studies have determined that in many areas satisfactory coverage for 3G cells can be provided using antennas at between 2 and 4 node points per ring. More node points may, however, be necessary in particularly dense urban environments where a cell's coverage area may be less than 350 meters across. The precise location of cell site antennas is determined in a similar way to the siting of conventional base stations, for example using cellular network planning tools. Although, for convenience, cell antennas are preferably located in the vicinity of fibre node points cell antenna-end equipment may also be coupled to the node rings at other points, for example, at specially created spurs.

[0086] Referring now to **FIG. 5**, this shows a schematic diagram **500** of a system for transmitting signals from a base station or base stations to remote cell sites. In **FIG. 5**, Base Transceiver Station (BTS) or Node B equipment for serving four cells is schematically illustrated by blocks **502**, **504**, **506** and **508**, serving respective mobile communications network cells **512**, **514**, **516** and **518**. Cell base station equipment **502** to **508** is located at or nearby a hub **408** of **FIG. 4** in a "BTS/Node B Hotel". However, the BTS/Node B Hotel may be expanded to form a "super hotel" and located at point of presence **404**. Although cells **512** to **518** are illustrated as providing outdoor coverage, one or more of the cells may provide in-building coverage and/or picocell coverage in a manner similar to that illustrated in **FIG. 2**.

[0087] Cell base station equipment units **502** to **508** each have a digital E1 interface to a common backhaul interface **510** and via a router **522** and BSC/RNC **520**, to franchise area ring **406**, and eventually to core **402**. Each BTS/Node B has a corresponding Base Station Controller (BSC) or Radio Network Controller (RNC) **520** although, as described with reference to **FIG. 1**, a single BSC/RNC normally serves a number of BTS/Node B's. In **FIG. 5**, a single BSC/RNC **520** is shown coupled to the backhaul network (although in some networks a switch may be used) but generally speaking a plurality of BSCs/RNCs will be required.

[0088] The backhaul network comprising franchise area ring **406** and/or core **402** logically operates as a direct wired connection between a BTS/Node B and its corresponding BSC/RNC. However, in other embodiments a "super BTS/Node B Hotel" may be created at which both BTSs/Node Bs and BSCs/RNCs are co-located. In such an arrangement a direct wired connection may be made between a BTS/Node B and its BSC/RNC and the BSC/RNC is then connected to the backhaul network as described above. In this way, traffic involving calls between BTSs or Node Bs attached to the same BSC/RNC need not be routed over the backhaul network, thus reducing network traffic and increasing connectivity and response speed. Such an arrangement is pref-

erably employed where a relatively large number of BTSs or Node Bs is located at a hub **408**.

[**0089**] The cell base station equipment units **502** to **508** each have an rf input/output interface to the BTS/Node B transceiver which is coupled to a multiplexer and fibre optic ring driver **524**. The multiplexer and ring driver **524** accepts rf outputs from units **502** to **508** and multiplexes these, driving fibre optic ring **410** with the multiplexed signal. The multiplexed signal is provided to each of cells **512** to **518** by node ring **410** and each cell selects that part of the multiplexed signal intended for the cell and uses this to feed the cell's antenna. Likewise each cell also incorporates means for multiplexing a signal received at the cell from a mobile communications device onto fibre optic node ring **410** for reception by multiplexer and ring driver **524**. These received signals are demultiplexed to provide separate received signals for each cell and the separate signals are then fed to rf inputs of cell base station equipment units **502** to **508** for reception by the BTS/Node B serving the respective cells.

[**0090**] The rf signals from and to each cell may be multiplexed in the analogue or digital domain. Thus, for example, the rf outputs of each cell unit **502** to **508** may be digitised (sampling at 4-5 GHz to meet the Nyquist criterion) and digitally combined, for example, on a packet-by-packet or bit-by-bit basis, into a digital signal having a bit rate substantially proportional to the number of cells. Likewise in such a system equipment at the cell antenna end digitises if signals received from mobile devices within the cell and digitally multiplexes this signal with corresponding digitised received signals from other cells circulating on fibre optic node ring **410**. Such multiplexing may be achieved using fast TDMA techniques.

[**0091**] In another arrangement, the rf outputs from and inputs to the BTS/Node B transceivers may be shifted in frequency by, for example, analogue mixing of the rf signals with local oscillator signals. Thus, for example, signals for cell unit **502** may be mixed up to, for example, 20 GHz, signals for cell unit **504** up to 22 GHz, signals for cell unit **506** up to 24 GHz, and signals for cell unit **508** up to 26 GHz. These rf signals may then be combined and used to modulate optical carriers on node ring **410** for transporting signals to and from cells **512** to **518**.

[**0092**] In a preferred embodiment, however, the rf signals from and to each cell unit **502** to **508** and from and to cell antenna-end equipment for each cell **512** to **518** are converted to optical signals at different wavelengths for transmission onto and reception from node ring **410**. A different wavelength or "colour" is used for each cell, facilitating optical multiplexing and demultiplexing of the cell signals at the BTS/Node B Hub or hub end and at the cell antenna end.

[**0093**] Any conventional fibre optic transmission band may be used, such as the ITU C-band (1530 nm-1565 nm), L-band (>1565 nm), or S-band (<1 1490 nm), or wavelengths in the 1310 nm region as used for wavelength division multiplexed (WDM) metropolitan area networks. Preferably the optical signals are all in the region of 1550 nm, the most commonly used fibre optic transmission window, although other wavelengths, such as 1310 nm, may also be employed depending, in part, upon the type of fibre optic cable installed. Since, in a preferred embodiment, the signal distribution system operates over a network which is

also in use for delivery of cable TV signals the precise wavelengths of operation of the system for each cell should be selected so as not to interfere with existing cable TV data transmission signals. In practice, this does not present any significant problems since the 1550 nm wavelength band provides sufficient capacity for a large number of high bandwidth signals to be transmitted at different wavelengths.

[**0094**] In one embodiment the system uses dense wavelength division multiplexing (DWDM) to multiplex the signals from and to cell units **502** to **508** onto fibre optic node ring **410**. A plurality of such DWDM signals may be employed, at least one per cell and preferably two per cell, one for an up link, the other for a downlink. In other embodiments coarse WDM may be employed.

[**0095**] As explained above, the IMT-2000 standard for 3G cellular communication networks in Europe and Japan employs two 5 MHz WCDMA spectral bands per network traffic channel, one for an uplink to a base station, the other for a downlink to a mobile station. Thus, in a preferred embodiment, when optical wavelength division multiplexing is employed a separate wavelength is employed for the uplink and for the downlink and one of these wavelengths is modulated by the 5 MHz WCDMA spectrum for the up link and the other is modulated by the carrier for the downlink. This simplifies interfacing with fibre optic node ring **410** since the uplink and down link signals can be readily separated, which is advantageous as these signals are propagating in different directions (i.e. from and to the cells) and, in a preferred embodiment as described below, on separate fibres. The choice of two separate wavelengths for the uplink and downlink logically corresponds to the frequency division duplex arrangement specified for 3G networks.

[**0096**] In the US a multi-carrier FDD rather than direct spread FDD arrangement is used, but the same principles broadly apply. In China, where time division duplexing is employed, the up and downlink signals may be separated by reference to TDD time frames and then transmitted over the fibre on separate wavelengths, or a single wavelength may be employed for the TDD signal.

[**0097**] Referring now to **FIG. 6**, this shows a more detailed schematic diagram **600** for the signal transmission system of **FIG. 5**. In **FIGS. 5 and 6**, like elements are denoted by corresponding reference numerals. Cell base station equipment unit **502** is coupled to backhaul network **406** by, in this embodiment, a router **510**. The cell equipment **502** is shown in more detail as comprising three Node B units **602**, **604**, and **606** each having an rf input/output interface coupled to an rf combiner/splitter **608**.

[**0098**] The combiner/splitter **608** combines the rf outputs of the three Node B transceivers **602**, **604**, and **606**, for example by means of a summing amplifier, and provides a combined rf output. The device also accepts an rf input and splits or divides or copies this into three signals for the rf inputs of the three Node B transceivers. The signal combiner and splitter functions may be combined in a single piece of equipment, either by means of separate inputs and outputs for the combiner and splitter or by, for example, using rf duplexers on the three rf lines to the Node B transceivers and on the single combiner/splitter rf "output" interface line to the multiplexer and fibre optic ring driver **524**, in a conventional manner. The rf combiner/splitter **608** is coupled to

multiplexer and fibre optic ring driver **524**. Likewise, cell units **504** to **508**, not shown in **FIG. 6**, are also coupled to multiplexer ring driver **524**.

[0099] As illustrated in **FIG. 6**, node ring **514** comprises a pair of optical fibres **610**, **612** carrying counter-propagating optical signals around the fibre optic loop, although a single fibre can also be used. This allows signals from the cells to be carried on a first of the optical fibres, fibre **612**, and signals to the cells to be carried on a second optical fibre, fibre **610**. This simplifies interfacing to the signal transmission system at the cell and ring driver ends.

[0100] Since the signals from and to the cells are separated onto separate optical fibres in other embodiments signals from the cells propagate in both directions around loop **410** on fibre **612**. This provides redundant signal paths and allows multiplexer/ring driver **524** to receive signals from all the cells even if fibre loop **612** is broken. Likewise it is preferable that multiplexer/ring driver **524** is capable of driving optical signals in either direction around fibre loop **610**, for example by means of an optical changeover switch, so that signals can be provided to all the cells even when fibre loop **610** is broken. For example, if fibre loop **610** is broken at the top in **FIG. 6**, signals may be transmitted from multiplexer/ring driver **524** to the cells on the two separate remaining portions of optical fibre **610**.

[0101] The signal distribution system includes a plurality of cell transceivers **614** coupled to fibre node ring **410**, preferably at node points **412**. A cell transceiver is provided for each cell of the mobile communications network or networks served by the system, such as cells **512** to **518** of **FIG. 5**. It will be appreciated, however, that since in a CDMA system adjacent cells may share transmit frequencies, a single transceiver may provide transmit signals for more than one cell.

[0102] A cell transceiver **614** receives a multiplexed optical signal from multiplexer/ring driver **524** which includes an optical signal carrying information for an rf signal to be transmitted from the cell. The cell transceiver **614** selects a transmitter signal intended for transmission from its cell and outputs a corresponding rf transmission from an antenna **616** to which it is coupled for transmitting traffic and other data to mobile devices within the cell.

[0103] Cell antenna **616** also receives rf signals from mobile communications devices within the cell and cell transceiver **614** outputs these signals onto fibre optic node ring **410**, multiplexed with signals received at other cells from other mobile devices. Multiplexer/ring driver **524** then demultiplexes the multiplexed signals received by cells from mobile devices and provides these demultiplexed signals to corresponding base transceiver stations or Node Bs serving the cells. The skilled person will appreciate that separate or combined antennas may be used for cell transceiver antenna **616**.

[0104] As illustrated in **FIG. 6**, cell unit **502** may comprise Node Bs (or BTSs) for more than one cellular communications network operator. Where this is the case, the signals from the transceivers of the different operators are combined in combiner/splitter **608** as described above and the combined signal is provided as a signal for a cell transceiver **614** on node ring **410**. The cell transceiver **614** receives the combined signal from the different operators

and transmits the combined rf signal from antenna **616**, thus providing transmissions from a plurality of different operators simultaneously using a single signal transmission system.

[0105] Similarly, antenna **616** and cell transceiver **614** receive signals from mobile communications devices using different operators' networks and multiplex the combined received signals onto node ring **410**. As described above, multiplexer/ring driver **524** then demultiplexes the combined signals for a cell and feeds these to combiner/splitter **608** for distribution to the transceivers **602** to **606** of the different operators. When used in this way, combiner/splitter **608** may simply provide the combined rf signal received at a cell to all the transceivers or the splitter may divide the combined signal up into separate signals for each transceiver.

[0106] In one embodiment such a division may be based upon frequency. For example, in the UK, three of the five licensed operators has been allocated two separate 5 MHz up link and downlink WCDMA FDD frequency bands. Thus, combiner/splitter **608** may employ a first filter to filter the combined received rf signals to provide a filtered output comprising substantially only those signals in a frequency band allocated to a first operator, and may include similar second and third filters for filtering signals for second and third operators, to provide filtered signals to the three transceivers **602** to **606** of the three different operators.

[0107] Referring now to **FIG. 7**, this shows a more detailed schematic diagram of a cell signal multiplexing/demultiplexing system **700** for use with the arrangement of **FIG. 6**. In **FIG. 7**, three cell equipment units **502**, **504** and **506** are shown, each comprising transceivers for a different respective cell, cells **512**, **514** and **516** on node ring **410**.

[0108] Cell unit **502** comprises three transceivers **702**, **704** and **706**, corresponding to Node Bs **602**, **604** and **606** of **FIG. 6**, for three different network operators. Radio frequency signals to and from these transceivers are coupled to rf combiner/splitter **708**, corresponding to combiner/splitter **608** of **FIG. 6**. In a similar manner, transceivers **710** and **712** of cell unit **504** are coupled to rf combiner/splitter **714**. Cell unit **506** comprises only one transceiver, transceiver **716**. As illustrated, cell one is served by three operators, operators **1**, **2** and **3**; cell two is served only by operators **1** and **2**, whilst cell three is served only by network operator **3**. Each of transceivers **702**, **704**, **706**, **710**, **712**, **716** has a digital E1 or optical interface for coupling the transceiver to a backhaul network, not shown in **FIG. 7**.

[0109] In third generation and other CDMA-based cellular communications networks the CDMA access allows a single operator to use the same frequency bands in adjacent or even overlapping cells. Thus in **FIG. 7** the frequency bands in which the transceivers **702** and **710** of operator **1** operate may be the same and, similarly, transceivers **706** and **716** of operator **3** may also work within the single 2x5 MHz frequency band allocated to operator **3**.

[0110] Each cell unit **502**, **504** and **506** has a corresponding rf input/output line **718**, **720** and **722** to couple the cell to a respective rf-optical converter **724**, **726** and **728**. The rf-optical converters convert an rf input signal to an optical output signal and an optical input signal to an rf output signal (although only one input and one output line are shown in **FIG. 7**).

[0111] The optical input/output 730 of converter 724 is on a first optical channel comprising a first pair of optical wavelengths; the optical input/output 732 of converter 726 is on a second optical channel comprising a second pair of optical wavelengths, different to the first pair; and the optical input/output 734 of converter 728 is on a third optical channel comprising a third pair of wavelengths different to the wavelengths used for the first and second optical channels. Each of three optical input/outputs 730, 732 and 734 is coupled to an optical multiplexer/demultiplexer 736 which combines optical inputs on lines 730, 732 and 734 and provides a wavelength division multiplexed (WDM) output on optical fibre 738, and demultiplexes a WDM signal on line 738 providing demultiplexed optical outputs on lines 730, 732 and 734. As can be seen from the foregoing description, in this embodiment each cell is assigned a separate optical channel comprising a pair of wavelengths corresponding to the radio frequency up link and downlink channels for the cell.

[0112] The input/output line 738 of multiplexer/demultiplexer 736 is coupled to a fibre optic coupler 740 which is coupled to node ring 410 and which drives optical input signals on line 738 around node ring 410 and which provides optical signals received from node ring 410 as an optical output on line 738 to the multiplexer/demultiplexer 736.

[0113] Fibre optic coupler 740 also receives an input on line 742 comprising an optical signal carrying legacy cable TV signals on a different wavelength to those allocated to the optical channels serving the cellular network cells. In a particularly preferred embodiment it has experimentally been found possible to use wavelengths in the 1550 nm optical band to carry cellular communication network signals at the same time as cable TV signals are distributed using a lower wavelength transmission window, for example, at 1310 nm.

[0114] Preferably, fibre optic coupler 740 includes drive circuitry for transmitting signals over >1 km, more preferably >10 km, and most preferably >20 km to the remote cell antenna sites, although in dense urban areas shorter transmission distances may be sufficient. Likewise fibre optic coupler 740 should be capable of receiving signals transmitted over corresponding distances from the cells.

[0115] The rf-optical converters 724, 726 and 728, multiplexer/demultiplexer 736 and fibre optic coupler 740 together comprise elements of the multiplexer and ring driver 524 illustrated in FIG. 5. The cells 512, 514 and 516, cell transceivers and antennas 614 and 616, and node ring 410 correspond to the like elements illustrated in FIGS. 4, 5 and 6.

[0116] The fibre optic coupler 740 also includes a fibre optic node ring monitor and switch 744 to monitor node ring 410 for faults and to switch the direction of signal transmissions around node ring loop 410 in response to detection of faults in the node ring fibre optic cable. Ring monitor and switch 744 is also configured to control fibre optic coupler 740 to receive inputs from either end of node ring 410 to provide a redundant circuit should a fault in the node ring prevent signal transmission from a cell from propagating around the loop in one direction.

[0117] Ring monitor/switch 744 may receive signals from the cells indicating faults and/or quality degradation and

switch signal transmission/reception in response to these signals to provide fault tolerance or it may itself monitor node ring 410, for example by polling each cell transceiver in turn or by looking for lost carriers—that is, signals at particularly wave lengths which are no longer present because signals from the corresponding cell are no longer being received—or, other forms of monitoring such as optical prime domain reflectometry (OTDR) may be employed.

[0118] Now referring to FIG. 8, this shows a schematic diagram of an embodiment of a cell transceiver 800, similar to the cell transceiver 614 shown as forming part of the signal distribution system illustrated in FIG. 6.

[0119] The cell transceiver 800 comprises an optical receiver/transmitter 802 coupled to optical fibres 610 and 612 of node ring 410 by means of optical input 806 and optical output 804. Optical receiver/transmitter 802 receives an optical input 806 comprising optically multiplexed signals for a plurality of cells and selects from this input an optical signal carrying an rf signal for the cell in which the optical receiver/transmitter is installed. The signal so selected is provided at optical output 810. It will be understood that the optical receiver/transmitter 802 of each cell will be configured to select a part of the multiplexed optical signal on optical fibre 610 which is different to parts of signals selected by other cells.

[0120] When used with the system embodiment described above with reference to FIG. 7, the signal for a particular cell may be selected by appropriately selecting the wavelength corresponding to the downlink for the optical channel of that cell. This may be accomplished by, for example, using a narrow-band optical filter.

[0121] In a similar way, optical receiver/transmitter 802 receives an optical input 808 and provides an optical output 804 to optical fibre 612 of fibre optic node ring 410. The optical output 804 is multiplexed onto fibre 612 together with the optical outputs from other cells. In a preferred embodiment, this is done using wavelength division multiplexing as described above, each cell in effect, outputting signals onto optical fibre 612 at a cell-specific wavelength, for example by modulating an appropriately tuned narrow-band laser source. In alternative embodiments, other forms of multiplexing, such as TDMA, may be used, for example, by establishing a TDMA frame as a timing reference and providing burst transmissions from each cell timed so as not to overlap.

[0122] It will be apparent to the skilled person that node ring 410 need not employ two separate optical fibres 610 and 612 but could employ, for example, bi-directional signal transmission on a single optical fibre or TDMA-controlled signal reception and transmission.

[0123] Optical output 810 is coupled to optical-rf converter 812 which provides a corresponding rf output on rf input/output line 814 comprising an rf signal for transmission by the cell. Similarly, optical-rf converter 812 receives an rf input on line 814 and provides a corresponding optical output, modulated by the rf input, to optical input 808.

[0124] The rf input/output 814 of optical-rf converter 812 is coupled to rf duplexer 816 comprising, for example, a low-noise, medium power, bi-directional rf amplifier and appropriate filters, and/or a circulator. The duplexer 816 may



be of a conventional type, as is well known to those skilled in the art. Duplexer **816** is coupled to receive/transmit antenna (or antenna array) **818**, which again may be selected from conventional antenna types suitable for 2G/2.5G/3G cellular communications networks, as are again well known to those skilled in the art.

[0125] The link between converter **812** and duplexer **816** may comprise conventional co-axial cable for cable runs of up to, for example, 50-100 meters. For longer cable runs, optical-rf converter **812** may be located in the vicinity of antenna **818** and fibre optic cable used for a greater part of the cable run.

[0126] The skilled person will appreciate that antenna **818** need not be exactly co-located with cell transceiver **800**, and that any suitable conventional means may be employed to couple antenna **818** to cell transceiver **800**. This flexibility allows the use of a variety of antenna sites so that antennas may be mounted, for example, at street level or on lamp posts or other street furniture or on buildings and, optionally, disguised. Preferably, however, antenna **818** is mounted relative close to cell transceiver **800**, which is facilitated in the presently described signal distribution system by the relatively small amount of equipment required at the cell-end.

[0127] Preferably cell transceiver **800** includes a transceiver monitoring and control device **820** coupled to duplexer **816**, converter **812** and optical receiver/transmitter **802** to provide remote cell transceiver programming and diagnosis functions.

[0128] In a preferred embodiment, monitoring and control device **820** is also coupled to optical fibres **610** and **612** to monitor optical signals on the fibres to check for faults in node ring **410**. In alternative embodiments, monitoring and control device **820** may monitor fibres **610** and **612** indirectly using monitoring signals provided by optical receiver/transmitter **802**.

[0129] The lack of a signal on optical fibre **610** indicates a break in the fibre upstream of the cell towards the fibre optic ring driver whilst a missing signal from one or more cells upstream on fibre **612** indicates a break in fibre **612** and, by determining the last cell in an upstream direction from which a signal is present, allows an approximate location of the fault or break to be identified. Monitoring and control device **820** may then send a signal back to the fibre optic ring driver **524** to switch to an alternative transmission and/or reception pathway (since, in general, when this type of monitoring is being employed, signals transmitted from cells to the fibre optic ring driver are transmitted bi-directionally).

[0130] Monitoring and control device **820** may communicate with fibre optic ring driver **524** using a separate optical wavelength to provide a so-called "back channel" which is preferable for ease of installation of the cell transceiver. In other embodiments off-air monitoring may be employed. Additionally or alternatively the monitoring and control device may be coupled to a telemetry transmitter **822** and a telemetry antenna **824** for wireless telemetry communication with the fibre optic ring driver.

[0131] Signals transmitted by monitoring and control device **820** may include a simple warning signal that a fault has occurred but preferably incorporate more detailed diag-

nostic information to allow remedial action to be taken, either automatically by the signal distribution system or by, for example, physical repair of a faulty system component.

[0132] Many effective alternatives to the above described embodiments will no doubt occur to the skilled person. For example, although the invention has been described, with reference to **FIG. 4**, in the context of a node ring topology it is also applicable to other network topologies such as star, tree and branch and tree and bush topologies, as well as to hybrid topologies. Similarly, the invention is not limited to use with 2.5 or 3G mobile communications networks but can also be employed to distribute signals for, for example, narrowband PAMR (Public Access Mobile Radio) and PMR (Private Mobile Radio) networks such as Tetra, broadband Fixed Radio Access (FRA) and wireless local loop systems, and for the 5.7 GHz hyperLAN concept of a high data rate (10-100 Mbps) picocell-based wireless LAN.

**IE4**

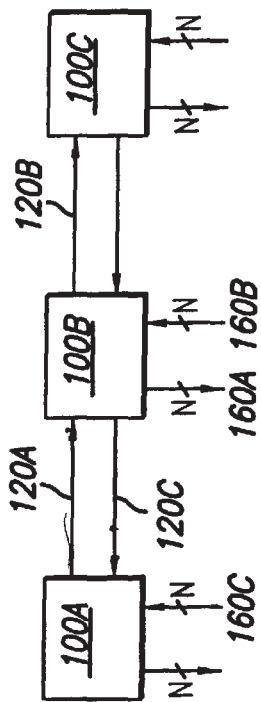


FIG. 1A

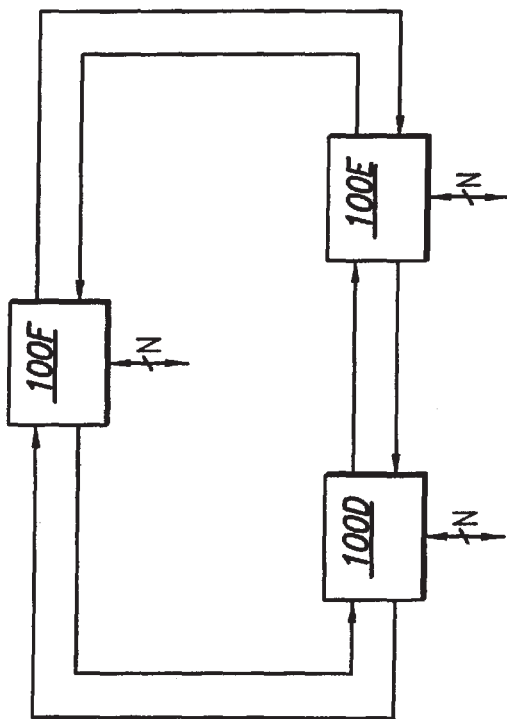


FIG. 1B

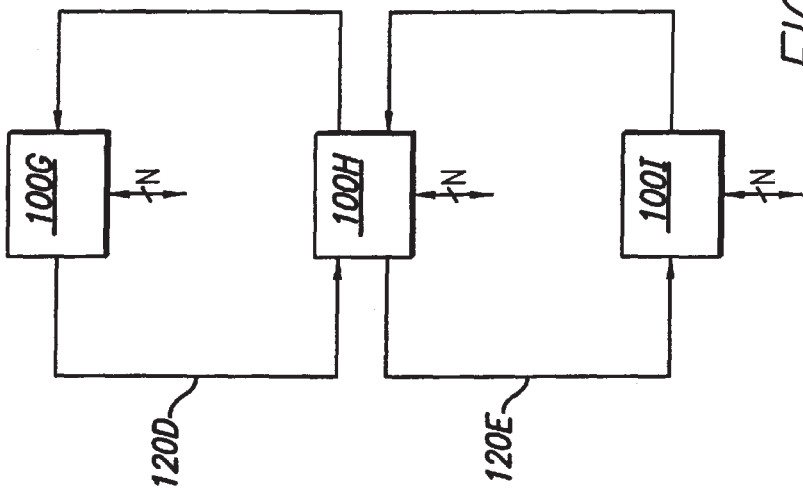


FIG. 1C

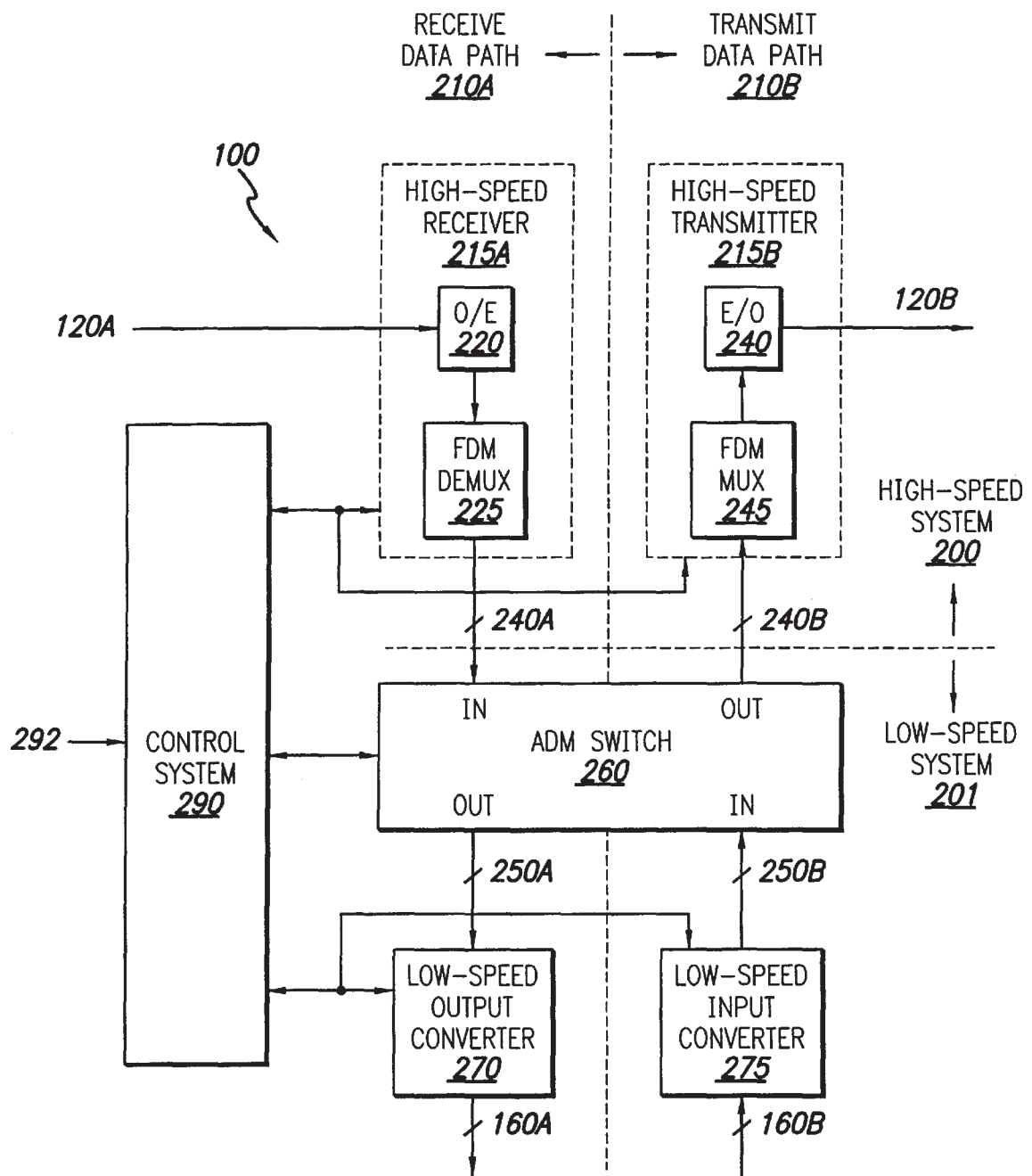
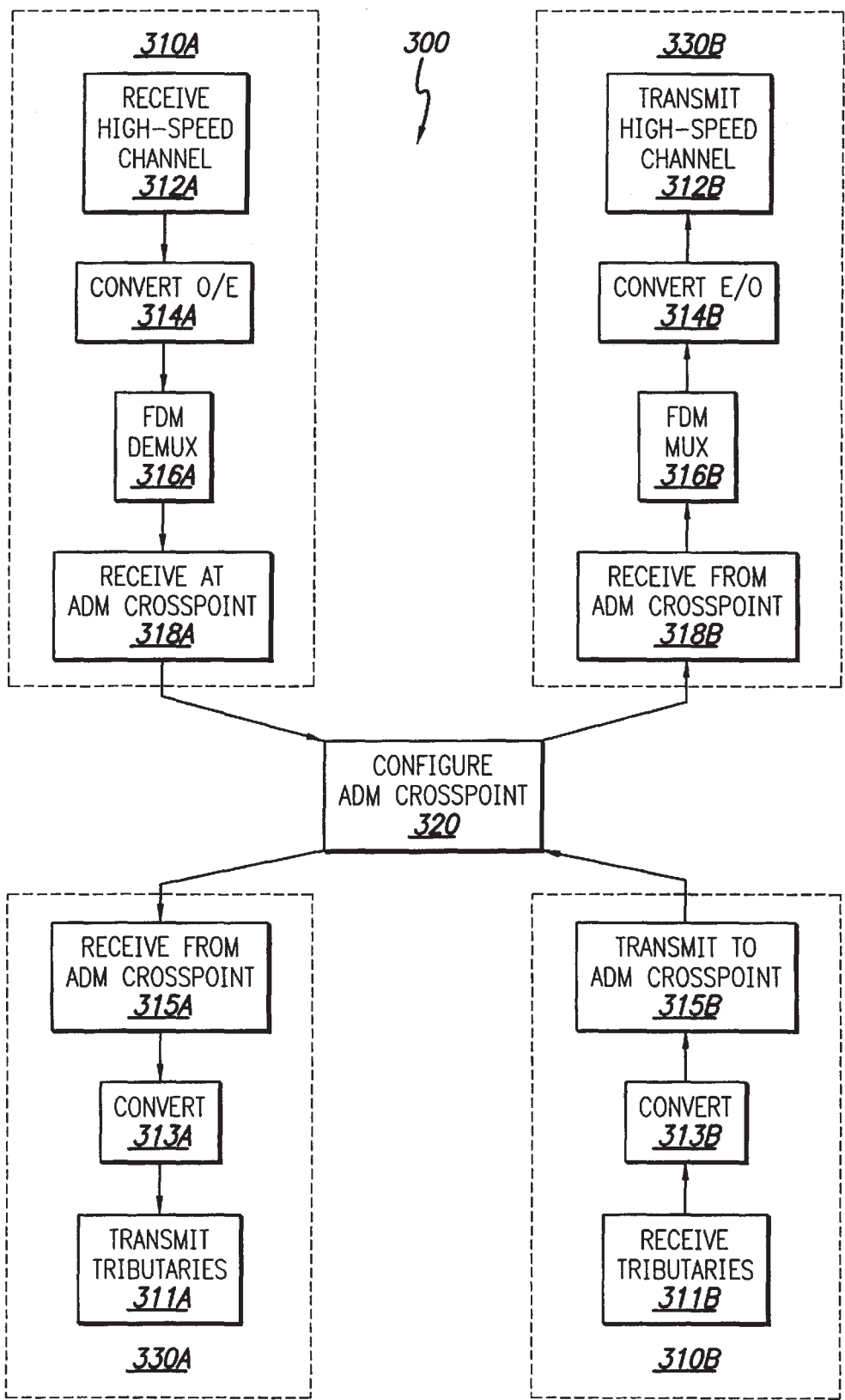


FIG. 2

FIG. 3



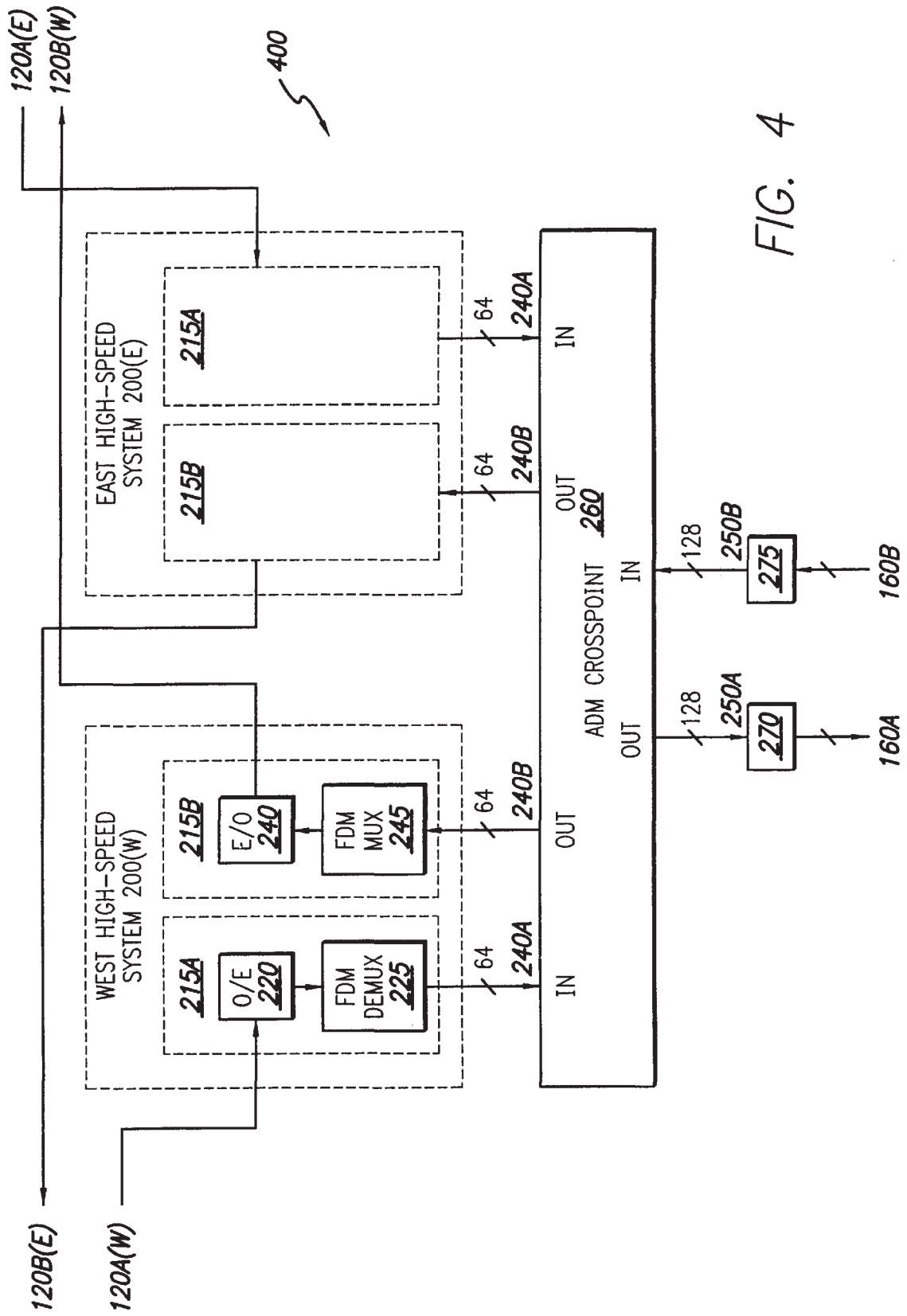
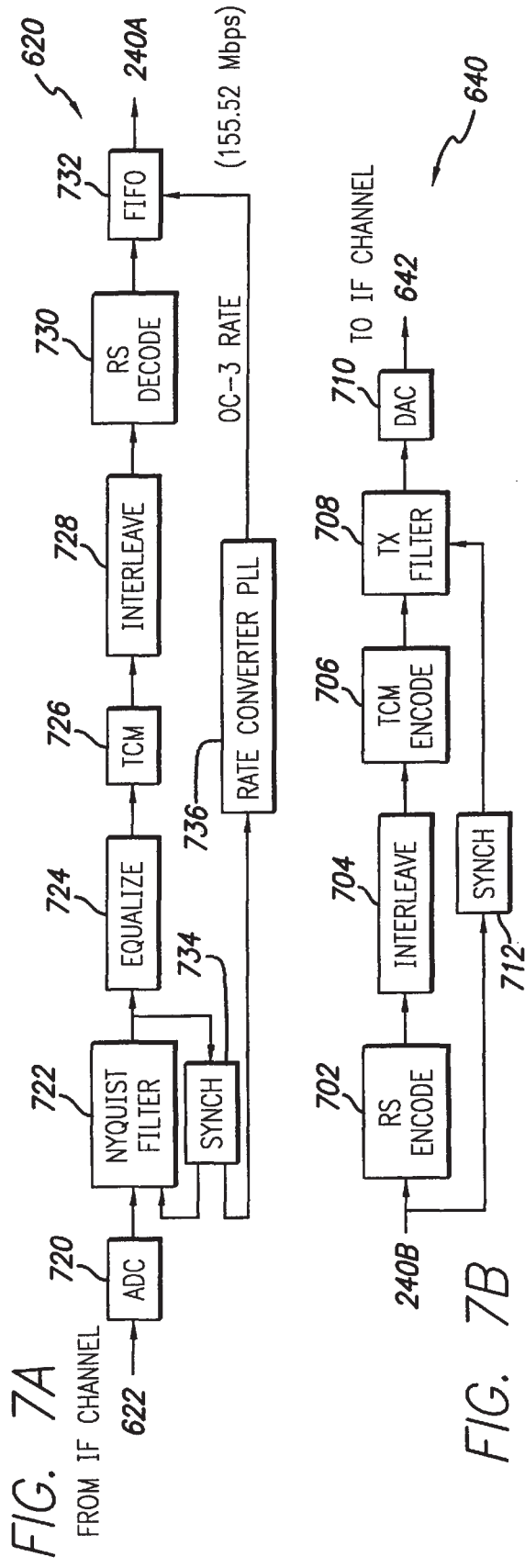
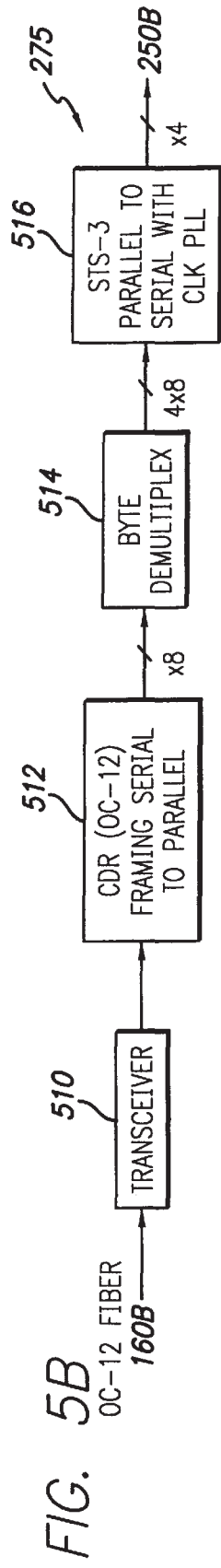
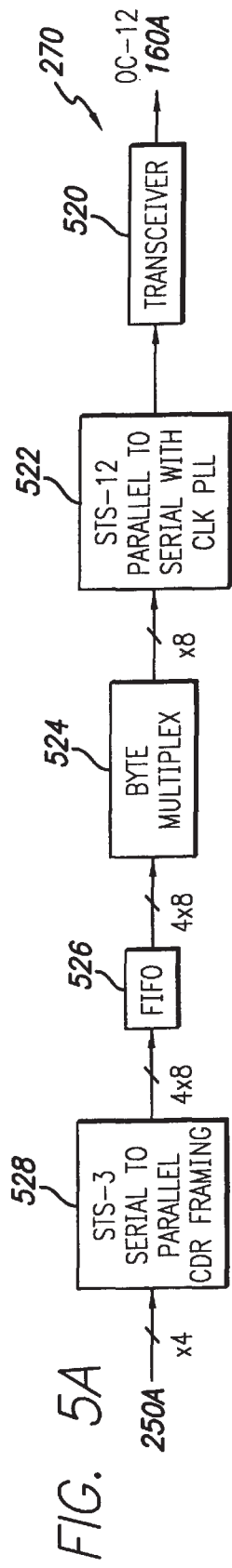
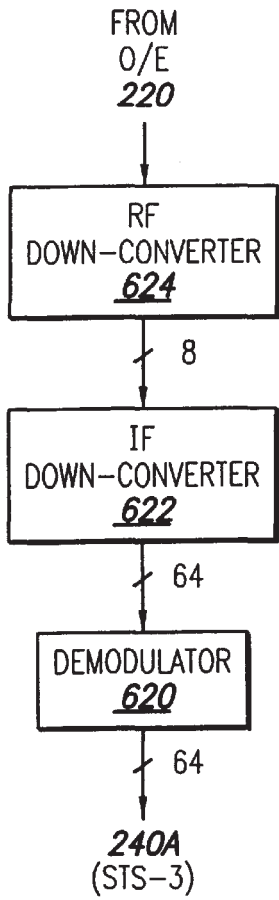


FIG. 4

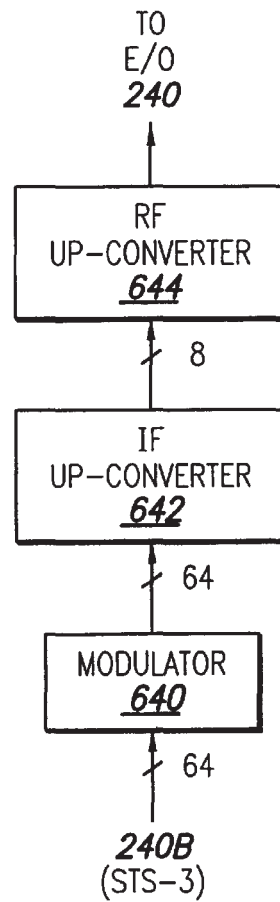


**FIG. 7B**



225

FIG. 6A



245

FIG. 6B



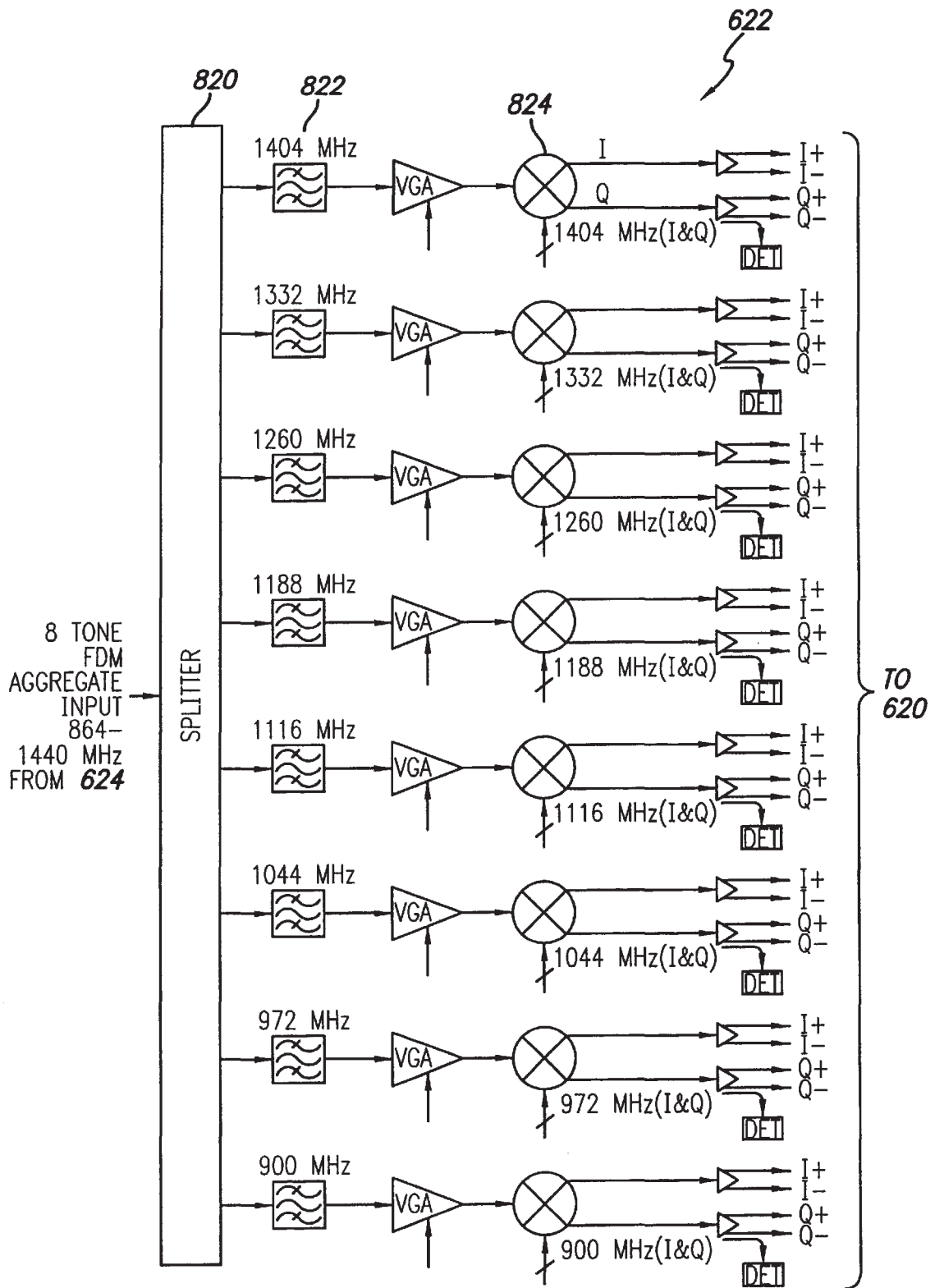


FIG. 8A

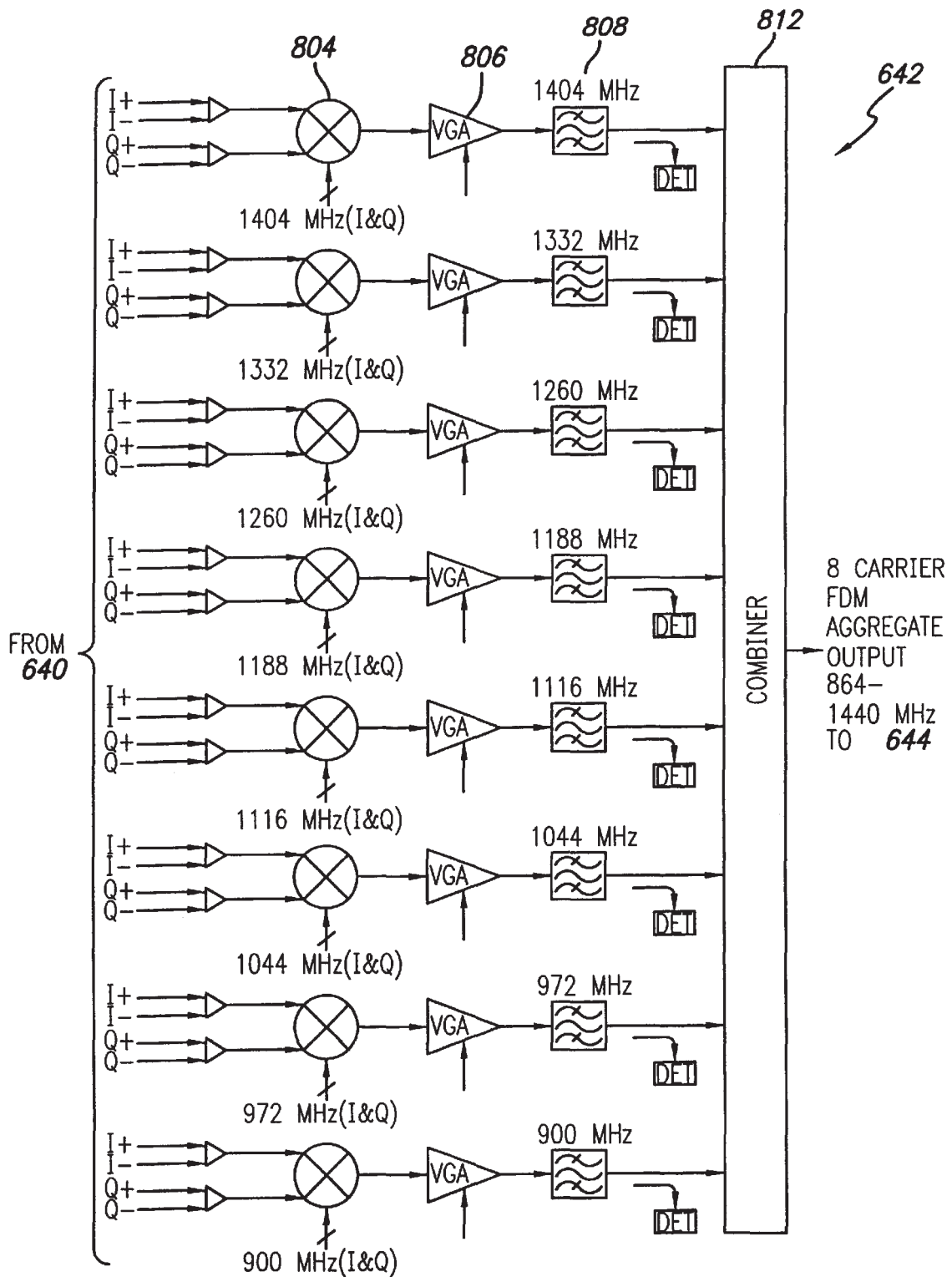


FIG. 8B

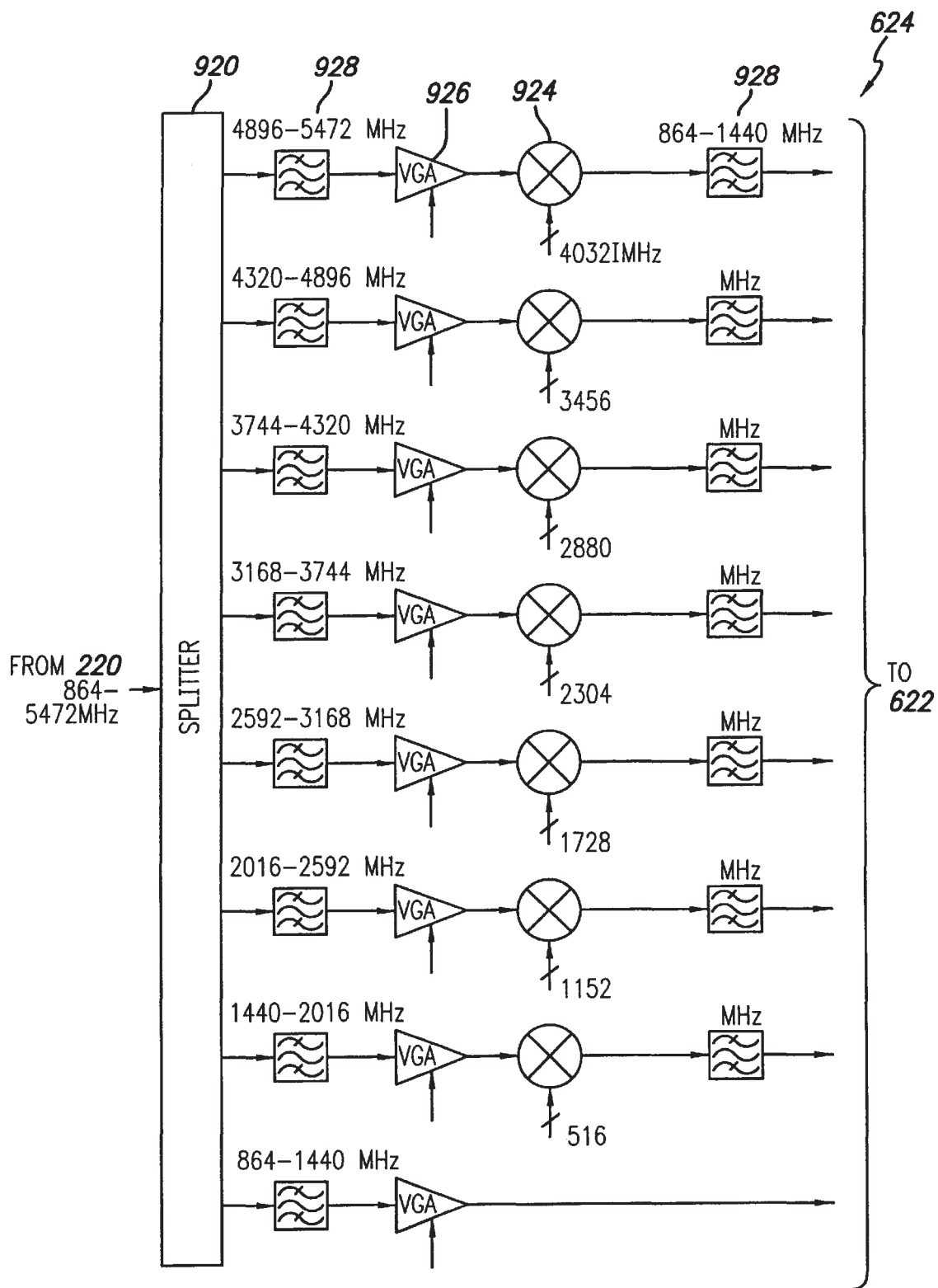


FIG. 9A

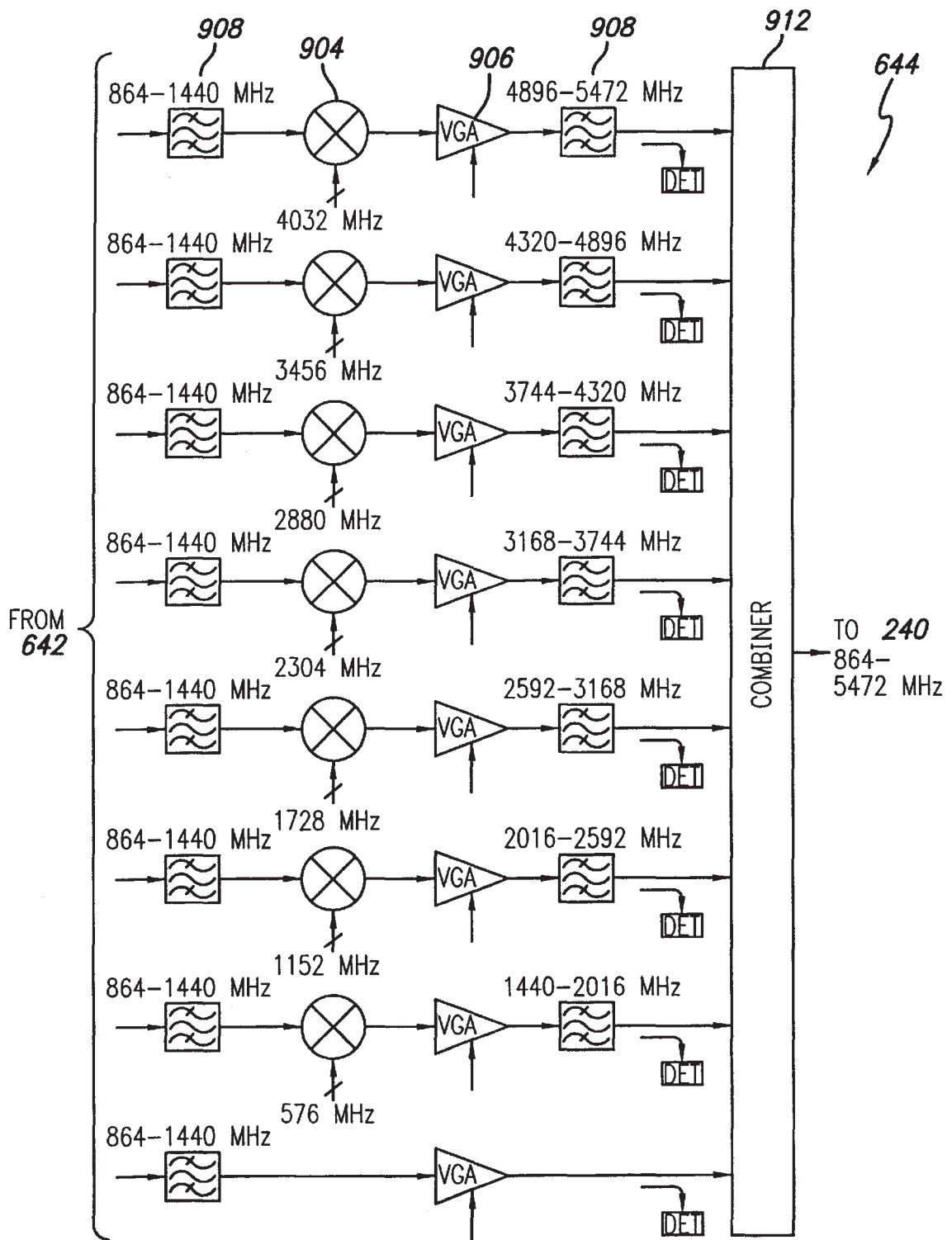


FIG. 9B

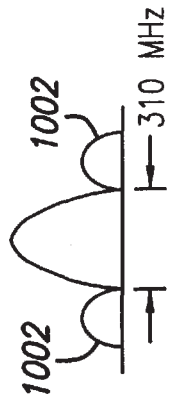


FIG. 10A

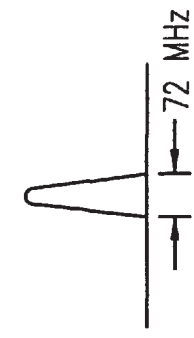


FIG. 10B

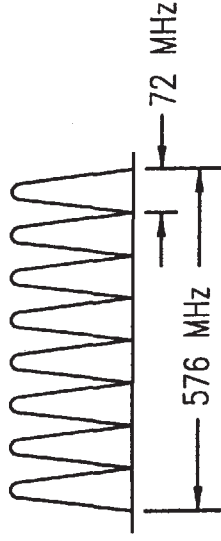


FIG. 10C

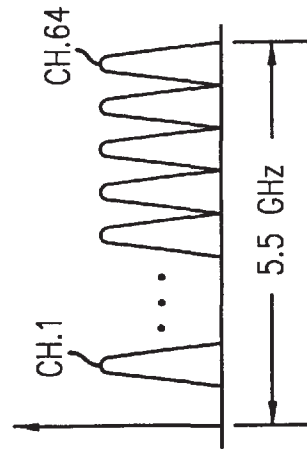


FIG. 10D

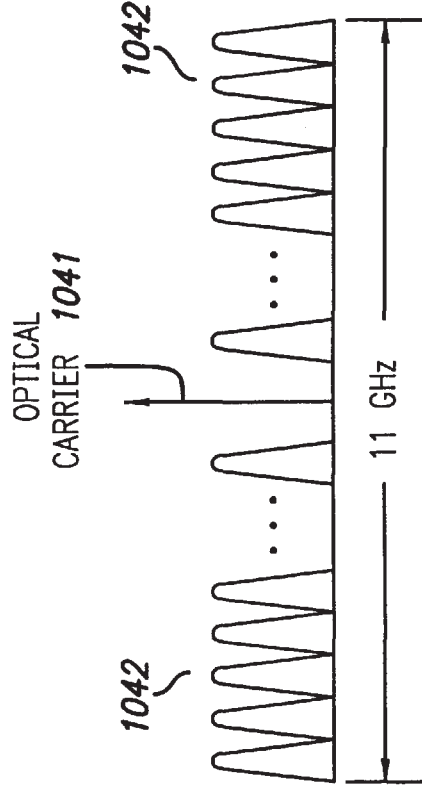


FIG. 10E

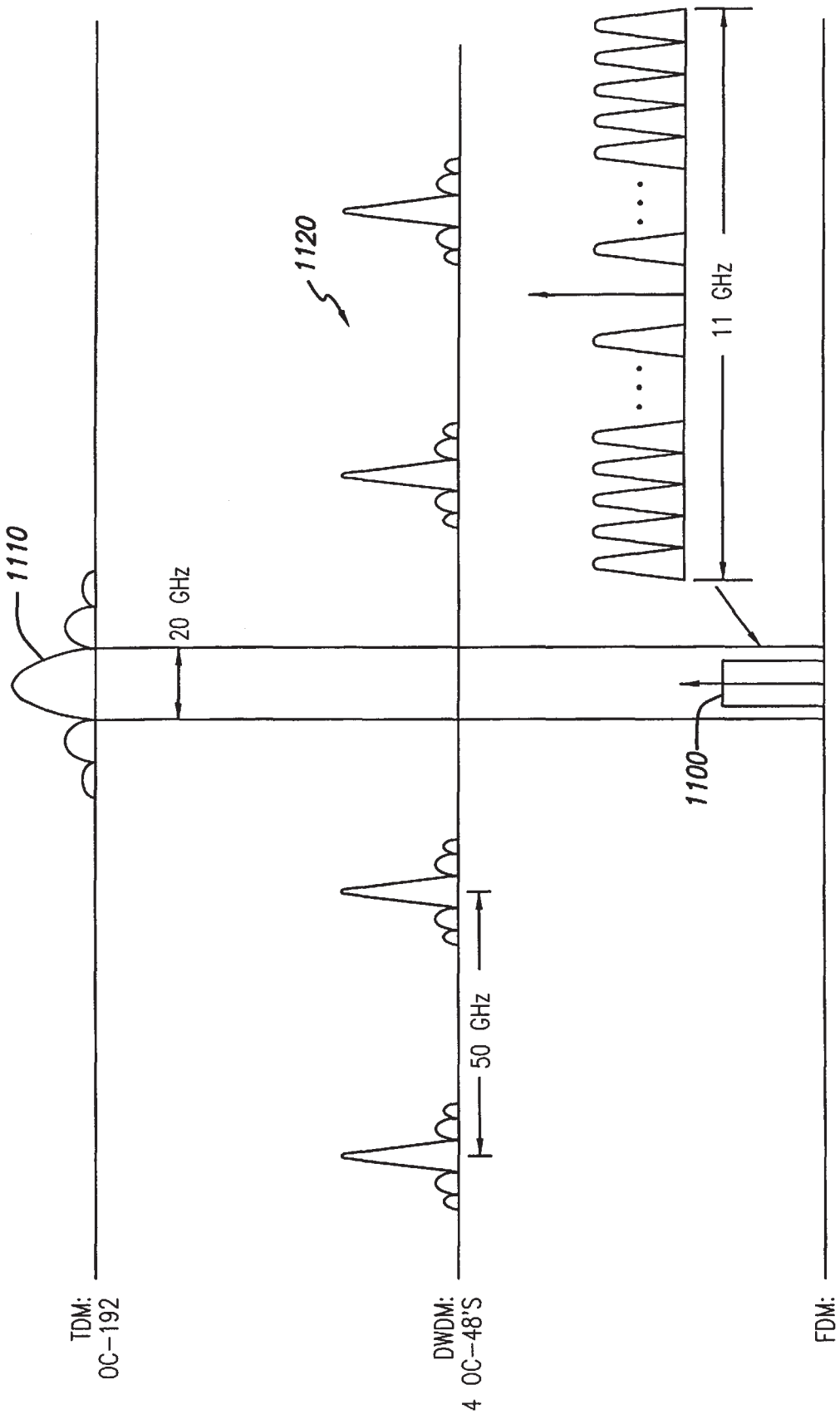


FIG. 11

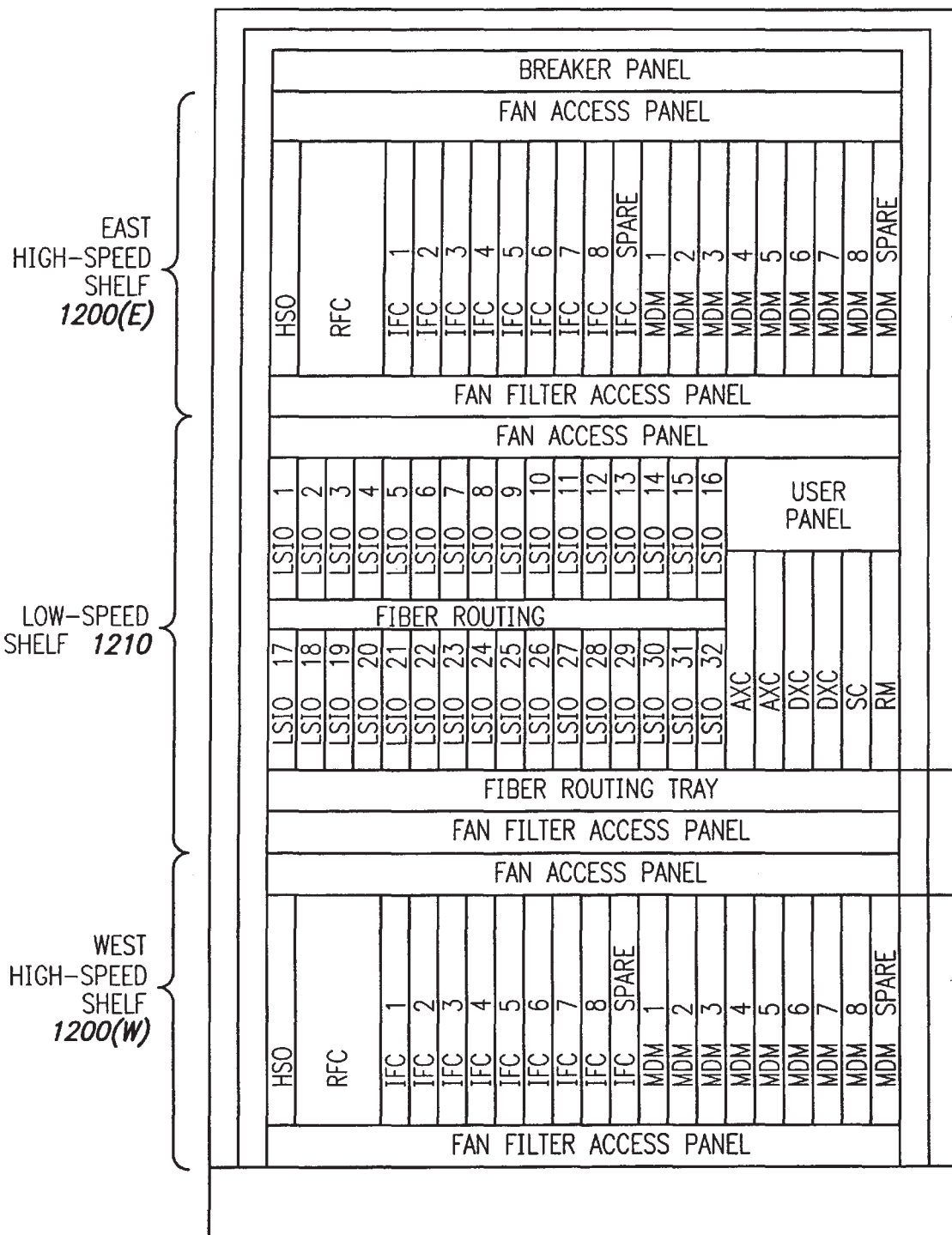


FIG. 12A

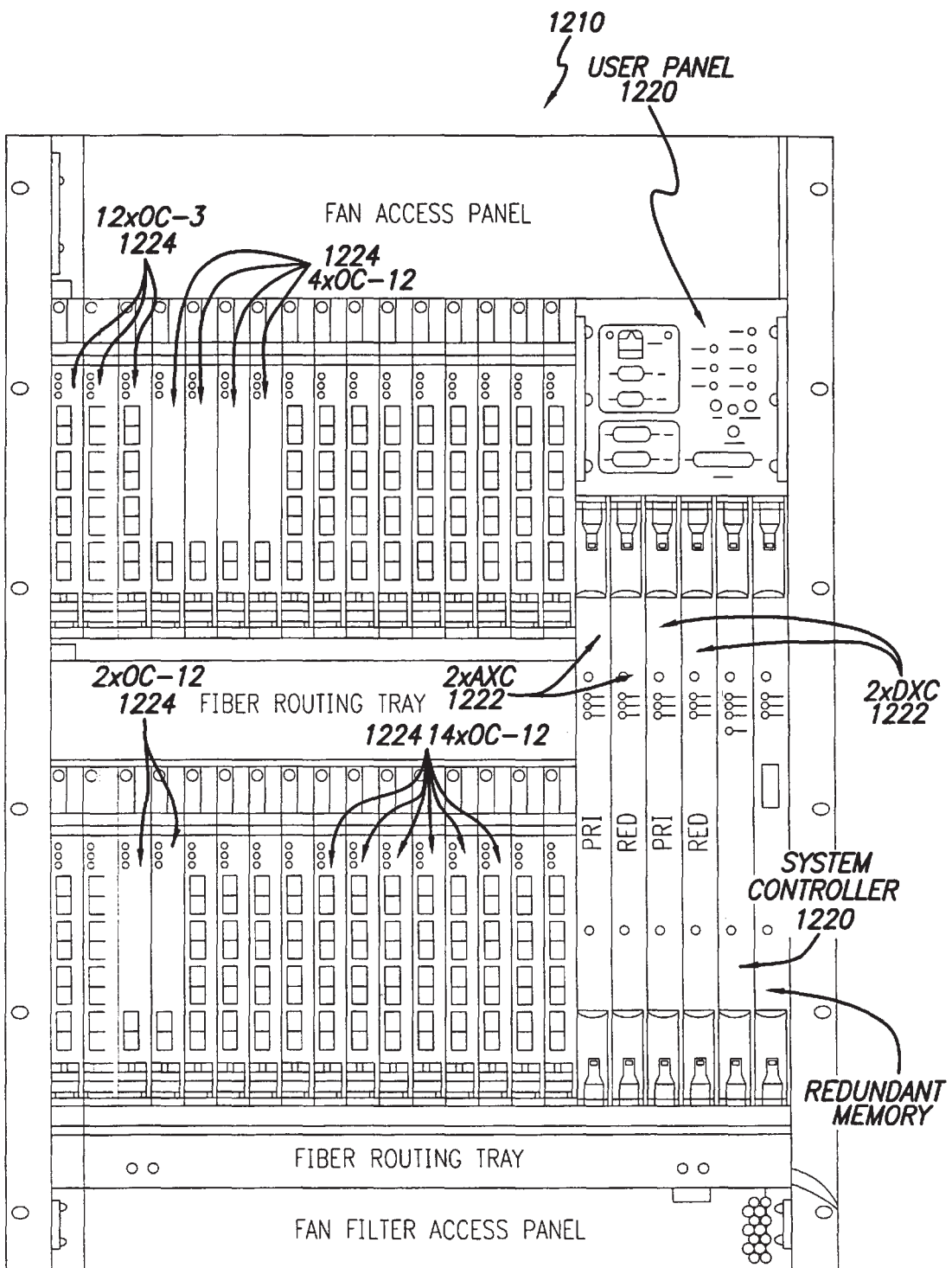
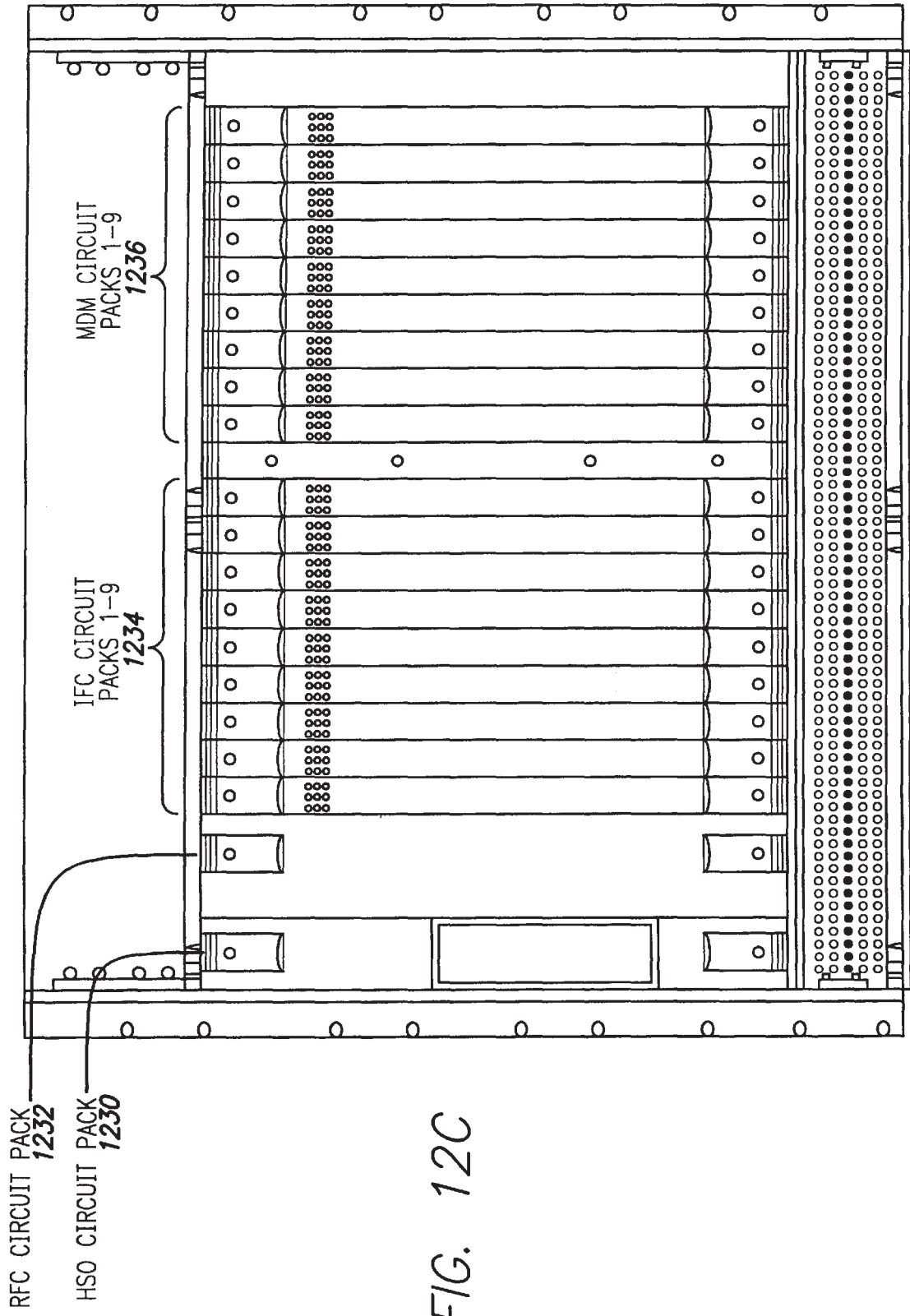


FIG. 12B





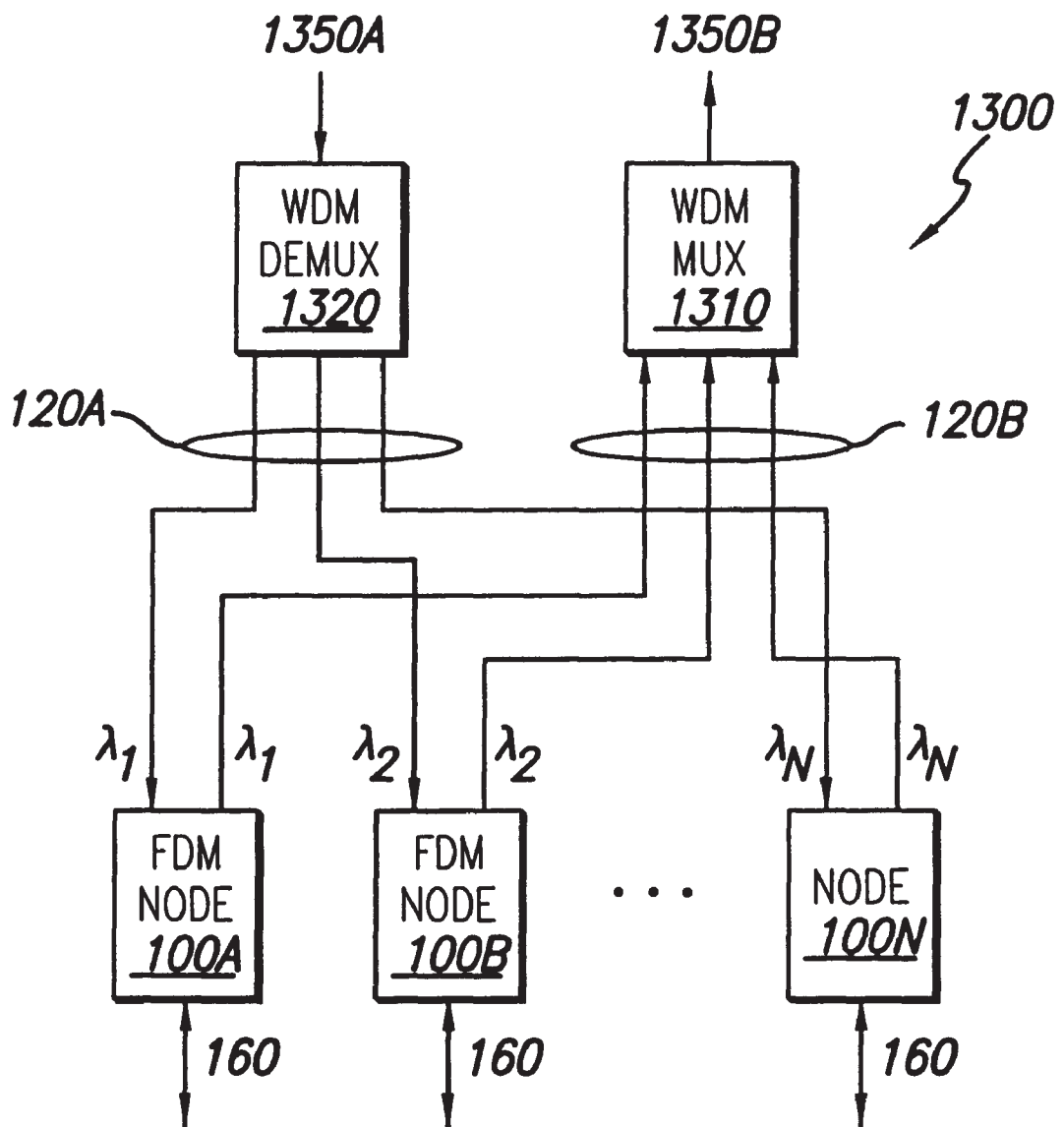


FIG. 13

# OPTICAL COMMUNICATIONS NETWORKS UTILIZING FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING

## CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

This application is a continuation-in-part of pending U.S. patent application Ser. No. 09/372,143, "Optical Communications Utilizing Frequency Division Multiplexing and Wavelength-Division Multiplexing," by Peter H. Chang, Ting K. Yee, Michael W. Rowan, James F. Coward, and Stuart E. Wilson, filed Aug. 20, 1999; which is a continuation-in-part of U.S. patent application Ser. No. 09/229,594, "Electrical Add-Drop Multiplexing for Optical Communications Networks Utilizing Frequency Division Multiplexing," by David B. Upham, Augustus Elmer, Lawrence J. Newell, David A. Pechner, Abraham Kou, Michael W. Rowan, James F. Coward, Norman L. Swenson, and Minnie Ho, filed Jan. 13, 1999 now U.S. Pat. No. 6,452,945; which is a continuation-in-part of U.S. patent application Ser. No. 09/035,630, "System and Method for Spectrally Efficient Transmission of Digital Data over Optical Fiber", by Michael W. Rowan, Roger R. Taur, Peter Chang, James F. Coward, Stuart Wilson, and Ting K. Yee, filed Mar. 5, 1998. The subject matter of all of the foregoing is incorporated herein by reference.

## BACKGROUND OF THE INVENTION

### 1. Field of the Invention

This invention relates generally to the field of optical fiber communications. More specifically, the invention relates to the use of frequency-division multiplexing (FDM) in optical fiber communications systems.

### 2. Description of the Related Art

As the result of continuous advances in technology, particularly in the area of networking, there is an increasing demand for communications bandwidth. For example, the growth of the Internet, home office usage, e-commerce and other broadband services is creating an ever-increasing demand for communications bandwidth. Upcoming widespread deployment of new bandwidth-intensive services, such as xDSL, will only further intensify this demand. Moreover, as data-intensive applications proliferate and data rates for local area networks increase, businesses will also demand higher speed connectivity to the wide area network (WAN) in order to support virtual private networks and high-speed Internet access. Enterprises that currently access the WAN through T1 circuits will require DS-3 and OC-3 connections in the near future. As a result, the networking infrastructure will be required to accommodate greatly increased traffic.

Optical fiber is a transmission medium that is well-suited to meet this increasing demand. Optical fiber has an inherent bandwidth which is much greater than metal-based conductors, such as twisted pair or coaxial cable; and protocols such as the OC protocol have been developed for the transmission of data over optical fibers. Typical communications system based on optical fibers include a transmitter, an optical fiber, and a receiver. The transmitter converts the data to be communicated into an optical form and then transmits the resulting optical signal via the optical fiber to the receiver. The receiver recovers the original data from the received optical signal.

One approach to address the increasing demand for communications bandwidth is to simply add more optical fiber to

the current networking infrastructure. However, this is not always a viable alternative. There are many areas of the country, for example metropolitan areas, where the ducts or conduits carrying optical fiber are filled to capacity or where the fiber was originally buried directly into the ground. In addition, adding more fiber is often both prohibitively expensive and time-consuming, due to high installation costs and local resistance to the disruption caused by fiber installation. These factors therefore favor solutions which increase communications bandwidth by more efficiently utilizing the installed fiber infrastructure rather than by installing new fiber.

Furthermore, other factors also favor solutions other than installing new fiber. For example, because of its large inherent bandwidth, an optical fiber is most efficiently used when multiple users share the fiber. Typically, a number of low-speed data streams (i.e., "low-speed channels"), for example transmitted by different users, are combined into a single high-speed channel for transport across the fiber. Conversely, when the high-speed channel reaches the destination for one of the low-speed channels contained in it, the low-speed channel must be extracted from the rest of the high-speed channel. A typical optical network consists of nodes which transmit high-speed channels to each other over optical fibers. In addition to transporting low-speed channels through the node (the "pass-through" function) as part of high-speed channels passing through the node, nodes may also combine incoming low-speed channels to the high-speed channel (the "add" function) and/or extract outgoing low-speed channels from the high-speed channels (the "drop" function). These functions are commonly referred to as add-drop multiplexing (ADM).

Increasing the ADM functionality of nodes in a network increases the flexibility of the network, thus increasing the number of applications and network configurations that may be implemented by the network. For example, metropolitan networks are characterized by densely populated areas, a large number of nodes (e.g., central offices), short distances between nodes (typically less than 40 km), and lower data rates than long distance networks (typically less than 2.5 Gbps). The traffic patterns for metropolitan networks change rapidly and require dynamic interconnections at the large number of nodes, which are often remotely managed. ADM functionality allows low-speed channels to be remotely added to or dropped from a high-speed channel, thus addressing the requirements of the metropolitan network.

However, the manner in which the ADM functionality is implemented in a particular network will depend in part on how the low-speed channels are combined to form a high-speed channel. Thus, an approach which addresses the capacity problem by combining a large number of low-speed channels into a high-speed channel may not be favored if it does not readily support ADM functionality. A good approach should both increase the number of low-speed channels contained in each high-speed channel and also support significant ADM functionality.

Two widely used approaches to combining low-speed channels are wavelength division multiplexing (WDM) and time division multiplexing (TDM). In WDM or its more recent counterpart dense wavelength division multiplexing (DWDM), each low-speed channel is placed on an optical carrier of a different wavelength and the different wavelength carriers are combined to form the high-speed channel. Crosstalk between the low-speed channels is a major concern in WDM and, as a result, the wavelengths for the optical carriers must be spaced far enough apart (typically 50 GHz or more) so that the different low-speed channels are resolv-

able. In TDM, each low-speed channel is compressed into a certain time slot and the time slots are then combined on a time basis to form the high-speed channel. For example, in a certain period of time, the high-speed channel may be capable of transmitting 10 bits while each low-speed channel may only be capable of transmitting 1 bit. In this case, the first bit of the high-speed channel may be allocated to low-speed channel 1, the second bit to low-speed channel 2, and so on, thus forming a high-speed channel containing 10 low-speed channels. TDM requires precise synchronization of the different channels on a bit-by-bit basis (or byte-by-byte basis, in the case of SONET), and a memory buffer is typically also required to temporarily store data from the low-speed channels.

In the case of WDM, one approach is to implement the ADM functionality entirely in the optical domain. This avoids having to convert the high-speed channel from optical to electrical form, but has a number of other significant limitations. First, as described previously, the wavelengths for each of the optical carriers in a WDM system typically are spaced far apart (e.g. 50 GHz or more). As a result, the number of different optical carriers is limited and if each carrier corresponds to a low-speed channel, as is typically the case, the total number of low-speed channels is also limited. Furthermore, if the bandwidth capacity of the fiber is to be used efficiently, each low-speed channel must have a relatively high data rate due to the low number of low-speed channels, thus preventing add-drop at a fine granularity. For example, if the high-speed channel has a total capacity of 10 Gigabits per second (10 Gbps) and is allotted a bandwidth of 200 GHz, then current WDM systems will typically be limited to no more than four low-speed channels, each of which will be 2.5 Gbps in order to meet the overall bit rate of the high-speed channel. However, this means that the low-speed channels can only be added or dropped in blocks of 2.5 Gbps. Since many data streams occur at a much lower bit rate, such as at 155 Megabits per second (Mbps) for OC-3, it is often desirable to add and drop at a granularity which is finer than what WDM can support.

The current state of technology also limits the practicality of all-optical ADM. In all-optical approaches, the channels typically are not regenerated as they pass through each node in the network and will continuously deteriorate until they reach their final destination. As a result, the entire network must be designed assuming deterioration along the worst-case path through the network. In contrast, if a channel is regenerated at each node, the network may be designed based only on node-to-node deterioration, regardless of the total number of nodes in the network. As another example, current technology makes it difficult to route a low-speed channel occupying one wavelength of a high-speed channel to a different wavelength of the high-speed channel. This severely limits the ADM functionality that may be implemented since low-speed channels are not freely routable. For example, if a low-speed channel occupies a particular wavelength on an incoming high-speed channel, that low-speed channel can only be passed through to another high-speed channel if that particular wavelength on that high-speed channel is unoccupied, regardless of how many other wavelengths are available.

An alternate approach to implementing ADM functionality for WDM systems is based on converting the optical high-speed channels to electrical form and then performing the ADM function electrically. This approach, however, is expensive since it requires significant amounts of both optical and electrical devices. WDM is an inherently optical approach and requires optical devices to implement. On the

other hand, an electrical ADM would require significant electrical devices to implement. Combining the two would require both sets of devices and would additionally require optical-to-electrical (O/E) and electrical-to-optical (E/O) converters, typically one set for each wavelength used in the WDM.

As a result of the disadvantages described above, ADM capabilities in current WDM systems are often fixed or limited. For example, add/drop connections between low-speed channels and high-speed channels may be fixed when a node is installed and may be changed only by a corresponding change in hardware. As another example, the add/drop functions may be implemented only for a subset of the low-speed channels connected to a node. Alternately, a node may be able to implement only a subset of all possible connections between low-speed channels and high-speed channels. These compromises reduce the overall ADM functionality of the node and its flexibility within a network.

Implementing ADM capabilities for TDM networks also has significant disadvantages. First, as mentioned above, the TDM approach is strongly time-based and requires precise synchronization of the channels entering and exiting the ADM to a common reference clock. As a result, TDM systems require significantly more complex timing recovery, leading to increased overall cost. In addition, since the low-speed channels typically are combined on a bit-by-bit (or byte-by-byte) basis, TDM systems are heavily dependent on the bit rates of the individual low-speed channels and have difficulty handling low-speed channels of different bit rates or different protocols. As yet another disadvantage, TDM systems generally require significant amounts of buffer memory since bits from the low-speed channels typically must be temporarily stored before they can be properly sorted and time-synchronized to form a high-speed channel. These required buffers add to the cost of implementing an ADM within a TDM system.

Thus, there is a need for an inexpensive node which efficiently combines a number of low-speed channels into a high-speed channel and which also provides a broad range of ADM capabilities for optical communications networks, in particular including the functionalities of adding, dropping, drop-and-continue, and pass-through of a low-speed channel. The node preferably implements the ADM functionalities independent of bit rate, format, and protocol of the various channels and is capable of handling a large number of fine granularity low-speed channels. There is further a need for a node which regenerates the channels passing through it.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

In accordance with the present invention, an FDM node for use in optical communications networks includes an O/E converter, a frequency division demultiplexer, an E/O converter, a frequency division multiplexer, and an electrical ADM crosspoint. In the high-speed receive direction, the O/E converter converts a first optical high-speed channel to a first electrical high-speed channel. The frequency division demultiplexer is coupled to the O/E converter and frequency division demultiplexes the first electrical high-speed channel into a first plurality of low-speed channels (preferably at the same data rate as STS-3 signals) which are transmitted to inputs of the ADM crosspoint. In the transmit direction, the frequency division multiplexer receives a second plurality of low-speed channels from outputs of the ADM crosspoint and frequency division multiplexes them into a second electrical high-speed channel, which is then converted by the E/O

converter to a second optical high-speed channel. The ADM crosspoint switchably couples its inputs to its outputs, thereby implementing an add/drop multiplexing (ADM) function for the optical high-speed channels.

In another aspect of the invention, the transmit side of an FDM node for use in optical communications networks includes a quadrature amplitude modulation (QAM) modulator, a frequency division multiplexer, and an E/O converter coupled in series. The term QAM is to be interpreted in its most general sense, with multiple signal phases and multiple signal amplitudes. As such, it includes common constellations such as BPSK, QPSK, 8PSK, 16-QAM, 32-Cross, 64-QAM, etc., as well as arbitrary complex constellations. The QAM modulator applies QAM modulation to the low-speed channels to form FDM channels. The low-speed channels preferably are characterized by data rates greater than 100 million bits per second and forward error correction codes may also be applied. The frequency division multiplexer converts the FDM channels into an electrical high-speed channel, preferably using a two stage IF/RF process. The E/O converter converts the electrical high-speed channel to an optical high-speed channel.

In yet another aspect of the invention, the corresponding receive side includes an O/E converter, a frequency division demultiplexer, and a QAM demodulator coupled in series. The O/E converter converts an optical high-speed channel to an electrical high-speed channel. The frequency division demultiplexer separates the electrical high-speed channel into its constituent FDM channels. The QAM demodulator demodulates the FDM channels into the original low-speed channels.

In another aspect of the invention, a method for transporting data includes the following steps. A first optical high-speed channel is received and converted to a first electrical high-speed channel. This is frequency division demultiplexed into a plurality of first low-speed channels, which are to be passed-through to a second optical high-speed channel. The first low-speed channels are switchably coupled to second low-speed channels. These are frequency division multiplexed to produce a second electrical high-speed channel, which is converted to the second optical high-speed channel.

The FDM-based approach is particularly advantageous because the use of frequency division multiplexing results in the efficient combination of low-speed channels into a high-speed channel and the efficient separation of a high-speed channel into its constituent low-speed channels. For example, since the multiplexing occurs in the electrical domain rather than the optical one, this approach requires only a single optical to electrical conversion (e.g., the optical high-speed channel into an electrical high-speed channel), whereas approaches like WDM would require multiple optical to electrical conversions (e.g., one for each wavelength), with a corresponding increase in the equipment required. Furthermore, since the multiplexing occurs in the frequency domain rather than the time domain, this approach does not have stringent synchronization requirements and does not require memory buffers as would be the case with TDM approaches.

In addition, since the low-speed channels are combined in the frequency domain rather than the time or wavelength domain, this allows more flexibility in the types of low-speed channels which may be supported. For example, the low-speed channels (or the tributaries on which the low-speed channels are based) may be characterized by different data rates or different communications protocols so long as

each low-speed channel does not exceed the frequency band allocated to it. As another example, each of the low-speed channels may be amplified or attenuated by different amounts in order to compensate for the specific transmission characteristics at that low-speed channel's frequency band. Frequency bands with especially poor transmission characteristics may simply not be utilized. In contrast, TDM- or WDM-based approaches generally do not have these advantages.

The efficient conversion between optical high-speed channels and electrical low-speed channels also enables the use of an electrical ADM crosspoint to implement the ADM functionality of the FDM node. This yields further advantages since a crosspoint can be more flexible than other ADM solutions. For example, the crosspoint preferably can be configured to connect any input to any output. As a result, in addition to the basic add, drop, and pass-through functions, such a ADM crosspoint can implement any combinations of the above, including broadcasting or multicasting. This flexibility allows a single FDM node to be configured in a variety of ways to support a variety of network configurations. It also allows the FDM node to be easily reconfigured while in service. This facilitates the implementation of system reconfigurations with minimal disturbance to in-service traffic and also facilitates the implementation of fault-tolerance by enabling data streams to be efficiently re-routed to redundant hardware in the case of failure of the primary hardware.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWING

The invention has other advantages and features which will be more readily apparent from the following detailed description of the invention and the appended claims, when taken in conjunction with the accompanying drawing, in which:

FIGS. 1A–1C are block diagrams of example optical communication networks including the present invention;

FIG. 2 is a block diagram of an FDM node 100 in accordance with the present invention;

FIG. 3 is a composite flow diagram illustrating operation of FDM node 100 implementing add, drop, and pass-through functions;

FIG. 4 is a block diagram of a preferred embodiment 400 of FDM node 100;

FIG. 5A is a block diagram of a preferred embodiment of low-speed output converter 270;

FIG. 5B is a block diagram of a preferred embodiment of low-speed input converter 275;

FIG. 6A is a block diagram of a preferred embodiment of FDM demultiplexer 225;

FIG. 6B is a block diagram of a preferred embodiment of FDM multiplexer 245;

FIG. 7A is a block diagram of a preferred embodiment of demodulator 620;

FIG. 7B is a block diagram of a preferred embodiment of modulator 640;

FIG. 8A is a block diagram of a preferred embodiment of IF downconverter 622;

FIG. 8B is a block diagram of a preferred embodiment of IF upconverter 642;

FIG. 9A is a block diagram of a preferred embodiment of RF downconverter 624;

FIG. 9B is a block diagram of a preferred embodiment of RF upconverter 644;

FIGS. 10A–10E are frequency diagrams illustrating operation of FDM node 400;

FIGS. 11 is three frequency diagrams illustrating the reduced bandwidth resulting from use of FDM node 400;

FIGS. 12A–12C are figures illustrating a preferred physical layout for FDM node 400;

FIG. 13 is a block diagram of another FDM node 1300 in accordance with the present invention.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

FIGS. 1A–1C are block diagrams of example optical communication networks including the present invention. Each of these networks includes a number of nodes 100A–100I (collectively or generically, nodes 100) which are coupled to each other by optical fibers (not shown) in various configurations. The nodes 100 transmit optical high speed data signals to each other over the optical fibers. The signals shall be referred to as high-speed channels 120 and are depicted by the arrows entering and exiting the sides of each node 100. Current optical fibers have two spectral regions which are commonly used for communications: the 1.3 and 1.55 micron regions. At a wavelength of 1.3 micron, transmission of the optical signal is primarily limited by attenuation in the fiber; dispersion is less of a factor. Conversely, at a wavelength of 1.55 micron, the optical signal will experience more dispersion but less attenuation. Hence, the optical signal preferably has a wavelength either in the 1.3 micron region or the 1.55 micron region and, for long distance communications systems, the 1.55 micron region is generally preferred.

Each node 100 also receives and transmits multiple lower speed data signals to other devices (not shown) via any number of communications channels, including for example branch fibers, metal conductors, and wireless channels. For convenience, these lower speed data signals shall be referred to as tributaries 160 and are represented by the slashed arrows entering and exiting the bottom of each node 100, the slash and “N” indicating the presence of multiple signals. In addition to transmitting high-speed channels 120 to other nodes, each node 100 also implements some add-drop multiplexing (ADM) functionality to allow the addition of incoming tributaries 160B to outgoing high-speed channels 120 and to allow the extraction of tributaries 160A from incoming high-speed channels 120. It is impractical to describe all possible ADM functionalities, but the following examples will describe the more basic functionalities.

In FIG. 1A, node 100A is coupled to node 100B to node 100C to form a bidirectional linear chain, bidirectional meaning that there are high-speed channels 120 running in both directions along the chain. Node 100B receives incoming high-speed channel 120A from node 100A. This channel 120A is the combination of a number of tributaries, some of which may have node 100B as their final destination. These tributaries are extracted, or “dropped,” from high-speed channel 120A and exit node 100B via the outgoing tributaries. The remaining tributaries in high-speed channel 120A presumably are destined for node 100C and, therefore, are “passed through” node 100B to form part of high-speed channel 120B traveling to node 100C. Some of the incoming tributaries 160B may also be destined for node 100C. These are “added” by node 100B to high-speed channel 120B. This example illustrates the basic ADM functions of add, drop, and pass-through.

More complex ADM functions include broadcast, multicast, and drop-and-continue. As an example of

multicast, one of the tributaries 160B may be destined for multiple destinations including both nodes 100A and 100C. To implement the multicast function, the incoming tributary 160B would be added to both the high-speed channel 120B traveling to node 100C and to the high-speed channel 120C traveling to node 100A. As another example, if the tributary 160B were destined for node 100C and also for additional nodes beyond 100C, the tributary 160B may be added multiple times to high-speed channel 120B with one tributary dropped at each destination node. In the broadcast situation, a single incoming low-speed channel is dropped to multiple tributaries. For example, node 100B may drop an incoming low-speed channel on an incoming high-speed channel 120A to several of the tributaries 160A. In drop-and-continue, a low-speed channel on an incoming high-speed channel is both dropped and passed through. For example, if one of the incoming tributaries 160C were destined for both nodes 100B and 100C, node 100A would first add that tributary 160C to the high-speed channel 120A. Node 120B would drop the corresponding low-speed channel from high-speed channel 120A to tributary 160A but would also pass the low-speed channel through to high-speed channel 120B destined for node 100C, thus implementing a drop-and-continue.

The above functions are merely examples of ADM functionality which may be implemented by nodes 100. In general, it is desirable for nodes 100 to be able to route any incoming data signal(s), whether received from an incoming tributary 160 or as part of an incoming high-speed channel 120, to any outgoing data signal(s), whether transmitted as an outgoing tributary 160 or as part of an outgoing high-speed channel 120. It is also desirable for nodes 100 to be able to simultaneously accommodate data signal(s) of various data rates and protocols and/or to be easily reconfigured to accommodate various data rates and protocols. These properties add to the flexibility of nodes 100, allowing them to be used for more types of network configurations and applications.

FIG. 1B is an example of a ring network using nodes 100D–100F. These nodes 100 are coupled by two high-speed channels, one forming a clockwise ring and the other forming a counterclockwise ring, for example for redundancy purposes. To continuously take advantage of this redundancy, tributaries entering the high-speed ring may be broadcast in both directions around the ring. Alternately, one ring may be used as the primary direction while the other is reserved strictly for failure of the primary ring. In this case, when failure of the primary ring is detected, all traffic is re-routed to the redundant ring. As a variant of this, traffic may be intentionally re-routed to the redundant ring to allow, for example, an additional node to be added to the primary ring. After the installation, traffic is returned to the primary ring. All of these situations require that the nodes 100 be able to implement certain ADM functionalities.

Other network configurations will be apparent. For example, if the linear chain only contained two nodes 100, it typically would be referred to as a point-to-point connection rather than a linear chain. FIG. 1C is an example of a ring-to-ring configuration. Nodes 100G and 100H are coupled to form one ring; while nodes 100H and 100I are coupled to form another ring. Node 100H, through its ADM functionality, couples the two rings together since, for example, a low-speed channel received as part of high-speed channel 120D may be passed through to high-speed channel 120E.

FIG. 2 is a block diagram of a node 100 in accordance with the present invention. For reasons which shall become

apparent, node **100** shall be referred to as an FDM node **100**. For convenience, FDM node **100** may be divided into a “receive” data path **210A**, a “transmit” data path **210B**, and a control system **290**. As used herein, the terms “receive” and “transmit” are with respect to the high-speed channels **120**. In other words, “receive” refers to the data direction from an incoming high-speed channel **120A** to an outgoing tributary **160A** (i.e., the direction for receiving a high-speed channel); while “transmit” refers to the data direction from an incoming tributary **160B** to an outgoing high-speed channel **120B**. In general, the suffixes A and B will be used to denote the receive and transmit directions, respectively, for data signals and input/output ports.

The division of FDM node **100** into receive and transmit data paths **210** is primarily for convenience of describing the functionality of FDM node **100** and does not imply that the implementation of FDM node **100** must be physically segregated. In fact, it may often be preferable to implement corresponding portions of the two data paths **210** together in a single device. For example, an optical transmitter for the transmit data path **210B** may often be combined with an optical receiver for the receive data path **210A** into a single component typically referred to as a transceiver. Other examples will be apparent. In addition, the term “data path” is used here to conveniently describe FDM node **100** and does not imply that these are the only paths along which data signals may propagate. For example, in the pass-through situation, data will be received on incoming high-speed channel **120A**, routed along a portion of the receive data path **210A** and then a portion of the transmit data path **210B**, and exit as part of outgoing high-speed channel **120B**.

The receive data path **210A** includes an optical-to-electrical (O/E) converter **220**, a frequency division demultiplexer **225**, an ADM switch **260**, and optionally also a low-speed output converter **270** coupled in series from the incoming high-speed channel **120A** to the outgoing tributaries **160A**. The O/E converter **220**, preferably a detector such as a high-speed PIN diode, converts an incoming signal from optical to electrical form. The frequency division demultiplexer **225** frequency division demultiplexes an incoming signal into a plurality of signals **240A**, which shall be referred to as low-speed channels. The ADM switch **260** implements the ADM functionality of node **100**. It preferably is a crosspoint switch and therefore shall be referred to as an ADM crosspoint **260**, although other types of switches such as packet switches may be used. The ADM crosspoint **260** couples its inputs to its outputs and may be dynamically reconfigured to implement any of a number of couplings between its inputs and outputs. In other words, the ADM crosspoint **260** switchably couples its inputs to its outputs. The crosspoint **260** preferably is non-blocking and capable of coupling any of its inputs to any of its outputs, including to multiple outputs simultaneously. If necessary, low-speed output converter **270** converts between the format from ADM crosspoint **260** (i.e., low-speed channels **250A**) and tributaries **160A**.

The transmit data path **210B** is a mirror image of the receive data path **210A**. From incoming tributaries **160B** to outgoing high-speed channel **120B**, the transmit data path **210B** includes a low-speed converter **275** for converting from tributaries **160B** to low-speed channels **250B**, the ADM crosspoint **260** (which is also a part of the receive data path **210A**), a frequency division multiplexer **245** for frequency division multiplexing a plurality of signals into a single signal, and an E/O converter **240** for converting signals from electrical to optical form. The E/O converter **240** preferably includes an optical source, such as a laser,

and an optical modulator, such as a Mach Zender modulator, which modulates the optical carrier produced by the optical source with an incoming electrical signal.

Control system **290** is coupled to both data paths **210** and generates the controls for node **100**. Control system **290** also has an external port **292** to allow external control of node **100**. For example, an external network management system may manage a large fiber network, including node **100**. Alternately, a technician may connect a craft terminal to external port **292** to allow local control of node **100**, as may be desirable during troubleshooting.

For convenience, data paths **210** may be divided into a high-speed system **200** and a low-speed system **201**. The high-speed system **200** includes those portions of data paths **210** which lie between the high-speed channels **120** and the low-speed channels **240**; while the low-speed system **201** includes those portions between the low-speed channels **240** and the tributaries **160**. The high-speed system portion **200** of the receive data path **210A** shall be referred to as the high-speed receiver **215A**; while the high-speed system portion **200** of the transmit data path **210B** shall be referred to as the high-speed transmitter **215B**.

FIG. 3 is a composite flow diagram illustrating add, drop, and pass-through functions **300** using FDM node **100**. As mentioned previously, FDM node **100** can implement many different ADM functionalities, only a representative sampling of which will be explained for reasons of conciseness. The invention is not limited to these examples.

Method **300** has three basic steps: **310**, **320** and **330**. The ADM crosspoint **260** receives **310** a low speed channel originating either from a high-speed channel **120A** (branch **310A**) or from a tributary **160B** (branch **310B**). The control system **290** configures **320** the ADM crosspoint **260** to route the incoming low-speed channel to the appropriate output. From this output, the low-speed channel is transmitted **330** on its way, either as part of an outgoing high-speed channel **120B** (branch **330B**) or an outgoing tributary **160A** (branch **330A**). Now consider each of the receive **310** and transmit **330** steps in turn.

Step **330B** is performed by the high-speed transmitter **215B**. Low-speed channels **240B** from the ADM crosspoint **260** are received **318B** by the high-speed transmitter **215B**. The frequency division multiplexer **245** combines these channels into a high-speed channel using frequency division multiplexing **316B** techniques. Typically, each low-speed channel **240B** is modulated on a carrier frequency distinct from all other carrier frequencies. These modulated carriers are then combined to form a single electrical high-speed channel, typically an RF signal. E/O converter **240** converts **314B** the electrical high-speed channel to optical form, preferably via an optical modulator which modulates an optical carrier with the electrical high-speed channel. The optical high-speed channel **120B** is transmitted **312B** to the next node.

Step **310A** is the reverse of step **330B** and is performed by the high-speed receiver **215A**. An incoming optical high-speed channel **120A**, such as that produced in step **330B**, is received **312A** by the high-speed receiver **215A**. O/E converter **220** converts **314A** the optical high-speed channel **120A** to an electrical high-speed channel, typically an RF signal. This electrical high-speed channel includes a number of low-speed channels which were combined by frequency division multiplexing. Frequency division demultiplexer **225** frequency division demultiplexes **316A** the high-speed signal to recover the plurality of low-speed channels **240A**, which are received **318A** by crosspoint **260**.

Steps 310B and 330A are relatively simpler. In step 310B, the low-speed input converter 275 receives 311B incoming tributaries 160B and converts 313B them into low-speed channels 250B, assuming that a conversion is necessary. The low-speed channels 250B are received 315B by the ADM crosspoint 260. In step 330A, low-speed channels 250A are received 315A by the low-speed output converter 270 from the ADM crosspoint. The low-speed output converter 270 converts 313A the low-speed channels 250A into tributaries 160A, which are transmitted 311A to their local destinations. If no conversion between low-speed channels 250 and tributaries 160 is required, then ADM crosspoint 260 may directly receive and transmit the tributaries 160/low-speed channels 250.

In step 320, the control system 290 configures the ADM crosspoint 260 according to the desired functionality. For example, to implement the add functionality, a tributary 160B is received according to step 310B, the crosspoint 260 is configured 320 to couple the relevant incoming low-speed channel 250B to the relevant outgoing low-speed channel 240B, and the low-speed channel 240B is output as part of high-speed channel 120B according to step 330B. For the drop functionality, steps 310A and 330A are the relevant input and output steps, and the crosspoint 260 is configured 320 to couple the relevant incoming low-speed channel 240A to the relevant outgoing low-speed channel 250A. For pass-through functionality, data is received according to step 310A, the crosspoint 260 is configured 320 to couple the relevant incoming low-speed channel 240A to the relevant outgoing low-speed channel 240B, and the data is transmitted according to step 330B. The more complex add-drop functionalities, such as multicast, broadcast and drop-and-continue, may be implemented by appropriately configuring 320 the ADM crosspoint 260.

The use of frequency division multiplexing in the high-speed system 200 allows the transport of a large number of low-speed tributaries 160 over a single fiber in a spectrally-efficient manner. It also reduces the cost of high-speed system 200 since the bulk of the processing performed by high-speed system 200 is performed on low-speed electrical signals. In contrast, the relatively spectrally-inefficient modulation schemes used by WDM and TDM systems necessitate the use of larger bandwidths, which leads to larger dispersion and non-linear effects and the use of higher-speed electronics, which typically leads to higher costs.

Furthermore, since the high-speed channels 120 can efficiently and cost effectively be converted to low-speed channels 240, the add/drop functionality can be implemented electrically and, in particular, the use of crosspoint 260 allows the implementation of a broad range of add/drop functionality, including functions such as multicasting, broadcasting, and drop-and-continue. This, in turn, leads to a flexible node 100 which may be used in many different network configurations and which facilitates the implementation of system redundancies and the servicing of nodes 100 with minimal disturbance to in-service traffic. Furthermore, since the crosspoint 260 is preferably completely non-blocking and flow-through, data need not be timed nor stored. As a result, the same ADM crosspoint 260 may be used for a wide variety of bit rates, data formats, and protocols.

FIG. 4 is a block diagram of a preferred embodiment 400 of FDM node 100. FDM node 400 includes two high-speed systems 200(E) and 200(W), a low-speed system 201, and a control system 290 (not shown in FIG. 4). The high-speed systems 200 are the same as each other, but two systems are

used in order to facilitate flow to two other nodes (not shown) which are arbitrarily referred to as an east and a west node. This is a common configuration, as shown in FIGS. 1A–1C. The suffixes E and W denote high-speed channels arriving from the east and west nodes, respectively. In the eastbound direction, high-speed system 200(E) has incoming and outgoing high-speed channels 120A(E) and 120B(E) and is coupled to low-speed system 201 in the same manner as in FDM node 100. West high-speed system 200(W) is analogously coupled. Other embodiments may have different numbers of high-speed systems 200 and/or low-speed systems 250 or could include only the high-speed receiver 215A or the high-speed transmitter 215B, rather than both as shown in FDM node 100. Alternately, multiple high-speed channels 120 could be coupled to a single high-speed system 200. For example, rather than having separate high-speed systems 200 to facilitate high-speed channels 120 coming from different nodes, a single high-speed system 200 could be used to receive both high-speed channels 120A and to transmit both high-speed channels 120B.

Each of the four high-speed channels 120 in node 400 preferably carries 10 billion bits per second (Gbps), which is equivalent in data capacity to an OC-192 data stream. Each low-speed channel 240,250 preferably is an electrical signal which has a data rate of 155 million bits per second (Mbps) and is similar to an STS-3 signal. This allows 64 low-speed channels 240,250 to be included in each high-speed channel 120. There are 64 low-speed channels 240 running in each direction between each high-speed system 200 and ADM crosspoint 260, and there are 128 low-speed channels 250 running between ADM crosspoint 260 and each of the low-speed converters 270,275, as indicated by the number located adjacent to the slashed lines 240,250. The tributaries 160 are preferably some combination of OC-3, OC-12, and OC-48 signals (or their electrical counterparts STS-3, STS-12, STS-48) and the total capacity of the incoming and outgoing tributaries 160B and 160A is equivalent to the capacity of the corresponding low-speed channels 250B and 250A, respectively. Hence, FDM node 100A has enough capacity to place every incoming tributary 160B onto an outgoing high-speed channel 120B and also has enough capacity to drop incoming high-speed channels 120A in their entirety to outgoing tributaries 160A.

FIGS. 5–9 are more detailed block diagrams illustrating various portions of FDM node 400. Each of these figures includes a part A and a part B, which correspond to the receive data path 210A and transmit data path 210B, respectively. These figures will be explained by working along the transmit data path 210B from the incoming tributaries 160B to the outgoing high-speed channel 120B, first describing the component in the transmit data path 120B (i.e., part B of each figure) and then describing the corresponding components in the receive data path 120A (i.e., part A of each figure).

FIGS. 5A–5B are block diagrams of one type of low-speed converter 270,275. In the transmit direction, low-speed input converter 275 converts the tributaries 160B to low-speed channels 250B, which have the same data rate as STS-3 signals in this embodiment. The structure of converter 275 depends on the format of the incoming tributary 160B. For example, if tributary 160B is an STS-3 signal then no conversion is required. If it is an OC-3 signal, then converter 275 will perform an optical to electrical conversion.

FIG. 5B is a converter 275 for an OC-12 tributary. Converter 275 includes an O/E converter 510, CDR 512, TDM demultiplexer 514, and parallel to serial converter 516



coupled in series. The O/E converter **510** converts the incoming OC-12 tributary **160B** from optical to electrical form, producing the corresponding STS-12 signal. CDR **512** performs clock and data recovery of the STS-12 signal and also determines framing for the signal. CDR **512** also converts the incoming bit stream into a byte stream. The output of CDR **512** is byte-wide, as indicated by the “×8.” Demultiplexer **514** receives the signal from CDR **512** one byte at a time and byte demultiplexes the recovered STS-12 signal using time division demultiplexing (TDM) techniques. The result is four separate byte-wide signals, as indicated by the “4×8,” each of which is equivalent in data rate to an STS-3 signal. Parallel to serial converter **516** adds framing to these four signals so that the signals behave similarly to STS-3 signals in FDM node **400**. Converter **516** also converts each byte-wide signal into a serial signal at eight times the data rate, with the resulting output being four low-speed channels **250B**, each at a data rate of 155 Mbps.

Low-speed input converter **270** of FIG. **5A** implements the reverse functionality of converter **275**, converting four 155 Mbps low-speed channels **250A** into a single outgoing OC-12 tributary **160A**. In particular, converter **270** includes CDR **528**, FIFO **526**, TDM multiplexer **524**, parallel to serial converter **522**, and E/O converter **520** coupled in series. CDR **512** performs clock and data recovery of each of the four incoming low-speed channels **250A**, determines framing for the channels, and converts the channels from serial to byte-wide parallel. The result is four byte-wide signals entering FIFO **526**. FIFO **526** is a buffer which is used to synchronize the four signals in preparation for combining them into a single STS-12 signal. Multiplexer **524** performs the actual combination using TDM, on a byte level, to produce a single byte-wide signal equivalent in data capacity to an STS-12 signal. Parallel to serial converter **522** adds STS-12 framing to complete the STS-12 signal and converts the signal from byte-wide parallel to serial. E/O converter converts the STS-12 signal to electrical form, producing the outgoing OC-12 tributary **160A**.

Converters **270** and **275** have been described in the context of OC-3 and OC-12 tributaries and low-speed channels with the same data rate as STS-3 signals, but the invention is not limited to these protocols. Alternate embodiments can vary the number, bit rate, format, and protocol of some or all of these tributaries **160**. One advantage of FDM node **100** is that the system architecture is generally independent of these parameters. For example, the tributaries **160** can comprise eight 2.5 Gbps data streams, 32 622 Mbps data streams, 128 155 Mbps data streams, 384 51.84 Mbps data streams, or any other bit rate or combinations of bit rates, without requiring major changes to the architecture of FDM node **100**.

In one embodiment, the tributaries **160** are at data rates which are not multiples of the STS-3 data rate. In one variant, low-speed input converter **275** demultiplexes the incoming tributary **160B** into some number of parallel data streams and then stuffs null data into each resulting stream such that each stream has an STS-3 data rate. For example, if tributary **160B** has a data rate of 300 Mbps, converter **275** may demultiplex the tributary into four 75 Mbps streams. Each stream is then stuffed with null data to give four 155 Mbps low-speed channels. In another variant, the speed of the rest of FDM node **400** (specifically the modulator **640** and demodulator **645** of FIG. **6**) may be adjusted to match that of the tributary **160**. Low-speed output converter **270** typically will reverse the functionality of low-speed input converter **275**.

Moving further along transmit data path **210B**, the low-speed channels **250B** produced by low-speed input converter

**275** are received by ADM crosspoint **260**, the operation of which was described in conjunction with FIG. **3**. ADM crosspoint **260** outputs low-speed channels **240B** to FDM multiplexer **245** for conversion to an electrical high-speed channel. FIGS. **6B–9B** are block diagrams of a preferred embodiment of FDM multiplexer **245**. Referring first to FIG. **6B**, FDM multiplexer **245** includes a modulator **640**, IF up-converter **642**, and RF up-converter **644** coupled in series. FIGS. **7B–9B** show further details of each of these respective components. Similarly, the corresponding FDM demultiplexer **225** is shown in FIG. **6A** and includes an RF down-converter **624**, IF down-converter **622**, and demodulator **620** coupled in series, with FIGS. **7A–9A** showing the corresponding details.

Referring to FIG. **7B**, modulator **640** modulates the 64 incoming low-speed channels **240B** to produce 64 QAM-modulated channels which are input to the IF up-converter **642**. For convenience, the QAM-modulated channels shall be referred to as IF channels because they are inputs to the IF up-converter **642**. In this embodiment, each low-speed channel **240** is modulated separately to produce a single IF channel and FIG. **7B** depicts the portion of modulator **640** which modulates one IF channel. Modulator **640** in its entirety would include 64 of the portions shown in FIG. **7B**. For convenience, the single channel shown in FIG. **7B** shall also be referred to as a modulator **640**. Modulator **640** includes a Reed-Solomon encoder **702**, an interleaver **704**, a trellis encoder **706**, a digital filter **708** and a D/A converter **710** coupled in series. Modulator **640** also includes a synchronizer **712** coupled between the incoming low-speed channel **240B** and the filter **708**.

Modulator **640** operates as follows. Reed-Solomon encoder **702** encodes the incoming low-speed channel **240B** according to a Reed-Solomon code. Programmable Reed-Solomon codes are preferred for maintaining very low BER (typ.  $10^{-12}$ ) with low overhead (typ. less than 20%). This is particularly relevant for optical fiber systems because they generally require low bit error rates (BER) and any slight increase of the interference or noise level will cause the BER to exceed the acceptable threshold. For example, a Reed-Solomon code of (204,188) can be applied for an error correction capability of 8 error bytes per every 204 encoded bytes.

The interleaver **704** interleaves the digital data string output by the Reed-Solomon encoder **702**. The interleaving results in more robust error recovery due to the nature of trellis encoder **706**. Specifically, forward error correction (FEC) codes are able to correct only a limited number of mistakes in a given block of data, but convolutional encoders such as trellis encoder **706** tend to cluster errors together. Hence, without interleaving, a block of data which contained a large cluster of errors would be difficult to recover. However, with interleaving, the cluster of errors is distributed over several blocks of data, each of which may be recovered by the FEC code. Convolution interleaving of depth **10** is preferred.

The trellis encoder **706** applies a QAM modulation, preferably 16 state QAM modulation, to the digital data stream output by the interleaver **704**. The result typically is a complex baseband signal, representing the in-phase and quadrature (I and Q) components of a QAM-modulated signal. Trellis encoder **706** implements the QAM modulation digitally and the resulting QAM modulated signal is digitally filtered by filter **708** in order to reduce unwanted sidelobes and then converted to the analog domain by D/A converter **710**. Synchronizer **712** performs clock recovery on the incoming low-speed channel **240B** in order to syn-

chronize the digital filter 708. The resulting IF channel is a pair of differential signals, representing the I and Q components of the QAM-modulated signal. In alternate embodiments, the QAM modulation may be implemented using analog techniques.

Referring to FIG. 7A, demodulator 620 reverses the functionality of modulator 640, recovering a low-speed channel 240A from an incoming IF channel (i.e., analog I and Q components in this embodiment) received from the IF down-converter 622. Demodulator 620 includes an A/D converter 720, digital Nyquist filter 722, equalizer 724, trellis decoder 726, deinterleaver 728, Reed-Solomon decoder 730 and FIFO 732 coupled in series. Demodulator 620 further includes a synchronizer 734 which forms a loop with Nyquist filter 722 and a rate converter phase-locked loop (PLL) 736 which is coupled between synchronizer 734 and FIFO to 732.

Demodulator 620 operates as FIG. 7 would suggest. The A/D converter 720 converts the incoming IF channel to digital form and Nyquist filter 722, synchronized by synchronizer 734, digitally filters the result to reduce unwanted artifacts from the conversion. Equalizer 724 applies equalization to the filtered result, for example to compensate for distortions introduced by propagation across the fiber. Trellis decoder 726 converts the I and Q complex signals to a digital stream and deinterleaver 728 reverses the interleaving process. Reed-Solomon decoder 730 reverses the Reed-Solomon encoding, correcting any errors which have occurred. If the code rate used results in a data rate which does not match the rate used by the low-speed channels, FIFO 732 and rate converter PLL 736 transform this rate to the proper data rate.

One advantage to placing modulator 640 and demodulator 620 on the high-speed channel side of ADM crosspoint 620 is that FDM node 400 performs full 3R regeneration (i.e., reamplification, retiming, and reshaping) on signals which are passed-through the node. Channels passing through FDM node 400 propagate from the incoming high-speed channel 120A down the receive data path 210A (including through demodulator 620), are switched by ADM crosspoint 260 to the transmit data path 210B, and then propagate up the transmit data path 210B (including through modulator 640) to the outgoing high-speed channel 120B. These pass-through channels are demodulated by demodulator 620 into low-speed channels, which are then re-modulated by modulator 640 for re-transmission on outgoing high-speed channel 120B. This demodulation/remodulation, which occurs at each FDM node 400, retimes and reshapes the pass-through channels. Reamplification occurs throughout the data path. Full 3R regeneration allows many system parameters (e.g., jitter budgets) to be based on the communications link from one node to the next node, rather than the complete link from the originating node to the final destination node which may encompass multiple node-to-node links.

Referring again to the transmit data path 210B, IF up-converter 642 receives the 64 IF channels from modulator 640. Together, IF up-converter 642 and RF up-converter 644 combine these 64 IF channels into a single RF signal using FDM techniques. In essence, each of the IF channels (or equivalently, each of the 64 low-speed channels 240B) is allocated a different frequency band within the RF signal. The allocation of frequency bands shall be referred to as the frequency mapping, and, in this embodiment, the IF channels may also be referred to as FDM channels since they are the channels which are FDM multiplexed together. The multiplexing is accomplished in two stages. IF up-converter 642 first combines the 64 IF channels into 8 RF channels, so

termed because they are inputs to the RF up-converter 644. In general, the terms "IF" and "RF" are used throughout as labels rather than, for example, indicating some specific frequency range. RF up-converter 644 then combines the 8 RF channels into the single RF signal, also referred to as the electrical high-speed channel.

Referring to FIG. 8B, IF up-converter 642 includes eight stages (identical in this embodiment, but not necessarily so), each of which combines 8 IF channels into a single RF channel. FIG. 8B depicts one of these stages, which for convenience shall be referred to as an IF up-converter 642. IF up-converter 642 includes eight frequency shifters and a combiner 812. Each frequency shifter includes a modulator 804, a variable gain block 806, and a filter 808 coupled in series to an input of the combiner 812.

IF up-converter 642 operate as follows. Modulator 804 receives the IF channel and also receives a carrier at a specific IF frequency (e.g., 1404 MHz for the top frequency shifter in FIG. 8B). Modulator 804 modulates the carrier by the IF channel. The modulated carrier is adjusted in amplitude by variable gain block 806 and bandpass filtered by filter 808. The result is a QAM-modulated IF signal at a specific frequency. However, each frequency shifter uses a different frequency (e.g., ranging in equal increments from 900 MHz to 1404 MHz in this example) so combiner 812 simply combines the 8 incoming QAM-modulated signal to produce a single signal (i.e., the RF channel) containing the information of all 8 incoming IF channels. In this example, the resulting RF channel covers the frequency range of 864–1440 MHz.

Referring to FIG. 9B, RF up-converter 644 is structured similar to IF up-converter 642 and performs a similar function combining the 8 RF channels received from the IF up-converter 642 just as each IF up-converter combines the 8 IF channels received by it. In more detail, RF up-converter 644 includes eight frequency shifters and a combiner 912. Each frequency shifter includes a mixer 904, various gain blocks 906, and various filter 908 coupled in series to an input of the combiner 912.

RF up-converter 644 operate as follows. Mixer 904 mixes one of the RF channels with a carrier at a specific RF frequency (e.g., 4032 MHz for the top frequency shifter in FIG. 9B), thus frequency upshifting the RF channel to RF frequencies. Gain blocks 906 and filters 908 are used to implement standard amplitude adjustment and frequency filtering. For example, in FIG. 9B, one filter 908 bandpass filters the incoming RF channel and another bandpass filters the produced RF signal, both filters for suppressing artifacts outside the frequency range of interest. Each frequency shifter uses a different frequency (e.g., ranging in equal increments from 0 to 4032 MHz in this example) so combiner 912 simply combines the 8 incoming RF signals to produce the single electrical high-speed channel containing the information of all 8 incoming RF channels or, equivalently, all 64 IF channels received by IF up-converter 642. In this example, the electrical high-speed channel covers the frequency range of 864–5472 MHz.

RF down-converter 624 and IF down-converter 622 implement the reverse functionalities, splitting the RF signal into its 8 constituent RF channels and then splitting each RF channel into its 8 constituent IF channels, respectively, thus producing 64 IF channels (i.e., FDM channels) to be received by demodulator 620.

Referring to FIG. 9A, RF down-converter 624 includes a splitter 920 coupled to eight frequency shifters. Each frequency shifter includes a mixer 924, various gain blocks

926, and various filters 928 coupled in series. Splitter 920 splits the incoming electrical high-speed channel into eight different RF signals and each frequency shifter recovers a different constituent RF channel from the RF signal it receives. Mixer 924 mixes the received RF signal with a carrier at a specific RF frequency (e.g., 4032 MHz for the top frequency shifter in FIG. 9A), thus frequency downshifting the RF signal to its original IF range (e.g., 864–1440 MHz). Filter 928 then filters out this specific IF frequency range. Each frequency shifter uses a different RF frequency with mixer 924 and thus recovers a different RF channel. The output of RF downconverter 624 is the 8 constituent RF channels.

IF down-converter 622 of FIG. 8A operates similarly. It includes a splitter 820 and 8 frequency shifters, each including a bandpass filter 822 and demodulator 824. Splitter 820 splits the incoming RF channel into eight signals, from which each frequency shifter will recover a different constituent IF channel. Filter 822 isolates the frequency band within the RF channel which contains the IF channels of interest. Demodulator 824 recovers the IF channel by mixing with the corresponding IF carrier. The resulting 64 IF channels are input to demodulator 620.

It should be noted that FIGS. 7–8 are primarily functional and other implementations will be apparent. For example, referring to FIG. 9B, note that the bottom channel occupies the frequency spectrum from 864–1440 MHz and, therefore, no mixer 904 is required. As another example, note that the next to bottom channel is frequency up shifted from the 864–1440 MHz band to the 1440–2016 MHz. In a preferred approach, this is not accomplished in a single step by mixing with a 576 MHz signal. Rather, the incoming 864–1440 MHz signal is frequency up shifted to a much higher frequency range and then frequency down shifted back to the 1440–2016 MHz range. This avoids unwanted interference from the 1440 MHz end of the original 864–1440 MHz signal. Other variations will be apparent.

The FDM aspect of preferred embodiment 400 has been described in the context of combining 64 low-speed channels 240 into a single optical high-speed channel 120. The invention is in no way limited by this example. Different total numbers of channels, different data rates for each channel, different aggregate data rate, and formats and protocols other than the STS/OC protocol are all suitable for the current invention. In fact, one advantage of the FDM approach is that it is easier to accommodate low-speed channels which use different data rates and/or different protocols. In other words, some of the channels 240B may use data rate A and protocol X; while others may use data rate B and protocol Y, while yet others may use data rate C and protocol Z. In the FDM approach, each of these may be allocated to a different carrier frequency and they can be straightforwardly combined so long as the underlying channels are not so wide as to cause the different carriers to overlap. In contrast, in the TDM approach, each channel is allocated certain time slots and, essentially, will have to be converted to a TDM signal before being combined with the other channels.

Another advantage is lower cost. The FDM operations may be accomplished with low-cost components commonly found in RF communication systems. Additional cost savings are realized since the digital electronics such as modulator 640, demodulator 620, and ADM crosspoint 260, operate at a relatively low data rate compared to the aggregate data rate. The digital electronics need only operate as fast as the data rate of the individual low-speed channels 240. This is in contrast to TDM systems, which require a

digital clock rate that equals the aggregate transmission rate. For OC-192, which is the data rate equivalent to the high-speed channels 120 in FDM node 400, this usually requires the use of relatively expensive gallium arsenide integrated circuits instead of silicon.

Moving further along the transmit data path 210B, E/O converter 240 preferably includes an optical source and an external optical modulator. Examples of optical sources include solid state lasers and semiconductor lasers. Example external optical modulators include Mach Zehnder modulators and electro-absorptive modulators. The optical source produces an optical carrier, which is modulated by the electrical high-speed channel as the carrier passes through the modulator. The electrical high-speed channel may be predistorted in order to increase the linearity of the overall system. Alternatively, E/O converter 240 may be an internally modulated laser. In this case, the electrical high-speed channel drives the laser, the output of which will be a modulated optical beam (i.e., the optical high-speed channel 120B).

The wavelength of the optical high-speed channel may be controlled using a number of different techniques. For example, a small portion of the optical carrier may be extracted by a fiber optic splitter, which diverts the signal to a wavelength locker. The wavelength locker generates an error signal when the wavelength of the optical carrier deviates from the desired wavelength. The error signal is used as feedback to adjust the optical source (e.g., adjusting the drive current or the temperature of a laser) in order to lock the optical carrier at the desired wavelength. Other approaches will be apparent.

The counterpart on the receive data path 210A is O/E converter 220, which typically includes a detector such as an avalanche photo-diode or PIN-diode. In an alternate approach, O/E converter 220 includes a heterodyne detector. For example, the heterodyne detector may include a local oscillator laser operating at or near the wavelength of the incoming optical high-speed channel 120A. The incoming optical high-speed channel and the output of the local oscillator laser are combined and the resulting signal is detected by a photodetector. The information in the incoming optical high-speed channel can be recovered from the output of the photodetector. One advantage of heterodyne detection is that the thermal noise of the detector can be overcome and shot noise limited performance can be obtained without the use of fiber amplifiers.

FIGS. 10A–10D are frequency diagrams illustrating signals at various points along the transmit data path 210B of FDM node 400. FIG. 10A depicts the tributaries 160B which is assumed to be an OC-3 data signal for this example. In the time domain, the tributary is a binary signal with a bit rate of 155 Mbps. In the frequency domain, the spectrum of tributary 160B has significant sidelobes 1002 due to the on-off nature of the signal. The low-speed channels 240, 250, which are STS-3 signals in this example, have spectra similar to that shown in FIG. 10A.

FIG. 10B depicts the spectrum of a signal produced by modulator 640 from one low-speed channel 240B. As described previously, modulator 640 applies error-control coding to reduce SNR requirements. Modulator 640 also uses digital filtering and raised cosine pulse shapes to significantly reduce spectral sidelobes. The use of QAM modulation further adds to the spectral efficiency of the resulting signal. The end result is a spectrally efficient waveform (i.e., a narrow spectrum) with significantly reduced sidelobes, as shown in FIG. 10B.

FIGS. 10C–10D illustrate the spectra resulting from the IF up-converter 642 and RF up-converter 644, respectively. The IF up-converter 642 primarily FDM multiplexes eight of the waveforms from FIG. 10B into a single signal, resulting in the eight-lobed waveform of FIG. 10C which is centered at IF frequencies. The RF up-converter 644 essentially repeats this process, resulting in a 64-lobed (one lobe for each low-speed channel 240B) waveform shown in FIG. 10D.

FIG. 10E illustrates the spectra of the optical high-speed channel 120. The RF waveform of FIG. 10D is intensity modulated. The result is a double sideband signal with a central optical carrier 1041. Each sideband 1042 has the same width as the RF waveform, resulting in a total bandwidth of approximately 11 GHz.

Because FDM node 400 uses spectrally efficient QAM modulation and pulse shaping, the resulting optical waveform is significantly more bandwidth-efficient than other optical transmission methods. FIG. 11 show the spectra corresponding to three different approaches to transmit 10 Gbps. Spectrum 1100 is produced by FDM node 400 and occupies approximately 11 GHz of bandwidth as described above. In contrast, spectrum 1110 is the result of transmitting 10 Gbps using traditional on-off keying. In other words, spectrum 1110 is the spectrum of an OC-192 waveform. The null-to-null bandwidth for this spectrum is about 20 GHz. Spectrum 1120 is the spectrum of a four-wavelength WDM system transmitting 2.5 Gbps on each wavelength. The closest spacing generally used in DWDM systems today is about 50 GHz. The total occupied bandwidth is therefore about 150 GHz. Note that spectrum 1100 occupies significantly less bandwidth than either of its counterpart 1110 or 1120. In addition, note that spectrum 1100 is narrow enough that it could be transmitted on a single wavelength of a DWDM system with extremely close wavelength spacing, as will be described further below.

Another less obvious advantage of FDM over TDM is illustrated by FIG. 11. In order for the OC-192 waveform 1110 to be received distortion-free, the channel must have a fairly flat response over the entire 20 GHz bandwidth of interest. The FDM waveform 1100, however, is composed of 64 much narrower lobes, each of which represents a separate data channel. Hence, it is only necessary for the channel to be relatively flat over the bandwidth of an individual channel, or approximately 72 MHz, in order for that channel to be received distortion-free. Moreover, any distortion across the bandwidth of a single channel can be removed by the digital equalizer 724 in demodulator 620; whereas it is much more difficult to realize such an equalizer for waveform 1110.

FIGS. 12A–12C illustrate a preferred physical layout for FDM node 400. As shown in FIG. 12A, FDM node 400 is a full-height electronics rack with three shelves: east high-speed shelf 1200(E), west high-speed shelf 1200(W), and low-speed shelf 1210. Each shelf includes a number of cards, with electrical communications between the cards preferably occurring via a backplane for the shelf. Generally speaking, east high-speed shelf 1200(E) implements the functionality of east high-speed system 200(E) of FIG. 4, west high-speed shelf 1200(W) implements the functionality of west high-speed system 200(W), and low-speed shelf 1210 implements the functionality of the low-speed system 201 and control system 290.

FIG. 12B is a detail of the low-speed shelf 1210. The first three cards 1220 are dedicated to the control system 290, including diagnostics. Four cards 1222 implement the ADM

crosspoint 260, with two of the four cards providing primary service, as indicated by “(Pri.)” and the other two providing redundancy as indicated by “(Red.)” The remaining 32 half-height cards 1224 implement the low-speed converters 270 and 275 as transceivers. In this implementation, all tributaries 160 are optical fibers (i.e., either OC-3 or OC-12) and are accessible from the front of the low-speed converter cards 1224.

FIG. 12C is a detail of a high-speed shelf 1200. One card 1230 implements an optical transceiver (i.e., the O/E converter 220 and E/O converter 240), with the optical fibers carrying the optical high-speed channels 120 plugging into the front of this card 1230. Another card 1232 implements the RF up-converter 644 and RF down-converter 624. Nine cards 1234 are used for the IF up-converter 642 and IF down-converter 622, with the ninth providing redundancy. Another nine cards 1236 house the modulator 640 and demodulator 620, again with the ninth providing redundancy.

The modular physical layout shown in FIG. 12, coupled with the modularity of the FDM approach, simplifies servicing and reconfiguration. For example, if one of the IF cards 1234 fails, the FDM approach allows the control system 290 to easily reconfigure the ADM crosspoint 260 to re-route traffic to the redundant IF card while the failed card is replaced. The FDM node 400 remains functional during the replacement. As another example, if the primary ADM crosspoint card 1222 fails, control system 290 automatically routes traffic to the redundant ADM crosspoint card. As another example, if some of the tributaries use a protocol other than OC-3 or OC-12, some of the low-speed converter cards 1224 may be replaced with converter cards appropriate for the desired protocol. Alternate frequency maps or modulation schemes may also be implemented by replacing some or all of the modem, IF and/or RF cards 1236, 1234 or 1232.

Note that the modularity allows the mixing and matching of various schemes. For example, three of the IF cards 1234 may use one frequency map while the remaining five may use a different frequency map.

The modularity of the FDM approach also makes the overall system more flexible and scaleable. For example, frequency bands may be allocated to compensate for fiber characteristics. For a 70 km fiber, there is typically a null around 7 GHz. With the FDM approach, this null may be avoided simply by not allocating any frequency bands around this null to any low-speed channel 240. As a variant, each of the frequency bands may be amplified or attenuated independently of the others, for example in order to compensate for the transmission characteristics of that particular frequency band.

As a final example, additional capacity may be added to FDM node 400 simply by allocating additional frequency bands to the current frequency map and then adding the corresponding cards. Eight more low-speed channels at STS-3 data rates could be added by adding a ninth functioning IF card 1234 and modifying the RF card 1232 accordingly. The additional RF channel might be added at the high frequency 5472 MHz end of the current frequency mapping. Other variations will be apparent.

Various design tradeoffs are inherent in the design of a specific embodiment of FDM node 100 for use in a particular application. For example, the type of Reed Solomon encoding may be varied or other types of forward error correction codes (or none at all) may be used, depending on the system margin requirements. As another example, in one variation of QAM, the signal lattice is evenly spaced in

complex signal space but the total number of states in the QAM constellation is a design parameter which may be varied. The optimal choices of number of states and other design parameters for modulator/demodulator **640/620** will depend on the particular application. Furthermore, the modulation may differ on some or all of the low speed channels. For example, some of the channels may use PSK modulation, others may use 16-QAM, while still others may use an arbitrary complex constellation. The choice of a specific FDM implementation also involves a number of design tradeoffs, such as the choices of intermediate frequencies, whether to implement components in the digital or in the analog domain, and whether to use multiple stages to achieve the multiplexing.

As a numerical example, in one embodiment, a (187,204) Reed-Solomon encoding may be used with a rate  $\frac{3}{4}$  16-QAM trellis code. The (187,204) Reed-Solomon encoding transforms 187 bytes of data into 204 bytes of encoded data and the rate  $\frac{3}{4}$  16-QAM trellis code transforms 3 bits of information into a single 16-QAM symbol. In this example, a single low-speed channel **240B**, which has a base data rate of 155 Mbps would require a symbol rate of  $155 \text{ Mbps} \times (204/187) \times (\frac{1}{5}) = 56.6$  Megasymbols per second. Including an adequate guard band, a typical frequency band would be about 72 MHz to support this symbol rate. Suppose, however, that it is desired to decrease the bandwidth of each frequency band. This could be accomplished by changing the encoding and modulation. For example, a (188,205) Reed-Solomon code with a rate  $\frac{5}{6}$  64-QAM trellis code would require a symbol rate of  $155 \text{ Mbps} \times (205/188) \times (\frac{1}{5}) = 33.9$  Megasymbols per second or 43 MHz frequency bands, assuming proportional guard bands. Alternately, if 72 MHz frequency bands were retained, then the data rate could be increased.

As another example, an optical modulator **240** with better linearity will reduce unwanted harmonics and interference, thus increasing the transmission range of FDM node **100**. However, optical modulators with better linearity are also more difficult to design and to produce. Hence, the optimal linearity will depend on the particular application. An example of a system-level tradeoff is the allocation of signal power and gain between the various components. Accordingly, many aspects of the invention have been described in the context of preferred embodiment **400** but it should be understood that the invention is not limited to this specific embodiment.

FIG. **13** is a block diagram of another FDM node **1300** in accordance with the present invention. Node **1300** utilizes wavelength-division multiplexing (WDM) in conjunction with the FDM principles described above in order to further increase the data transported over a single fiber. Node **1300** includes a number of FDM nodes **100**, a wavelength division multiplexing (WDM) multiplexer **1310**, and a WDM demultiplexer **1320**. The outgoing high-speed channels **120B** of each FDM node **100** are coupled to the WDM multiplexer **1310**. As described previously, each FDM node **100** produces an optical high-speed channel **120B**, but each node **100** uses a different wavelength. For example, in FIG. **13**, optical high-speed channels **120B** are characterized by wavelengths  $\lambda_1 - \lambda_N$ . The various optical high-speed channels **120** are WDM multiplexed by WDM multiplexer **1310** to form the multi-wavelength optical channel **13501B**, which is transmitted across an optical fiber **1** (not shown). In the receive direction, WDM demultiplexer **1320** separates an incoming multi-wavelength channel **1350A** into its constituent high-speed channels **120A** using WDM techniques, which are fed to the corresponding FDM nodes **100** and then processed as described previously.

In an alternate embodiment, not all of the nodes **100** comprising node **1300** must be FDM nodes. For example, some of the nodes may be based in part or in full on TDM. FDM nodes **100** and TDM nodes may be combined in order to take advantage of the flexibility of FDM nodes while still making use of legacy TDM nodes. Other combinations and types of nodes, including ones based on approaches other than FDM or TDM, may be used.

It should be noted that the embodiments described above are exemplary only and many other alternatives will be apparent. For example, the various functionalities shown above may be switched in order. For example, in preferred embodiment **400**, the tributaries **160** and low-speed channels **240,250** were digital signals, and the ADM crosspoint **260** implemented the add/drop functionality on these digital signals. In the transmit direction, the high-speed systems **200** modulate a carrier with the digital low-speed channels **240B**, producing an analog signal; while in the receive direction, the high-speed system **200** demodulates the received analog signal to produce the digital low-speed channels **240A**. In an alternate embodiment, the modulation/demodulation occurs on the tributary side of the ADM crosspoint **260** rather than on the high-speed system side. As a result, the low-speed channels **240,250**, are analog signals and the ADM crosspoint **260** implements the add/drop functionality on these analog signals. In the transmit direction, the tributaries **160B** are modulated to produce analog low-speed channels **250B**, possibly but not necessarily at baseband. These analog low-speed channels **250B** would then enter the ADM crosspoint **260** to be add/dropped. Similarly, in the receive direction, incoming analog low-speed channels **240** would first be add/dropped by ADM crosspoint **260** before being demodulated into the corresponding digital tributaries **160**. One advantage of this approach is that no modulation/demodulation is required for channels which are passed-through a node. Alternately, the tributaries **160** themselves could be analog signals.

In a variant of the above alternative, the analog low-speed channels **250,240** are sampled on the tributary side of ADM crosspoint **260**. In other words, the low-speed channels **250,240** are modulated digital signals. This allows the ADM crosspoint **260** to implement the add/drop functionality on digital signals, while also preserving the advantage of not requiring any modulation/demodulation for channels which are being passed-through a node.

As another example, the discussion of embodiment **400** noted that the frequency division multiplexing preferably was implemented in two stages: a first stage multiplexing low-speed channels into RF channels, and a second stage multiplexing the RF channels into the RF electrical high-speed channel. In embodiment **400**, the ADM crosspoint **260** was located on the tributary side of both of these stages. In an alternate embodiment, the ADM crosspoint **260** is located between these two stages. In this case, the "low-speed channels" to the ADM crosspoint **260** are actually the RF channels and the ADM crosspoint **260** implements the add/drop functionality on these RF channels.

As yet another example, in the embodiments discussed above, the low-speed channels **240** were combined into an electrical high-speed channel using solely frequency division multiplexing. For example, in embodiment **400**, each of the 64 low-speed channels **240B** was effectively placed on a carrier of a different frequency and these 64 carriers were then effectively combined into a single electrical high-speed channel solely on the basis of different carrier frequencies. This is not meant to imply that the invention is limited solely to frequency division multiplexing to the exclusion of all

other approaches for combining signals. In fact, in alternate embodiments, other approaches may be used in conjunction with frequency division multiplexing. For example, in one approach, the 64 low-speed channels **240B** of FIG. 4 may be combined into a single high-speed channel **120B** in two stages, only the second of which is based on frequency division multiplexing. In particular, the 64 low-speed channels **240B** are divided into 16 groups of 4 channels each. Within each group, the 4 channels are combined into a single signal using 16-QAM (quadrature amplitude modulation). The resulting QAM-modulated signals are frequency-division multiplexed to form the electrical high-speed channel.

As a final example, it should be clear that the tributaries **160** may themselves be combinations of signals. For example, some or all of the OC-3/OC-12 tributaries **160** in embodiment **400** may be the result of combining several lower data rate signals, using either frequency division multiplexing or other techniques. In one approach, time division multiplexing may be used to combine several lower data rate signals into a single OC-3 signal, which serves as a tributary **160** for embodiment **400**.

Although the invention has been described in considerable detail with reference to certain preferred embodiments thereof, other embodiments are possible. Therefore, the scope of the appended claims should not be limited to the description of the preferred embodiments contained herein.

What is claimed is:

1. An Frequency-Division multiplexing FDM node for use in optical communications networks comprising:
  - an optical to electrical O/E converter for converting a first optical high-speed channel to a first electrical high-speed channel;
  - a frequency division demultiplexer coupled to the O/E converter for frequency division demultiplexing the first electrical high-speed channel into a first plurality of low-speed channels;
  - an electrical add-drop multiplexing ADM crosspoint having a plurality of inputs and outputs, a first set of the inputs coupled to the frequency division demultiplexer, the ADM crosspoint for switchably coupling the inputs to the outputs;
  - a frequency division multiplexer coupled to a first set of the outputs of the ADM crosspoint for converting a second plurality of low-speed channels into a second electrical high-speed channel; and
  - an electrical to optical E/O converter coupled to the frequency division multiplexer for converting the second electrical high-speed channel to a second optical high-speed channel.
2. The device of claim 1 wherein the first and second low-speed channels conform to an synchronous transport signal STS protocol.
3. The device of claim 1 wherein the frequency division multiplexer comprises:
  - a Quadrature amplitude modulation QAM modulator for QAM modulating the second plurality of low-speed channels.
4. The device of claim 1 wherein the frequency division multiplexer comprises:
  - an intermediate Frequency IF up-converter coupled to the first set of outputs of the ADM crosspoint for frequency division multiplexing a plurality of IF channels into a plurality of radio Frequency RF channels, the IF channels based on the second low-speed channels, and
  - an RF up-converter coupled to the IF up-converter for frequency division multiplexing the plurality of RF channels into the second electrical high-speed channel.

5. The device of claim 1 wherein the frequency division multiplexer comprises:

- a plurality of variable gain blocks for independently adjusting an amplitude of each of the second low-speed channels.

6. The device of claim 1 wherein the frequency division multiplexer converts the second low-speed channels into the second electrical high-speed channel according to a frequency mapping in which each low-speed channel is allocated a specific frequency band within the second electrical high-speed channel and the frequency bands are not all contiguous.

7. The device of claim 1 wherein the frequency division multiplexer converts the second low-speed channels into the second electrical high-speed channel according to a frequency mapping in which each low-speed channel is allocated a specific frequency band within the second electrical high-speed channel and the number of low-speed channels may be varied by varying the number of frequency bands in the second electrical high-speed channel.

8. The device of claim 1 wherein the frequency division multiplexer comprises:

- a modulator for applying a modulation to each of the second low-speed channels, the modulation independently selectable for each second low-speed channel.

9. The device of claim 1 wherein the second optical high-speed channel is characterized by a wavelength in the 1.3 micron region.

10. The device of claim 1 wherein the second optical high-speed channel is characterized by a wavelength in the 1.55 micron region.

- 11. The device of claim 1 further comprising a wavelength division multiplexer coupled to the E/O converter for combining the second optical high-speed channel with other optical high-speed channels at other wavelengths.

12. The device of claim 1 wherein the ADM crosspoint is further for switchably coupling any input to any output.

13. The device of claim 1 wherein the ADM crosspoint is non-blocking.

- 14. The device of claim 1 further comprising a low-speed input converter coupled to a second set of inputs to the ADM crosspoint, for converting tributaries received by the low-speed input converter to low-speed channels.

15. The device of claim 14 wherein the tributaries are characterized by at least two different data rates.

16. The device of claim 14 wherein the tributaries are characterized by at least two different communications protocols.

17. An Frequency-division multiplexing FDM node for use in optical communications networks comprising:

- a quadrature amplitude modulation QAM modulator for QAM modulating a plurality of low-speed channels into a plurality of FDM channels, at least one of the low-speed channels characterized by a data rate greater than 100 million bits per second;
- a frequency division multiplexer coupled to the QAM modulator for converting the FDM channels into an electrical high-speed channel; and
- an electric to optical E/O converter coupled to the frequency division multiplexer for converting the electrical high-speed channel to an optical high-speed channel.

18. The device of claim 17 wherein the low-speed channels conform to an synchronous transport signal STS protocol.

19. The device of claim 17 further comprising:  
a forward error correction encoder coupled to the QAM modulator for applying a forward error correct code to the low-speed channels.
20. The device of claim 17 further comprising  
a wavelength division multiplexer coupled to the E/O converter for combining the optical high-speed channel with other optical high-speed channels at other wavelengths.
21. The device of claim 17 further comprising  
a low-speed input converter coupled to the QAM modulator for converting tributaries received by the low-speed input converter to the low-speed channels.
22. The device of claim 21 wherein the tributaries are characterized by at least two different data rates.
23. The device of claim 21 wherein the tributaries are characterized by at least two different communications protocols.
24. An Frequency-division multiplexing FDM node for use in optical communications networks comprising:  
an optical to electrical O/E converter for converting an optical high-speed channel to an electrical high-speed channel;  
a frequency division demultiplexer coupled to the O/E converter for frequency division demultiplexing the electrical high-speed channel into a plurality of FDM channels;  
a Quadrature amplitude modulation QAM demodulator coupled to the frequency division demultiplexer for QAM demodulating the FDM channels into a plurality of low-speed channels, at least one of the low-speed channels characterized by a data rate greater than 100 million bits per second.
25. The device of claim 24 wherein the low-speed channels conform to an synchronous transport signal STS protocol.
26. The device of claim 24 further comprising  
a wavelength division demultiplexer coupled to the E/O converter for separating the optical high-speed channel from a multi-wavelength optical channel containing a plurality of optical high-speed channels.
27. The device of claim 24 further comprising  
a low-speed output converter coupled to the QAM demodulator for converting the low-speed channels to tributaries.
28. The device of claim 27 wherein the tributaries are characterized by at least two different data rates.
29. The device of claim 27 wherein the tributaries are characterized by at least two different communications protocols.
30. In an optical communications networks, a method for transporting data comprising:  
receiving a first optical high-speed channel;  
converting the first optical high-speed channel to a first electrical high-speed channel;  
frequency division demultiplexing the first electrical high-speed channel into a plurality of first low-speed channels, the first low-speed channels to be passed-through to a second optical high-speed channel;  
switchably coupling the first low-speed channels to second low-speed channels;  
frequency division multiplexing the second low-speed channels to produce a second electrical high-speed channel; and  
converting the second electrical high-speed channel to a second optical high-speed channel.

31. The method of claim 30 wherein the first and second low-speed channels conform to an STS protocol.
32. The method of claim 30 wherein the step of frequency division multiplexing comprises:  
5 QAM modulating the second low-speed channels.
33. The method of claim 30 wherein the step of frequency division multiplexing comprises:  
10 frequency division multiplexing a plurality of intermediate Frequency IF channels into a plurality of radio Frequency RF channels, the IF channels based on the second low-speed channels, and  
frequency division multiplexing the plurality of RF channels into the second electrical high-speed channel.
34. The method of claim 30 wherein the step of frequency division multiplexing comprises:  
15 independently adjusting an amplitude of each of the second low-speed channels.
35. The method of claim 30 wherein the step of frequency division multiplexing comprises:  
20 frequency division multiplexing the second low-speed channels into the second electrical high-speed channel according to a frequency mapping in which each low-speed channel is allocated a specific frequency band within the second electrical high-speed channel and the frequency bands are not all contiguous.
36. The method of claim 30 wherein the step of frequency division multiplexing comprises:  
frequency division multiplexing the second low-speed channels into the second electrical high-speed channel according to a frequency mapping in which each low-speed channel is allocated a specific frequency band within the second electrical high-speed channel; and  
varying the number of frequency bands in the second electrical high-speed channel responsive to variations in the number of low-speed channels.
37. The method of claim 30 wherein the step of frequency division multiplexing comprises:  
40 applying a modulation to each of the second low-speed channels, the modulation independently selectable for each second low-speed channel.
38. The method of claim 30 wherein the second optical high-speed channel is characterized by a wavelength in the 1.3 micron region.
39. The method of claim 30 wherein the second optical high-speed channel is characterized by a wavelength in the 1.55 micron region.
40. The method of claim 30 further comprising:  
50 wavelength division multiplexing the second optical high-speed channel with other optical high-speed channels to form a multi-wavelength optical channel.
41. The method of claim 30 wherein the step of switchably coupling the first low-speed channels to second low-speed channels comprises switchably coupling any first low-speed channel to any second low-speed channel.
42. The method of claim 30 wherein the step of switchably coupling the first low-speed channels to second low-speed channels comprises at least one step of the group consisting of:  
60 switchably coupling multiple first low-speed channels to a single second low-speed channel; and  
switchably coupling a single first low-speed channels to multiple second low-speed channels.
43. The method of claim 30 further comprising:  
65 receiving a plurality of tributaries to be added to the second optical high-speed channel;

converting the tributaries to third low-speed channels; and switchably coupling the third low-speed channels to the second low-speed channels.

44. The method of claim 43 wherein the tributaries are characterized by at least two different data rates.

45. The method of claim 43 wherein the tributaries are characterized by at least two different communications protocols.

46. In an optical communications networks, a method for transmitting data comprising:

receiving a plurality of low-speed channels;

Quadrature amplitude modulation QAM modulating the low-speed channels into a plurality of Frequency division multiplexing FDM channels, at least one of the low-speed channels characterized by a data rate greater than 100 million bits per second;

a frequency division multiplexing the FDM channels into an electrical high-speed channel; and

converting the electrical high-speed channel to an optical high-speed channel.

47. The method of claim 46 wherein the low-speed channels conform to an synchronous transport signal STS protocol.

48. The method of claim 46 further comprising: applying a forward error correct code to the low-speed channels.

49. The method of claim 46 further comprising wavelength division multiplexing the optical high-speed channel with other optical high-speed channels to form a multi-wavelength optical channel.

50. The method of claim 46 further comprising receiving a plurality of tributaries; and converting the tributaries to the low-speed channels.

51. The method of claim 50 wherein the tributaries are characterized by at least two different data rates.

52. The method of claim 50 wherein the tributaries are characterized by at least two different communications protocols.

53. In an optical communications networks, a method for receiving data comprising:

receiving an optical high-speed channel;

converting the optical high-speed channel to an electrical high-speed channel;

frequency division demultiplexing the electrical high-speed channel into a plurality of Frequency-division multiplexing FDM channels;

quadrature amplitude modulation QAM demodulating the FDM channels into a plurality of low-speed channels, at least one of the low-speed channels characterized by a data rate greater than 100 million bits per second.

54. The method of claim 53 wherein the low-speed channels conform to an STS protocol.

55. The method of claim 53 further comprising receiving a multi-wavelength optical channel; and wavelength division demultiplexing the multi-wavelength optical channel into a plurality of optical high-speed channels.

56. The method of claim 53 further comprising converting the low-speed channels to tributaries.

57. The method of claim 56 wherein the tributaries are characterized by at least two different data rates.

58. The method of claim 56 wherein the tributaries are characterized by at least two different communications protocols.

\* \* \* \* \*