

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7543733号
(P7543733)

(45)発行日 令和6年9月3日(2024.9.3)

(24)登録日 令和6年8月26日(2024.8.26)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 J 14/02 (2006.01)

H 0 4 J 14/02 1 9 8

請求項の数 5 (全23頁)

(21)出願番号	特願2020-116247(P2020-116247)	(73)特許権者	000005223
(22)出願日	令和2年7月6日(2020.7.6)		富士通株式会社
(65)公開番号	特開2022-14092(P2022-14092A)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(43)公開日	令和4年1月19日(2022.1.19)	(74)代理人	110004185
審査請求日	令和5年4月7日(2023.4.7)		インフォート弁理士法人
		(74)代理人	100121083
			弁理士 青木 宏義
		(74)代理人	100138391
			弁理士 天田 昌行
		(74)代理人	100074099
			弁理士 大菅 義之
		(72)発明者	ゴー ハーアン
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光伝送装置および光伝送方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに異なるキャリア周波数が割り当てられた複数のノードを含む光ネットワークにおいて、前記複数のノードの中の第1のノードに設けられる光伝送装置であって、

前記第1のノードに割り当てられた第1のキャリア周波数の局発光を生成する第1の光源と、

前記局発光を使用して、前記第1のキャリア周波数の低周波数側に設定される第1のサブキャリアにおいて第1のサブキャリア光信号を生成し、前記第1のキャリア周波数の高周波数側に設定される第2のサブキャリアにおいて第2のサブキャリア光信号を生成する送信部と、

前記第1のサブキャリア光信号および前記第2のサブキャリア光信号を含む光信号を分岐して、第1の隣接ノードに送信される第1の光信号および第2の隣接ノードに送信される第2の光信号を生成する光スプリッタと、

前記第1の隣接ノードから受信する光信号および前記第2の隣接ノードから受信する光信号を合波する光カプラと、

前記局発光を使用して、前記光カプラの出力光信号から、前記第1のサブキャリアにより伝送された第1の受信信号および前記第2のサブキャリアにより伝送された第2の受信信号を再生する受信部と、を備え、

前記第1の光源の周波数と前記第1の隣接ノードの光源の周波数との差分は、前記第1のサブキャリアの帯域幅に対応する

ことを特徴とする光伝送装置。

【請求項 2】

前記第 1 のキャリア周波数と前記第 1 の隣接ノードに割り当てられたキャリア周波数との差分は、前記第 1 のサブキャリアの帯域幅と同じであり、前記第 1 のキャリア周波数と前記第 2 の隣接ノードに割り当てられたキャリア周波数との差分は、前記第 2 のサブキャリアの帯域幅と同じである

ことを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送装置。

【請求項 3】

前記第 1 のサブキャリアの帯域幅および前記第 2 のサブキャリアの帯域幅は互いに同じであり、

前記第 1 のサブキャリアは、前記第 1 のキャリア周波数の低周波数側に隣接して設定され、前記第 2 のサブキャリアは、前記第 1 のキャリア周波数の高周波数側に隣接して設定される

ことを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送装置。

【請求項 4】

前記第 1 のサブキャリアの帯域幅および前記第 2 のサブキャリアの帯域幅は、前記送信部および前記受信部を含む光送受信機の最大通信帯域の 2 分の 1 である

ことを特徴とする請求項 3 に記載の光伝送装置。

【請求項 5】

互いに異なるキャリア周波数が割り当てられた複数のノードを含む光ネットワークにおいて、前記複数のノードの中の第 1 のノードに設けられる光伝送装置により使用される光伝送方法であって、

前記第 1 のノードに割り当てられた第 1 のキャリア周波数の局発光を生成する第 1 の光源を使用して、前記第 1 のキャリア周波数の低周波数側に設定される第 1 のサブキャリアで伝送される第 1 のサブキャリア光信号および前記第 1 のキャリア周波数の高周波数側に設定される第 2 のサブキャリアで伝送される第 2 のサブキャリア光信号を含む送信光信号を出力し、

光スプリッタを用いて前記送信光信号を分岐して第 1 の光信号および第 2 の光信号を生成し、

前記第 1 の光信号および前記第 2 の光信号をそれぞれ第 1 の隣接ノードおよび第 2 の隣接ノードに送信し、

光カプラを用いて前記第 1 の隣接ノードから受信する光信号および前記第 2 の隣接ノードから受信する光信号を合波し、

前記第 1 の光源を使用して、前記光カプラの出力光信号から、前記第 1 のサブキャリアにより伝送された第 1 の受信信号および前記第 2 のサブキャリアにより伝送された第 2 の受信信号を再生し、

前記第 1 の光源の周波数と前記第 1 の隣接ノードの光源の周波数との差分は、前記第 1 のサブキャリアの帯域幅に対応する

ことを特徴とする光伝送方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光伝送装置および光伝送方法に係わる。

【背景技術】

【0002】

図 1 は、従来の光通信システムの一例を示す。この光通信システムは、光ファイバにより接続された複数のノードを備える。複数のノードは、リングネットワークを構成する。リングネットワークは、時計回り方向および反時計回り方向に光信号を伝送することができる。

【0003】

10

20

30

40

50

各ノードには、光伝送装置が設けられる。光伝送装置は、2個の光送受信機を備える。この実施例では、光送受信機は、トランスポンダ（TR）により実現される。すなわち、光伝送装置は、2個のトランスポンダを備える。トランスポンダは、隣接ノードに光信号を送信し、また、隣接ノードから光信号を受信する。例えば、ノード#2に実装される光伝送装置は、トランスポンダTR1およびトランスポンダTR2を備える。トランスポンダTR1は、ノード#1に光信号を送信し、ノード#1から光信号を受信する。トランスポンダTR2は、ノード#3に光信号を送信し、ノード#3から光信号を受信する。

【0004】

各ノードにおいて、光伝送装置にスイッチ回路（SW/IF）が接続される。スイッチ回路は、複数のクライアントを収容することができる。また、スイッチ回路は、光通信システムとクライアントとの間のインタフェースを提供する。

10

【0005】

なお、様々な光伝送方式が提案されている（例えば、特許文献1～4）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】米国公開2019/0245627

【文献】特開2017-158031号公報

【文献】特開2015-220590号公報

【文献】特表2013-505676号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

近年、大容量のトランスポンダが開発されている。例えば、400～800Gbpsのトランスポンダが実用化されている。そして、人口密度が高い市街地では、大きな通信容量が要求されるので、光ネットワークの各ノードに大容量のトランスポンダが実装されることが好ましい。ところが、地域によっては要求される通信容量は大きくない。例えば、郊外（Rural Area）で要求される通信容量は100～300Gbps程度である。このため、人口密度が高い市街地と同様に、要求される通信容量が大きい地域の光ネットワークに大容量のトランスポンダを実装すると、トランスポンダの能力が十分に活用されず、帯域（または、スペクトル）の利用効率が低くなることがある。この場合、光ネットワークを構築するためのコストが必要以上に高くなってしまふ。特に、図1に示す光リングネットワークを構築する場合、各ノードに2個のトランスポンダが設けられる。あるいは、光分岐挿入装置（Fixed Optical Add Drop Multiplexer / Re-configurable Optical Add Drop Multiplexer）を増設する必要がある。したがって、各トランスポンダのスペクトル利用効率が低くなり、光伝送装置のコストが高くなる。

30

【0008】

本発明の1つの側面に係わる目的は、スペクトルの利用効率が高い光伝送装置および光伝送方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

40

【0009】

本発明の1つの態様に係わる光伝送装置は、互いに異なるキャリア周波数が割り当てられた複数のノードを含む光ネットワークにおいて、前記複数のノードの中の第1のノードに設けられる。この光伝送装置は、前記第1のノードに割り当てられた第1のキャリア周波数の局発光を生成する第1の光源と、前記局発光を使用して、前記第1のキャリア周波数の低周波数側に設定される第1のサブキャリアにおいて第1のサブキャリア光信号を生成し、前記第1のキャリア周波数の高周波数側に設定される第2のサブキャリアにおいて第2のサブキャリア光信号を生成する送信部と、前記第1のサブキャリア光信号および前記第2のサブキャリア光信号を含む光信号を分岐して、第1の隣接ノードに送信される第1の光信号および第2の隣接ノードに送信される第2の光信号を生成する光スプリッタと

50

、前記第 1 の隣接ノードから受信する光信号および前記第 2 の隣接ノードから受信する光信号を合波する光カプラと、前記局発光を使用して、前記光カプラの出力光信号から、前記第 1 のサブキャリアにより伝送された第 1 の受信信号および前記第 2 のサブキャリアにより伝送された第 2 の受信信号を再生する受信部と、を備える。前記第 1 の光源の周波数と前記第 1 の隣接ノードの光源の周波数との差分は、前記第 1 のサブキャリアの帯域幅に対応する。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

上述の態様によれば、光伝送装置のスペクトルの利用効率が高くなる。

【図面の簡単な説明】

10

【 0 0 1 1 】

【図 1】従来の光通信システムの一例を示す図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す図である。

【図 3】各ノードに割り当てられるキャリア周波数およびサブキャリアの一例を示す図である。

【図 4】各ノードにおける受信動作を説明する図である。

【図 5】光伝送装置の一例を示す図である。

【図 6】光伝送装置に実装されるトランスポンダの送信部の一例を示す図である。

【図 7】光伝送装置に実装されるトランスポンダの送信部の一例を示す図である。

【図 8】周波数シフトの動作を説明する図である。

20

【図 9】周波数シフトの一例を示す図である。

【図 10】第 1 の実施形態に係わる光通信システムのバリエーションを示す図である。

【図 11】本発明の第 2 の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す図である。

【図 12】本発明の第 3 の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す図である。

【図 13】本発明の第 4 の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す図である。

【図 14】サイクリックフィルタで光フィルタを実現する例を示す図である。

【図 15】本発明の第 5 の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す図である。

【図 16】他の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す図である。

【図 17】本発明の実施形態の効果を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

30

【 0 0 1 2 】

< 第 1 の実施形態 >

図 2 は、本発明の第 1 の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す。この実施例では、第 1 の実施形態に係わる光通信システム 100 は、ノード # 1 ~ # 5 を含む。ノード # 1 ~ # 5 は、光ファイバにより接続され、光リングネットワークを構成する。光リングネットワークは、時計回り方向および反時計回り方向に光信号を伝送できる。

【 0 0 1 3 】

各ノードには、光伝送装置 1 が設けられる。ただし、ノード # 1 ~ # 5 のうちの 1 つのノードには、光伝送装置 2 が設けられる。この実施例では、ノード # 1 ~ # 4 にそれぞれ光伝送装置 1 が設けられ、ノード # 5 に光伝送装置 2 が設けられている。

40

【 0 0 1 4 】

光伝送装置 1 は、トランスポンダ T R、光スプリッタ S P T、および光カプラ C P L を備える。尚、光伝送装置 1 は、図 2 に示していない他の回路または機能を備えてもよい。また、光伝送装置 1 にはスイッチ回路 S W / I F が接続される。スイッチ回路 S W / I F は、複数のクライアントを収容することができる。そして、スイッチ回路 S W / I F は、光通信システム 100 とクライアントとの間のインタフェースを提供する。

【 0 0 1 5 】

光伝送装置 2 は、トランスポンダ T R a、T R b を備える。なお、光伝送装置 2 は、図 2 に示していない他の回路または機能を備えてもよい。また、光伝送装置 1 と同様に、光伝送装置 2 にもスイッチ回路 S W / I F が接続される。

50

【 0 0 1 6 】

上記構成の光通信システム 1 0 0 において、ノード # 1 ~ # 5 には、互いに異なるキャリア周波数（又は、波長）が割り当てられる。この実施例では、ノード # 1 ~ # 5 に対してそれぞれキャリア周波数 $f_1 \sim f_5$ が割り当てられる。なお、光伝送装置 2 が実装されるノード # 5 には、キャリア周波数 f_5 に加えてキャリア周波数 f_1 も割り当てられる。

【 0 0 1 7 】

ノード # 1 ~ # 5 に割り当てられるキャリア周波数 $f_1 \sim f_5$ は、図 3 に示すように、等間隔で設定される。この実施例では、キャリア周波数 $f_1 \sim f_5$ が設定される周波数間隔 Δf は、トランスポンダ T R の最大通信帯域の 2 分の 1 または約 2 分の 1 である。したがって、例えば、トランスポンダ T R の最大通信帯域が 8 0 0 G b p s であるときには、 Δf は、4 0 0 G b p s または約 4 0 0 G b p s である。なお、トランスポンダ T R の最大通信帯域は、トランスポンダ T R の通信容量または最大通信送信レートに相当する。また、トランスポンダ T R がデジタル信号処理器（D S P）を用いて信号を処理するときには、トランスポンダ T R の最大通信帯域は、D S P の処理能力に相当する。

【 0 0 1 8 】

各ノード # 1 ~ # 4 は、2 つのサブキャリアを使用してデータを隣接ノードに送信することができる。ここで、各ノード # 1 ~ # 4 は、割り当てられたキャリア周波数に対応する 2 つのサブキャリアを使用する。具体的には、ノード # i （ $i = 1 \sim 4$ ）は、キャリア周波数 f_i の低周波数側に隣接して設けられるサブキャリアおよびキャリア周波数 f_i の高周波数側に隣接して設けられるサブキャリアを使用する。

【 0 0 1 9 】

例えば、ノード # 1 には、キャリア周波数 f_1 が割り当てられる。したがって、ノード # 1 は、図 2 に示すように、サブキャリア B 1 およびサブキャリア B 2 を使用してデータを送信することができる。なお、サブキャリア B 1 はキャリア周波数 f_1 の低周波数側に隣接して設定され、サブキャリア B 2 はキャリア周波数 f_1 の高周波数側に隣接して設定される。同様に、ノード # 2 は、キャリア周波数 f_2 に隣接するサブキャリア B 2 およびサブキャリア B 3 を使用してデータを送信する。ノード # 3 は、キャリア周波数 f_3 に隣接するサブキャリア B 3 およびサブキャリア B 4 を使用してデータを送信する。ノード # 4 は、キャリア周波数 f_4 に隣接するサブキャリア B 4 およびサブキャリア B 5 を使用してデータを送信する。ノード # 5 については、後で記載する。

【 0 0 2 0 】

各ノード # 1 ~ # 4 は、1 組の隣接ノードに送信するデータを 1 組のサブキャリアに割り当てる。例えば、ノード # 1 は、ノード # 5 に送信するデータをサブキャリア B 1 に割り当て、ノード # 2 に送信するデータをサブキャリア B 2 に割り当てる。そして、各ノード # 1 ~ # 4 は、1 組のサブキャリアを使用して 1 組のサブキャリア光信号を生成する。例えば、ノード # 1 は、サブキャリア光信号 B 1 およびサブキャリア光信号 B 2 を生成する。そして、トランスポンダ T R は、生成した 1 組のサブキャリア光信号を合波して出力する。以下の記載では、サブキャリア光信号 B i およびサブキャリア光信号 B j を合波することで得られる光信号を「サブキャリア光信号 B $i + B j$ 」と呼ぶことがある。

【 0 0 2 1 】

各ノード # 1 ~ # 4 において、トランスポンダ T R から出力される光信号は、光スプリッタ S P T により分岐され、1 組の隣接ノードに送信される。このとき、1 組の隣接ノードに同じ光信号が送信される。例えば、ノード # 1 は、サブキャリア光信号 B 1 + B 2 を生成する。よって、ノード # 1 からノード # 2 にサブキャリア光信号 B 1 + B 2 が送信され、また、ノード # 1 からノード # 5 にもサブキャリア光信号 B 1 + B 2 が送信される。同様に、ノード # 2 からノード # 1 およびノード # 3 にサブキャリア光信号 B 2 + B 3 が送信される。ノード # 3 からノード # 2 およびノード # 4 にサブキャリア光信号 B 3 + B 4 が送信される。ノード # 4 からノード # 3 およびノード # 5 にサブキャリア光信号 B 4 + B 5 が送信される。

【 0 0 2 2 】

なお、あるノードにおいて、そのノードに割り当てられたキャリア周波数に対して設定される2つのサブキャリアの帯域幅は、互いに同じである。また、あるノードに割り当てられたキャリア周波数とそのノードの隣接ノードに割り当てられたキャリア周波数との差分は、サブキャリアの帯域幅と同じまたはほぼ同じである。

【0023】

各ノード#1～#4は、隣接ノードから受信する光信号からデータを再生する。このとき、各ノード#1～#4は、一方の隣接ノードから受信する光信号および他方の隣接ノードから受信する光信号を合波する。そして、合波された光信号に基づいて、一方の隣接ノードから送信されたデータおよび他方の隣接ノードから送信されたデータを再生する。

【0024】

例えば、ノード#2は、図2に示すように、ノード#1からサブキャリア光信号B1+B2を受信し、ノード#3からサブキャリア光信号B3+B4を受信する。そうすると、サブキャリア光信号B1+B2およびサブキャリア光信号B3+B4は、光カプラCPLにより合波される。よって、ノード#2のトランスポンダTRは、図4(b)に示すように、サブキャリアB1～B4を受信することになる。また、ノード#2は、局発光を利用して、受信光信号をベースバンド信号に変換する。ここで、ノード#2にはキャリア周波数 f_2 が割り当てられているので、ノード#2においては、キャリア周波数 f_2 の局発光が生成される。他方、トランスポンダTRの最大通信帯域は、この実施例では、各サブキャリアの帯域幅の2倍である。したがって、ノード#2においては、キャリア周波数 f_2 を中心として、サブキャリアの帯域幅の2倍の周波数領域の信号が抽出される。具体的には、ノード#2においては、図4(b)に示すように、サブキャリアB2およびサブキャリアB3が抽出される。

【0025】

ノード#2は、抽出したサブキャリアからそれぞれデータを再生する。具体的には、ノード#1から送信されるデータがサブキャリアB2から再生され、ノード#3から送信されるデータがサブキャリアB3から再生される。

【0026】

同様に、ノード#3は、図2に示すように、ノード#2からサブキャリア光信号B2+B3を受信し、ノード#4からサブキャリア光信号B4+B5を受信する。また、ノード#3は、キャリア周波数 f_3 の局発光を使用して光信号を受信する。そして、ノード#3においては、図4(c)に示すように、サブキャリアB3およびサブキャリアB4が抽出される。したがって、ノード#3においては、ノード#2から送信されるデータがサブキャリアB3から再生され、ノード#4から送信されるデータがサブキャリアB4から再生される。

【0027】

上述したように、第1の実施形態に係わる光通信システム100においては、各ノード#1～#5に割り当てられるキャリア周波数が Δf ずつ順番にシフトする。ただし、この場合、ノード#1～#5のうちのいずれか1つのノードにおいて、一方の隣接ノードとの通信で使用するサブキャリアの周波数と他方の隣接ノードとの通信で使用するサブキャリアの周波数との差分が大きくなる。図2に示すケースでは、ノード#5において、ノード#1との通信で使用するサブキャリアB1の中心周波数とノード#4との通信で使用するサブキャリアB5の中心周波数との差分が、トランスポンダTRの最大通信帯域より大きい。このため、ノード#5においては、1つのトランスポンダTRを用いて2つの隣接ノードと通信を行うことはできない。よって、ノード#5においては、2つのトランスポンダTRa、TRbが設けられ、2つのキャリア周波数 f_1 、 f_5 が割り当てられる。そして、トランスポンダTRaはキャリア周波数 f_1 を使用してサブキャリア通信を行い、トランスポンダTRbはキャリア周波数 f_5 を使用してサブキャリア通信を行う。

【0028】

具体的には、ノード#5において、トランスポンダTRaは、サブキャリア光信号B1を生成してノード#1に送信する。また、トランスポンダTRbは、サブキャリア光信号

10

20

30

40

50

B 5 を生成してノード # 4 に送信する。

【 0 0 2 9 】

この場合、ノード # 1 は、図 2 に示すように、ノード # 5 からサブキャリア光信号 B 1 を受信し、ノード # 2 からサブキャリア光信号 B 2 + B 3 を受信する。また、ノード # 1 は、キャリア周波数 f_1 の局発光を使用して光信号を受信する。そして、ノード # 1 においては、図 4 (a) に示すように、サブキャリア B 1 およびサブキャリア B 2 が抽出される。したがって、ノード # 1 においては、ノード # 5 から送信されるデータがサブキャリア B 1 から再生され、ノード # 2 から送信されるデータがサブキャリア B 2 から再生される。

【 0 0 3 0 】

ノード # 4 は、図 2 に示すように、ノード # 3 からサブキャリア光信号 B 3 + B 4 を受信し、ノード # 5 からサブキャリア光信号 B 5 を受信する。また、ノード # 4 は、キャリア周波数 f_4 の局発光を使用して光信号を受信する。そして、ノード # 4 においては、図 4 (d) に示すように、サブキャリア B 4 およびサブキャリア B 5 が抽出される。したがって、ノード # 4 においては、ノード # 3 から送信されるデータがサブキャリア B 4 から再生され、ノード # 5 から送信されるデータがサブキャリア B 5 から再生される。

【 0 0 3 1 】

ノード # 5 は、図 2 に示すように、ノード # 4 からサブキャリア光信号 B 4 + B 5 を受信し、ノード # 1 からサブキャリア光信号 B 1 + B 2 を受信する。このとき、図 4 (e) に示すように、トランスポンダ T R a は、キャリア周波数 f_1 の局発光を使用して光信号を受信し、トランスポンダ T R b は、キャリア周波数 f_5 の局発光を使用して光信号を受信する。そうすると、トランスポンダ T R a によりサブキャリア B 1 およびサブキャリア B 2 が抽出される。ただし、サブキャリア B 2 は、ノード # 2 に送信されるデータを伝送する。よって、トランスポンダ T R a は、サブキャリア B 1 からデータを再生するが、サブキャリア B 2 からはデータを再生しない。一方、トランスポンダ T R b は、サブキャリア B 5 を抽出する。そして、トランスポンダ T R b は、サブキャリア B 5 からデータを再生する。すなわち、ノード # 5 においては、ノード # 1 から送信されるデータがサブキャリア B 1 から再生され、ノード # 4 から送信されるデータがサブキャリア B 5 から再生される。

【 0 0 3 2 】

図 5 は、光伝送装置 1 の一例を示す。光伝送装置 1 は、この例では、トランスポンダ 1 0、光スプリッタ S P T、光カブラ C P L、パケットスイッチ 2 0 を備える。なお、光伝送装置 1 は、図 5 に示していない他の要素を備えてもよい。また、図 5 に示す例ではパケットスイッチ 2 0 は光伝送装置 1 に含まれているが、パケットスイッチ 2 0 は光伝送装置 1 に接続されてもよい。光伝送装置 1 は、図 2 に示す光通信システム 1 0 0 においては、各ノード # 1 ~ # 4 に設けられる。

【 0 0 3 3 】

パケットスイッチ 2 0 は、クライアントから受信するパケットをトランスポンダ 1 0 に導く。また、パケットスイッチ 2 0 は、トランスポンダ 1 0 から出力されるパケットを対応するクライアントに導く。ただし、パケットの宛先によっては、パケットスイッチ 2 0 は、トランスポンダ 1 0 から受信するパケットをトランスポンダ 1 0 に戻す。

【 0 0 3 4 】

トランスポンダ 1 0 は、インタフェース 1 1、フレーマ 1 2、デジタル信号処理器 (D S P) 1 3、デジタル / アナログ変換器 (D A C) 1 4、光送信機 (T X) 1 5、光受信機 (R X) 1 6、アナログ / デジタル変換器 (A D C) 1 7 を備える。なお、トランスポンダ 1 0 は、図 5 に示していない他の要素を備えてもよい。

【 0 0 3 5 】

インタフェース 1 1 は、光伝送装置 1 0 とパケットスイッチ 2 0 との間のインタフェースを提供する。フレーマ 1 2 は、インタフェース 1 1 を介して受信するパケットを所定のフレーム (例えば、O T N フレーム) に格納する。また、フレーマ 1 2 は、D S P 1 3 に

10

20

30

40

50

より再生される受信フレームからパケットを抽出する。

【 0 0 3 6 】

D S P 1 3 は、フレーム 1 2 から出力されるフレームを表す送信信号を生成する。D A C 1 4 は、D S P 1 3 により生成される送信信号をアナログ信号に変換する。光送信機 1 5 は、この送信信号で局発光を変調して変調光信号を生成する。光送信機 1 5 により生成される光信号は、光スプリッタ S P T により分岐され、2 つの隣接ノードに送信される。

【 0 0 3 7 】

光カプラ C P L は、2 つの隣接ノードからそれぞれ受信する光信号を合波する。光受信機 1 6 は、コヒーレント受信器であり、局発光を使用して受信光信号を表す電界情報信号を生成する。A D C 1 7 は、電界情報信号をデジタル信号に変換する。D S P 1 3 は、受信光信号を表す電界情報信号に基づいてビット列を再生し、そのビット列からフレームを再構成する。

【 0 0 3 8 】

図 6 ~ 図 7 は、光伝送装置 1 に実装されるトランスポンダ 1 0 の一例を示す。なお、図 6 は、トランスポンダ 1 0 の送信部の一例を示し、図 7 は、トランスポンダ 1 0 の受信部の一例を示す。また、図 6 ~ 図 7 に示すトランスポンダ 1 0 の構成は、後述する第 2 ~ 第 5 の実施形態でも実質的に同じである。

【 0 0 3 9 】

トランスポンダ 1 0 の送信部は、図 6 に示すように、インタフェース (I F) 1 1 T、フレーム 1 2 T、F E C エンコーダ 3 1 X、3 1 Y、マップ (M A P) 3 2 X、3 2 Y、ナイキストフィルタ (N - F I L) 3 3 X、3 3 Y、リサンプラ (R E - S A M P) 3 4 X、3 4 Y、周波数シフタ (F R E Q S H I F T) 3 5 X、3 5 Y、サブキャリア多重化器 (M U X) 3 6、送信不完全補償器 3 7、D A C 1 4、光送信機 1 5 を備える。

【 0 0 4 0 】

インタフェース 1 1 T およびフレーム 1 2 T は、それぞれ、図 5 に示すインタフェース 1 1 およびフレーム 1 2 の一部である。光源 (L O) 4 0 は、送信部および受信部により共用される。F E C エンコーダ 3 1 X、3 1 Y、マップ 3 2 X、3 2 Y、ナイキストフィルタ 3 3 X、3 3 Y、リサンプラ 3 4 X、3 4 Y、周波数シフタ 3 5 X、3 5 Y、サブキャリア多重化器 3 6、送信不完全補償器 3 7 は、例えば、図 5 に示す D S P 1 3 により実現される。

【 0 0 4 1 】

インタフェース 1 1 T は、パケットスイッチ 2 0 から出力されるパケットを受信する。フレーム 1 2 T は、インタフェース 1 1 T を介して受信するパケットを所定のフレームに格納する。このとき、フレーム 1 2 T は、一方の隣接ノード (以下、隣接ノード # X) に送信するフレーム X および他方の隣接ノード (以下、隣接ノード # Y) に送信するフレーム Y を生成する。隣接ノード # X に送信されるパケットはフレーム X に格納され、隣接ノード # Y に送信されるパケットはフレーム Y に格納される。

【 0 0 4 2 】

F E C エンコーダ 3 1 X、3 1 Y は、それぞれ、フレーム X、Y に誤り訂正符号を付加する。マップ 3 2 X、3 2 Y は、それぞれ、指定された変調方式に従って、F E C エンコーダ 3 1 X、3 1 Y から出力されるビット列をコンステレーション上にマッピングする。このマッピングにより、隣接ノード # X に送信される送信信号 X および隣接ノード # Y に送信される送信信号 Y が生成される。ナイキストフィルタ 3 3 X、3 3 Y は、それぞれ、送信信号 X、Y がナイキスト条件を満足するようにフィルタリングを行う。リサンプラ 3 4 X、3 4 Y は、それぞれ、ナイキストフィルタ 3 3 X、3 3 Y の出力信号に対して再サンプリングを行う。

【 0 0 4 3 】

周波数シフタ 3 5 X、3 5 Y は、それぞれ、再サンプリングされた送信信号 X、Y の周波数をシフトさせる。例えば、周波数シフタ 3 5 X は、図 8 (a) に示すように、再サンプリングされた送信信号 X の周波数を高周波数側にシフトさせる。このとき、周波数シフ

10

20

30

40

50

タ 3 5 X は、例えば、送信信号 X に対応する信号帯域の低周波数側の端部が「ゼロ」になるように、送信信号 X の周波数をシフトさせる。周波数シフタ 3 5 Y は、図 8 (b) に示すように、再サンプリングされた送信信号 Y の周波数を低周波数側にシフトさせる。このとき、周波数シフタ 3 5 Y は、例えば、送信信号 Y に対応する信号帯域の高周波数側の端部が「ゼロ」になるように、送信信号 Y の周波数をシフトさせる。なお、周波数シフタ 3 5 X、3 5 Y の構成および動作については後で説明する。

【 0 0 4 4 】

サブキャリア多重化器 3 6 は、周波数シフタ 3 5 X の出力信号および周波数シフタ 3 5 Y の出力信号を多重化する。この結果、図 8 (c) に示す多重化信号が生成される。送信不完全補償器 3 7 は、サブキャリア多重化器 3 6 の出力信号に対して、送信回路の不完全性を補償する処理を行う。送信回路の不完全性は、例えば、不図示の増幅器の歪などを含む。D A C 1 4 は、送信不完全補償器 3 7 の出力信号をアナログ信号に変換して駆動信号を生成する。

10

【 0 0 4 5 】

光送信機 1 5 は、光変調器を含み、光源 4 0 により生成される連続光を駆動信号で変調することにより、サブキャリア多重光信号を生成する。ここで、光源 4 0 により生成される連続光の周波数が f_1 である場合、図 8 (d) に示すサブキャリア多重光信号が生成される。なお、このサブキャリア多重光信号は、隣接ノード # X に送信されるデータを伝送するサブキャリア光信号および隣接ノード # Y に送信されるデータを伝送するサブキャリア光信号を含む。そして、このサブキャリア多重光信号は、図 5 に示す光スプリッタ S L T により分岐されて、隣接ノード # X および隣接ノード # Y に送信される。

20

【 0 0 4 6 】

トランスポンダ 1 0 の受信部は、図 7 に示すように、光受信機 1 6、A D C 1 7、分散補償器 (F E Q) 5 1、サブキャリア分離器 (D M U X) 5 2、周波数シフタ 5 3 X、5 3 Y、リサンプラ 5 4 X、5 4 Y、適応等化器 (A E Q) 5 5 X、5 5 Y、周波数オフセット補償器 (O F F S E C O M P) 5 6 X、5 6 Y、位相同期部 5 7 X、5 7 Y、F E C デコーダ 5 8 X、5 8 Y、フレイマ 1 2 R、インタフェース (I F) 1 1 R を備える。

【 0 0 4 7 】

インタフェース 1 1 R およびフレイマ 1 2 R は、それぞれ、図 5 に示すインタフェース 1 1 およびフレイマ 1 2 の一部である。光源 (L O) 4 0 は、送信部および受信部により共用される。分散補償器 5 1、サブキャリア分離器 5 2、周波数シフタ 5 3 X、5 3 Y、リサンプラ 5 4 X、5 4 Y、適応等化器 5 5 X、5 5 Y、周波数オフセット補償器 5 6 X、5 6 Y、位相同期部 5 7 X、5 7 Y、F E C デコーダ 5 8 X、5 8 Y は、例えば、図 5 に示す D S P 1 3 により実現される。

30

【 0 0 4 8 】

トランスポンダ 1 0 の受信部は、隣接ノード # X から送信される光信号および隣接ノード # Y から送信される光信号を受信する。例えば、図 2 に示すノード # 2 に実装されるトランスポンダ T R は、図 4 (b) に示すように、隣接ノード # 1 から送信されるサブキャリア光信号 (B 1 + B 2) および隣接ノード # 3 から送信されるサブキャリア光信号 (B 3 + B 4) を受信する。

40

【 0 0 4 9 】

光受信機 1 6 は、コヒーレント受信器であり、光源 4 0 により生成される連続光を利用して受信光信号を表す電界情報信号を生成する。A D C 1 7 は、電界情報信号をデジタル信号に変換する。分散補償器 5 1 は、固定等化器であり、光伝送路の分散を補償する。なお、分散補償器 5 1 は、例えば、デジタルフィルタにより実現される。サブキャリア分離器 5 2 は、分散補償器 5 1 の出力信号から、トランスポンダ 1 0 が処理すべきサブキャリアを抽出する。このとき、サブキャリア分離器 5 2 は、D S P 1 3 の処理能力に対応する周波数領域範囲において信号を抽出する。例えば、図 2 に示すノード # 2 に実装されるトランスポンダ T R は、図 4 (b) に示すように、サブキャリア B 1 ~ B 4 からサブキャリア B 2 およびサブキャリア B 3 を抽出する。以下の記載では、隣接ノード # X から送信さ

50

れ、サブキャリア分離器 5 2 により抽出される信号を「受信信号 X」と呼ぶことがある。隣接ノード # Y から送信され、サブキャリア分離器 5 2 により抽出される信号を「受信信号 Y」と呼ぶことがある。

【 0 0 5 0 】

周波数シフタ 5 3 X、5 3 Y は、それぞれ、受信信号 X、Y の周波数をシフトさせる。ここで、周波数シフタ 5 3 X は、周波数シフタ 3 5 X による周波数シフトと逆の動作を行う。また、周波数シフタ 5 3 Y は、周波数シフタ 3 5 Y による周波数シフトと逆の動作を行う。リサンプラ 5 4 X、5 4 Y は、それぞれ、周波数シフタ 5 3 X、5 3 Y の出力信号に対して再サンプリングを行う。

【 0 0 5 1 】

適応等化器 5 5 X、5 5 Y は、それぞれ、リサンプラ 5 4 X、5 4 Y の出力信号を適応的に等化する。適応等化器 5 5 X、5 5 Y は、例えば、デジタルフィルタにより実現される。この場合、デジタルフィルタの係数は、受信信号に応じて適応的に更新される。周波数オフセット補償器 5 6 X、5 6 Y は、それぞれ、適応等化器 5 5 X、5 5 Y の出力信号において、受信光信号のキャリア周波数と局発光の周波数との間の誤差を補償する。

【 0 0 5 2 】

位相同期部 5 7 X、5 7 Y は、それぞれ、周波数オフセット補償器 5 6 X、5 6 Y の出力信号において位相同期を確立する。すなわち、シンボル毎に、送信元ノードで設定された位相と受信信号の位相との間のオフセットが補償され、送信元ノードで設定された位相が検出される。この結果、シンボル毎に、1 または複数のビットの値が判定され、受信信号を表すビット列が再生される。F E C デコード 5 8 X、5 8 Y は、それぞれ、位相同期部 5 7 X、5 7 Y の出力信号に対して誤り検出および誤り訂正を行う。この結果、受信フレームが再生される。

【 0 0 5 3 】

フレーム 1 2 R は、D S P 1 3 によって再生される受信フレームからパケットを抽出する。再生されたパケットは、インタフェース 1 1 R を介してパケットスイッチ 2 0 に導かれる。

【 0 0 5 4 】

図 9 は、周波数シフタ 3 5 X、3 5 Y、5 3 X、5 3 Y の一例を示す。なお、周波数 3 5 X、3 5 Y、5 3 X、5 3 Y の構成は、実質的に同じである。

【 0 0 5 5 】

周波数シフタは、積算回路 6 1 および回転演算回路 6 2 を備える。そして、周波数シフタには、関数 $f(t)$ および電界情報信号が与えられる。関数 $f(t)$ は、周波数シフト量を表す。電界情報信号は、I 成分信号および Q 成分信号から構成される。また、周波数シフタ 3 5 X、3 5 Y に与えられる電界情報信号は、図 6 に示す例では、リサンプラ 3 4 X、3 4 Y から出力される。周波数シフタ 5 3 X、5 3 Y に与えられる電界情報信号は、図 7 に示す例では、サブキャリア分離器 5 2 から出力される。

【 0 0 5 6 】

積算回路 6 1 は、周波数シフト量（すなわち、 $f(t)$ ）を時間で積分する。そして、積算回路 6 1 は、積分結果として、下記の位相情報 $\theta(t)$ を出力する。

$$\theta(t) = \int 2\pi f(t) dt$$

なお、積算回路 6 1 は、 $\text{mod } 2\pi$ 回路を備えていてもよい。この場合、積算回路 6 1 の出力値は、 $0 \sim 2\pi$ の範囲内の値に変換される。

【 0 0 5 7 】

回転演算回路 6 2 は、下記の演算により、位相情報 $\theta(t)$ を利用して I 成分信号および Q 成分信号を補正する。I および Q は、回転演算回路 6 2 の入力信号を表す。I out および Q out は、回転演算回路 6 2 の出力信号を表す。

$$I_{\text{out}} = I \cos \theta(t) - Q \sin \theta(t)$$

$$Q_{\text{out}} = I \sin \theta(t) + Q \cos \theta(t)$$

すなわち、回転演算回路 6 2 は、指定された周波数シフト量に基づいて、I 成分信号およ

10

20

30

40

50

びQ成分信号により表される位相を制御する。この結果、信号の周波数がシフトする。例えば、図8(a)に示すように信号の周波数を高くするときには、電界情報信号の位相を進める回転演算が行われる。また、図8(b)に示すように信号の周波数を低くするときには、電界情報信号の位相を遅らせる回転演算が行われる。

【0058】

このように、第1の実施形態においては、各ノード(図2では、ノード#1~#4)に実装される光伝送装置1は、1個のトランスポンダTRを用いて2つの隣接ノードと通信を行う。これに対して、図1に示す光通信システムにおいては、各ノードに実装される光伝送装置は、2個のトランスポンダを用いて2つの隣接ノードと通信を行う。よって、第1の実施形態によれば、各ノードに実装されるトランスポンダの数が少なくなるので、光伝送装置のコストまたは光通信システム100のコストが削減される。

10

【0059】

また、光ネットワークの通信容量が小さいときは、図1に示す光通信システムでは、トランスポンダの能力が十分に活用されないことがある。一方、第1の実施形態によれば、1個のトランスポンダTRを用いて2つの隣接ノードと通信を行うので、トランスポンダの周波数利用効率が高くなりやすい。すなわち、トランスポンダの能力が十分に活用される。

【0060】

図10は、本発明の第1の実施形態に係わる光通信システムのバリエーションを示す。図2に示すシステムでは、各スパンにおいてそれぞれ2本の光ファイバを用いて双方向伝送が実現されるが、本発明はこの構成に限定されるものではない。すなわち、1本の光ファイバを用いてノード間の双方向伝送を実現してもよい。図10に示す例では、光サーキュレータを利用して双方向伝送を実現している。すなわち、光サーキュレータ71は、ノード#3から出力されるサブキャリア光信号B3+B4をノード#4に導き、ノード#4から受信するサブキャリア光信号B4+B5をノード#3に導く。同様に、光サーキュレータ72は、ノード#4から出力されるサブキャリア光信号B4+B5をノード#3に導き、ノード#3から受信するサブキャリア光信号B3+B4をノード#3に導く。

20

【0061】

なお、1本の光ファイバを用いてノード間の双方向伝送を実現する場合、図10に示す光サーキュレータの代わりに光カプラを実装してもよい。ただし、光カプラを使用する構成と比べて、光サーキュレータを使用する構成は、光損失が小さくなる(約0.6dB)。

30

【0062】

<第2の実施形態>

図11は、本発明の第2の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す。図2に示す光通信システム100と同様に、光通信システム200はノード#1~#5を含む。ノード#1~#5は、光ファイバにより接続され、光リングネットワークを構成する。また、ノード#1~#4にそれぞれ光伝送装置3が設けられ、ノード#5に光伝送装置2が設けられる。なお、光伝送装置2は、第1の実施形態と同様に、2個のトランスポンダ(TRa、TRb)を備える。

【0063】

光伝送装置3は、トランスポンダTR、光フィルタFIL、および光カプラCPLを備える。なお、光伝送装置3は、光カプラCPLの代わりに、カプラ機能を備える光フィルタを使用してもよい。また、光伝送装置3は、図11に示していない他のデバイスを備えてもよい。さらに、光伝送装置3には、スイッチ回路SW/IFが接続される。スイッチ回路SW/IFは、図2および図11において実質的に同じである。

40

【0064】

光通信システム200においては、ノード#1~#5は、同じキャリア周波数を使用して光信号を伝送する。この実施例では、キャリア周波数はf0である。

【0065】

各ノード#1~#4は、1組のサブキャリアを使用してデータを隣接ノードに送信する

50

ことができる。ここで、各ノード# 1 ~ # 4 は、キャリア周波数 f_0 の低周波数側に設けられるサブキャリア B 1 およびキャリア周波数 f_0 の高周波数側に設けられるサブキャリア B 2 を使用する。すなわち、各ノード# 1 ~ # 4 のトランスポンダ T R は、サブキャリア光信号 B 1 およびサブキャリア光信号 B 2 を生成する。

【 0 0 6 6 】

光フィルタ F I L は、トランスポンダ T R から出力される 2 つのサブキャリア光信号を互いに分離する。具体的には、光フィルタ F I L は、サブキャリア光信号 B 1 およびサブキャリア光信号 B 2 を互いに分離する。そして、光フィルタ F I L により抽出されたサブキャリア光信号 B 1 は一方の隣接ノードに導かれ、光フィルタ F I L により抽出されたサブキャリア光信号 B 2 は他方の隣接ノードに導かれる。

10

【 0 0 6 7 】

具体的には、ノード# 1、# 3 においては、サブキャリア光信号 B 1 が時計回り方向に送信され、サブキャリア光信号 B 2 が反時計回り方向に送信される。これに対して、ノード# 2、# 4 においては、サブキャリア光信号 B 1 が反時計回り方向に送信され、サブキャリア光信号 B 2 が時計回り方向に送信される。この結果、各スパンにおいて、時計回り方向の伝送および反時計回り方向の伝送で同じサブキャリアが使用される。例えば、ノード# 1、# 2 間では、サブキャリア B 2 を使用して光信号が双方向に伝送され、ノード# 2、# 3 間では、サブキャリア B 1 を使用して光信号が双方向に伝送される。

【 0 0 6 8 】

各ノード# 1 ~ # 4 は、隣接ノードから受信する光信号からデータを再生する。このとき、各ノード# 1 ~ # 4 において、一方の隣接ノードから受信する光信号および他方の隣接ノードから受信する光信号は、光カプラ C P L により合波される。そして、トランスポンダ T R は、合波された光信号に基づいて、一方の隣接ノードから送信されたデータおよび他方の隣接ノードから送信されたデータをそれぞれ再生する。

20

【 0 0 6 9 】

例えば、ノード# 2 は、図 1 1 に示すように、ノード# 1 からサブキャリア光信号 B 2 を受信し、ノード# 3 からサブキャリア光信号 B 1 を受信する。そうすると、サブキャリア光信号 B 2 およびサブキャリア光信号 B 1 は、光カプラ C P L によって合波される。そして、トランスポンダ T R は、図 7 に示す受信部を利用してデータを再生する。具体的には、ノード# 1 から送信されるデータがサブキャリア B 2 から再生され、ノード# 3 から送信されるデータがサブキャリア B 1 から再生される。

30

【 0 0 7 0 】

同様に、ノード# 3 は、図 1 1 に示すように、ノード# 2 からサブキャリア光信号 B 1 を受信し、ノード# 4 からサブキャリア光信号 B 2 を受信する。そうすると、サブキャリア光信号 B 1 およびサブキャリア光信号 B 2 は合波される。そして、トランスポンダ T R は、図 7 に示す受信部を利用してデータを再生する。具体的には、ノード# 2 から送信されるデータがサブキャリア B 1 から再生され、ノード# 4 から送信されるデータがサブキャリア B 2 から再生される。

【 0 0 7 1 】

このように、光通信システム 2 0 0 においては、サブキャリア B 1 およびサブキャリア B 2 がスパン毎に交互に設定される。ところが、光リングネットワークを構成するノードの数は奇数である。このため、ノード# 1 ~ # 5 のうちのいずれか 1 つのノードにおいては、一方の隣接ノードとの通信で使用するサブキャリアと他方の隣接ノードとの通信で使用するサブキャリアとが同じになる。この実施例では、ノード# 5 において、ノード# 1 との通信でサブキャリア B 1 が使用され、ノード# 4 との通信でもサブキャリア B 1 が使用される。この場合、ノード# 5 において同じサブキャリアが重複する。したがって、ノード# 5 には、2 個のトランスポンダ (T R a、T R b) を備える光伝送装置 2 が実装される。

40

【 0 0 7 2 】

トランスポンダ T R a は、ノード# 1 に送信するデータをサブキャリア B 1 に割り当て

50

ることによりサブキャリア信号 B 1 を生成する。そして、トランスポンダ T R a により生成されるサブキャリア信号 B 1 は、ノード # 1 に送信される。トランスポンダ T R b は、ノード # 4 に送信するデータをサブキャリア B 1 に割り当てることによりサブキャリア信号 B 1 を生成する。そして、トランスポンダ T R b により生成されるサブキャリア信号 B 1 は、ノード # 4 に送信される。

【 0 0 7 3 】

また、トランスポンダ T R a は、ノード # 1 から送信されるサブキャリア信号 B 1 からデータを再生する。トランスポンダ T R b は、ノード # 4 から送信されるサブキャリア信号 B 1 からデータを再生する。

【 0 0 7 4 】

このように、第 2 の実施形態においても、各ノード（図 1 1 では、ノード # 1 ~ # 4 ）に実装される光伝送装置 3 は、1 個のトランスポンダ T R を用いて 2 つの隣接ノードと通信を行う。よって、第 2 の実施形態によれば、図 1 に示す構成と比較して、各ノードに実装されるトランスポンダの数が少なくなるので、光伝送装置および/または光通信システムのコストが削減される。また、第 1 の実施形態と同様に第 2 の実施形態においても、各ノードにおいて 1 個のトランスポンダ T R を用いて 2 つの隣接ノードと通信を行うので、トランスポンダの周波数利用効率が高くなりやすい。すなわち、トランスポンダの能力が十分に活用される。

【 0 0 7 5 】

ところで、第 2 の実施形態の光伝送装置 3 においては、図 2 に示す第 1 の実施形態で 사용되는光スプリッタ S L T の代わりに、光フィルタ F I L が使用される。ここで、光スプリッタと比較して光フィルタは高価である。よって、第 2 の実施形態と比較して、第 1 の実施形態の方が光伝送装置のコストが低くなる。

【 0 0 7 6 】

ただし、第 1 の実施形態では、光リングネットワークを構成するノードの数と同じ数のサブキャリアが必要である。図 2 に示す例では、5 個のノード # 1 ~ # 5 を備える光リングネットワークにおいて、5 つのサブキャリア B 1 ~ B 5 が使用される。ここで、光ファイバ通信は、限られた資源（例えば、C バンド）を使用して実現される。このため、第 1 の実施形態では、光リングネットワークを構成するノードの数の上限が制限されることがある。或いは、各サブキャリアの帯域幅が制限されることがある。これに対して、第 2 の実施形態では、光リングネットワークを構成するノードの数にかかわらず、必要なサブキャリアの数は 2 である。このため、第 2 の実施形態では、光リングネットワークを構成するノードの数の上限が制限されることはない。或いは、各サブキャリアの帯域幅が制限されることはない。

【 0 0 7 7 】

なお、第 2 の実施形態で使用される光伝送装置 3 においても、トランスポンダは、図 6 ~ 図 7 に示す構成により実現される。また、光伝送装置 3 は、2 つの受信光信号を合波する光カプラ C P L の代わりに、カプラ機能を備える光フィルタ回路を使用してもよい。この場合、光フィルタ回路は、サブキャリア B 1 を抽出するフィルタ、サブキャリア B 2 を抽出するフィルタ、および 2 つのフィルタの出力を合波するカプラを備えてもよい。

【 0 0 7 8 】

図 1 1 に示す実施例では、光リングネットワークを構成するノードの数は奇数である。このため、ノード # 1 ~ # 5 のうちのいずれか 1 つのノードに、2 個のトランスポンダを備える光伝送装置が設けられる。ただし、光リングネットワークを構成するノードの数が偶数であるケースでは、全てのノードにそれぞれ光伝送装置 3 を設けてもよい。

【 0 0 7 9 】

< 第 3 の実施形態 >

図 1 2 は、本発明の第 3 の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す。第 3 の実施形態に係わる光通信システム 3 0 0 は、ノード # 1 ~ # 4 を含む。ノード # 1 ~ # 4 は、光ファイバにより接続され、光リニアネットワークを構成する。また、ノード # 2 ~ # 3

10

20

30

40

50

にそれぞれ光伝送装置 3 が設けられ、ノード # 1、# 4 にそれぞれ光伝送装置 4 が設けられる。

【0080】

光伝送装置 3 の構成および動作は、第 2 の実施形態および第 3 の実施形態において実質的に同じである。すなわち、光伝送装置 3 は、1 つのトランスポンダ T R を用いて 2 つのサブキャリア光信号を処理する。ただし、第 3 の実施形態では、各光伝送装置 3 は、ノード # 4 からノード # 1 に向う方向にサブキャリア光信号 B 1 を送信し、ノード # 1 からノード # 4 に向う方向にサブキャリア光信号 B 2 を送信する。

【0081】

光伝送装置 4 は、1 個のトランスポンダ T R を備える。そして、光伝送装置 4 は、サブキャリア光信号 B 1、B 2 のうちの一方を送信し、サブキャリア光信号 B 1、B 2 のうちの他方を受信する。この例では、ノード # 1 に実装される光伝送装置 4 は、サブキャリア光信号 B 2 を送信し、サブキャリア光信号 B 1 を受信する。ノード # 4 に実装される光伝送装置 4 は、サブキャリア光信号 B 1 を送信し、サブキャリア光信号 B 2 を受信する。

10

【0082】

このように光通信システム 300 においては、ノード # 1 からノード # 4 に向う伝送にサブキャリア B 2 が使用され、ノード # 4 からノード # 1 に向う伝送にサブキャリア B 1 が使用される。そして、光リニアネットワークの両端以外のノードに実装される光伝送装置（すなわち、ノード # 2、# 3 に実装される光伝送装置 3）は、1 個のトランスポンダ T R を用いて 2 つの隣接ノードと通信を行う。よって、第 3 の実施形態によれば、各ノードに実装されるトランスポンダの数が少なくなるので、光伝送装置および/または光通信システムのコストが削減される。また、第 1 ~ 第 2 の実施形態と同様に、第 3 の実施形態においても、各ノードにおいて 1 個のトランスポンダ T R を用いて 2 つの隣接ノードと通信を行うので、トランスポンダの周波数利用効率が高くなりやすい。すなわち、トランスポンダの能力が十分に活用される。

20

【0083】

< 第 4 の実施形態 >

図 13 は、本発明の第 4 の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す。図 2 に示す光通信システム 100 と同様に、光通信システム 400 はノード # 1 ~ # 5 を含む。ノード # 1 ~ # 5 は、光ファイバにより接続され、光リングネットワークを構成する。また、ノード # 1 ~ # 5 にそれぞれ光伝送装置 3 が設けられる。すなわち、全てのノードに同じ光伝送装置が設けられる。さらに、各ノードの局発光源の発振周波数は、互いに同期が確立している。この実施例では、各ノードの局発光源の発振周波数は f_0 である。

30

【0084】

光伝送装置 3 の構成および動作は、第 2 の実施形態および第 4 の実施形態において実質的に同じである。すなわち、光伝送装置 3 は、図 6 ~ 図 7 に示すトランスポンダ、光フィルタ F I L、光カプラ C P L を備える。光カプラ C P L は、第 2 の実施形態と同様に、カプラ機能付きの光フィルタであってもよい。そして、光伝送装置 3 は、2 つのサブキャリア光信号を送信し、2 つのサブキャリア光信号を受信する。

【0085】

具体的には、トランスポンダ T R は、時計回り方向に送信するデータをサブキャリア B 1 に割り当てることでサブキャリア光信号 B 1 を生成し、反時計回り方向に送信するデータをサブキャリア B 2 に割り当てることでサブキャリア光信号 B 2 を生成する。光フィルタ F I L は、サブキャリア光信号 B 1 およびサブキャリア光信号 B 2 を互いに分離する。そして、サブキャリア光信号 B 1 は時計回り方向の隣接ノードに送信され、サブキャリア光信号 B 2 は反時計回り方向の隣接ノードに送信される。

40

【0086】

また、光伝送装置 3 は、一方の隣接ノードからサブキャリア光信号 B 1 を受信し、他方の隣接ノードからサブキャリア光信号 B 2 を受信する。サブキャリア光信号 B 1 およびサブキャリア光信号 B 2 は、光カプラ C P L により合波されてトランスポンダ T R に導かれ

50

る。トランスポンダ T R は、サブキャリア光信号 B 1 およびサブキャリア光信号 B 2 からそれぞれデータを再生する。

【 0 0 8 7 】

このように、第 4 の実施形態においては、2 つのサブキャリアのうち一方のサブキャリア（図 1 3 では、サブキャリア B 1 ）が時計回り方法の伝送に使用され、他方のサブキャリア（図 1 3 では、サブキャリア B 2 ）が反時計回り方法の伝送に使用される。各ノードに設けられる光伝送装置は、1 個のトランスポンダ T R を用いて 2 つの隣接ノードと通信を行う。よって、第 4 の実施形態によれば、各ノードに実装されるトランスポンダの数が少なくなるので、光伝送装置および / または光通信システムのコストが削減される。また、第 1 ~ 第 3 の実施形態と同様に、第 4 の実施形態においても、各ノードにおいて 1 個のトランスポンダ T R を用いて 2 つの隣接ノードと通信を行うので、トランスポンダの周波数利用効率が高くなりやすい。すなわち、トランスポンダの能力が十分に活用される。

10

【 0 0 8 8 】

なお、光フィルタ F I L は、例えば、図 1 4 に示すサイクリックフィルタ（インターリバー）で実現してもよい。サイクリックフィルタの透過率は、周波数に対して周期的に変化する。また、サイクリックフィルタは、例えば、透過率の変化の周期が 1 つのサブキャリアの帯域幅と同じまたはほぼ同じになるように設計される。さらに、サイクリックフィルタは、2 つの光出力ポートを備える。この場合、奇数番の透過帯（F 1、F 3、・・・）の出力光が一方の光出力ポートに導かれ、偶数番の透過帯（F 2、F 4、・・・）の出力光が他方の光出力ポートに導かれる。そして、サイクリックフィルタは、サブキャリア B 1、B 2 の中心周波数がそれぞれ対応する透過帯の中心周波数に一致するように設計される。図 1 4 に示す例では、サブキャリア B 1、B 2 の中心周波数がそれぞれ透過帯 F 2、F 3 の中心周波数に一致するように設計されている。

20

【 0 0 8 9 】

このように、第 4 の実施形態においても、各ノードに実装される光伝送装置 3 は、1 個のトランスポンダ T R を用いて 2 つの隣接ノードと通信を行う。よって、第 4 の実施形態によれば、図 1 に示す構成と比較して、各ノードに実装されるトランスポンダの数が少なくなるので、光伝送装置および / または光通信システムのコストが削減される。また、第 1 の実施形態と同様に第 4 の実施形態においても、各ノードにおいて 1 個のトランスポンダ T R を用いて 2 つの隣接ノードと通信を行うので、トランスポンダの周波数利用効率が高くなりやすい。すなわち、トランスポンダの能力が十分に活用される。

30

【 0 0 9 0 】

< 第 5 の実施形態 >

第 5 の実施形態の光通信システム 5 0 0 においては、第 4 の実施形態と同様に、2 つのサブキャリアのうち一方のサブキャリア（例えば、サブキャリア B 1 ）が時計回り方法の伝送に使用され、他方のサブキャリア（例えば、サブキャリア B 2 ）が反時計回り方法の伝送に使用される。ただし、第 5 の実施形態では、1 以上のノードに光伝送装置 1 が設けられ、他のノードに光伝送装置 5 が設けられる。図 1 5 に示す例では、ノード # 1、# 3 に光伝送装置 1 が設けられ、ノード # 2、# 4、# 5 に光伝送装置 5 が設けられる。

【 0 0 9 1 】

40

光伝送装置 1 は、第 1 の実施形態において説明したように、トランスポンダ T R、光スプリッタ S P T、光カプラ C P L を備える。したがって、トランスポンダ T R から出力される光サブキャリア信号 B 1 + B 2 は、光スプリッタ S P T により分岐される。そして、光サブキャリア信号 B 1 + B 2 は、時計回り方向および反時計回り方向に送信される。例えば、ノード # 1 からノード # 2 およびノード # 5 に光サブキャリア信号 B 1 + B 2 が送信される。同様に、ノード # 3 からノード # 2 およびノード # 4 に光サブキャリア信号 B 1 + B 2 が送信される。

【 0 0 9 2 】

光伝送装置 5 は、トランスポンダ T R、光フィルタ F I L、光フィルタ F I L _ R を備える。光フィルタ F I L _ R は、2 つの光入力ポートを備える。一方の光入力ポートに接

50

続されるフィルタはサブキャリア B 1 を抽出し、他方の光入力ポートに接続されるフィルタはサブキャリア B 2 を抽出する。すなわち、光伝送装置 5 は、光フィルタ F I L _ R を用いて、各受信光信号から指定されたサブキャリアを抽出する。

【 0 0 9 3 】

例えば、ノード # 2 は、ノード # 1 から光サブキャリア信号 B 1 + B 2 を受信し、ノード # 3 から光サブキャリア信号 B 1 + B 2 を受信する。ここで、ノード # 1 からノード # 2 に送信されるデータはサブキャリア B 2 に割り当てられている。よって、ノード # 2 に設けられる光伝送装置 5 は、光フィルタ F I L _ R を用いて、ノード # 1 から送信される光信号から光サブキャリア信号 B 2 を抽出する。一方、ノード # 3 からノード # 2 に送信されるデータはサブキャリア B 1 に割り当てられている。よって、ノード # 2 に設けられる光伝送装置 5 は、光フィルタ F I L _ R を用いて、ノード # 3 から送信される光信号から光サブキャリア信号 B 1 を抽出する。この構成により、ノード # 2 においてサブキャリアの重複が回避される。

10

【 0 0 9 4 】

このように、光伝送装置 5 は、サブキャリアの重複を回避することができる。換言すれば、光ネットワークにおいてサブキャリアの重複を回避するためには、光伝送装置 1 が設けられるノードの隣りのノードに光伝送装置 5 を設ける必要がある。ここで、送信光信号から対応するサブキャリアを抽出する光フィルタを備えない光伝送装置 1 は、光フィルタを備えない光伝送装置と比較して安価である。よって、光伝送装置 1 および光伝送装置 5 が混在する第 5 の実施形態の構成は、第 4 の実施形態と比較して安価に構築される。

20

【 0 0 9 5 】

< 他の実施形態 >

図 1 6 は、他の実施形態に係わる光通信システムの一例を示す。図 2 に示す光通信システム 1 0 0 と同様に、光通信システム 6 0 0 はノード # 1 ~ # 5 を含む。ノード # 1 ~ # 5 は、光ファイバにより接続され、光リングネットワークを構成する。また、ノード # 1 ~ # 5 にそれぞれ光伝送装置 7 が設けられる。さらに、各ノードの局発光源の発振周波数は互いに同じである。

【 0 0 9 6 】

光通信システム 6 0 0 においては、光伝送装置 7 の通信帯域は、光リングネットワークを構成するノードの数で分割される。この実施例では、光リングネットワークは 5 つのノード # 1 ~ # 5 を備える。よって、光伝送装置 7 が使用する通信帯域は、5 つのサブキャリア B 1 ~ B 5 に分割される。そして、光伝送装置 7 は、5 つのサブキャリア B 1 ~ B 5 のうちの 2 つを使用して隣接ノードと通信を行う。このとき、各ノードに割り当てられるサブキャリアは、各ノードにおいて受信サブキャリアが互いに重複しないように決定される。

30

【 0 0 9 7 】

各ノードにおいて、トランスポンダ T R は、当該ノードに割り当てられた 2 つのサブキャリアを、光フィルタ F I L を用いて互いに分離する。そして、光伝送装置 7 は、一方のサブキャリア光信号を時計回り方向に送信し、他方のサブキャリア光信号を反時計回り方向に送信する。また、各ノードは、各隣接ノードから受信するサブキャリア光信号を合波する。そして、トランスポンダ T R は、合波した光信号から 1 組のデータを再生する。

40

【 0 0 9 8 】

例えば、ノード # 1 にはサブキャリア B 4、B 5 が割り当てられ、ノード # 2 にはサブキャリア B 3、B 4 が割り当てられ、ノード # 3 にはサブキャリア B 2、B 3 が割り当てられている。ノード # 1 は、サブキャリア光信号 B 5 をノード # 5 に送信し、サブキャリア光信号 B 4 をノード # 2 に送信する。ノード # 3 は、サブキャリア光信号 B 3 をノード # 2 に送信し、サブキャリア光信号 B 2 をノード # 4 に送信する。そうすると、ノード # 2 は、ノード # 1 からサブキャリア光信号 B 4 を受信し、ノード # 3 からサブキャリア光信号 B 3 を受信する。

【 0 0 9 9 】

50

このように、他の実施形態に係わる光通信システム 600 においても、複数のサブキャリアを利用する双方向光伝送が実現される。ただし、上述した第 1、第 2、第 4、第 5 の実施形態は、図 16 に示す他の実施形態よりも有利な効果を有する。

【0100】

他の実施形態においては、光リングネットワークが N 個のノードを備える場合、光伝送装置 7 は、N 個のサブキャリアの中の指定された 2 個のサブキャリアを使用して通信を行う。ここで、各ノードに設けられる光伝送装置 7 の構成を共通化するためには、光伝送装置 7 は、N 個のサブキャリアを提供できることが要求される。例えば、光リングネットワークが 5 個のノード # 1 ~ # 5 を備える場合、光伝送装置 7 は、図 17 (a) に示すように、サブキャリア B 1 ~ B 5 を提供するように構成される。しかし、信号を伝送するために使用されるサブキャリアは 2 つである。したがって、図 16 に示す他の実施形態では、スペクトルの利用効率が低い。例えば、光伝送装置 7 の通信帯域が 800 Gbps である場合、データを伝送するための使用される帯域は 320 Gbps である。

10

【0101】

これに対して、図 2 に示す第 1 の実施形態においては、各ノードに割り当てられるキャリア周波数が互いに異なる。そして、各ノードに設けられる光伝送装置 1 は、割り当てられたキャリア周波数の低周波数側および高周波数側にそれぞれ隣接する 2 つのサブキャリアを使用して通信を行う。このため、第 1 の実施形態では、光リングネットワークを構成するノードの数にかかわらず、割り当てられたキャリア周波数に隣接する 2 つのサブキャリアを使用して通信を行う。例えば、図 2 に示すノード # 1 においては、図 17 (b) に示すように、周波数 f 1 に隣接するサブキャリア B 1、B 2 を使用して信号が伝送され、ノード # 2 においては、図 17 (c) に示すように、周波数 f 2 に隣接するサブキャリア B 2、B 3 を使用して信号が伝送される。例えば、光伝送装置 7 の通信帯域が 800 Gbps である場合、データを伝送するための使用される帯域も 800 Gbps である。すなわち、光伝送装置 1 の全通信帯域を使用して通信を行うことが可能である。したがって、第 1 の実施形態によれば、図 16 に示す他の実施形態と比較して、スペクトルの利用効率が高くなる。加えて、第 1 の実施形態の光伝送装置は、安価な光スプリッタ SPT を使用して送信光信号を 2 つの隣接ノードに送信するので、光伝送装置のコストが削減される。

20

【0102】

図 11 に示す第 2 の実施形態、図 13 に示す第 4 の実施形態、図 15 に示す第 5 の実施形態においても、第 1 の実施形態と同様に、キャリア周波数の低周波数側および高周波数側にそれぞれ隣接する 2 つのサブキャリアを使用して通信が行われる。したがって、スペクトルの利用効率が低い。

30

【0103】

加えて、図 16 に示す他の実施形態では、ノード毎に、送信光信号を分岐するための光フィルタ FIL の構成が異なる。例えば、ノード # 1 では、サブキャリア B 4、B 5 を抽出する光フィルタが実装され、ノード # 2 では、サブキャリア B 3、B 4 を抽出する光フィルタが実装される。これに対して、第 2 および第 4 の実施形態では、各ノードにおいて送信光信号を分岐するための光フィルタ FIL の構成が同じである。よって、光伝送装置のコストが削減される。

40

【符号の説明】

【0104】

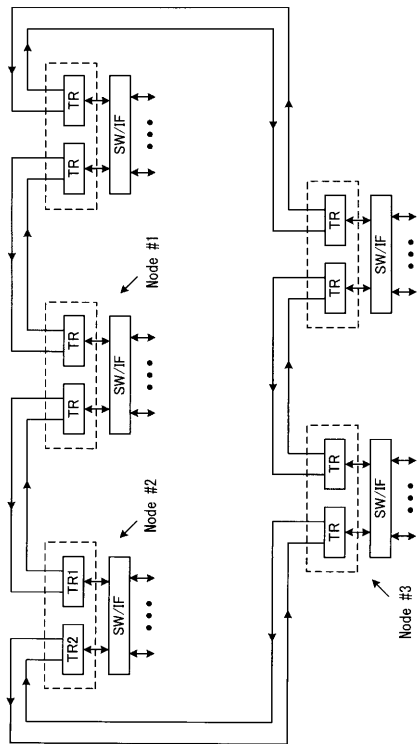
- 1、2、3、4、5 光伝送装置
- 10 トランスポンダ
- 13 デジタル信号処理器 (DSP)
- 15 光送信機
- 16 光受信機
- 35 X、35 Y 周波数シフト
- 40 光源 (LO)
- 53 X、53 Y 周波数シフト

50

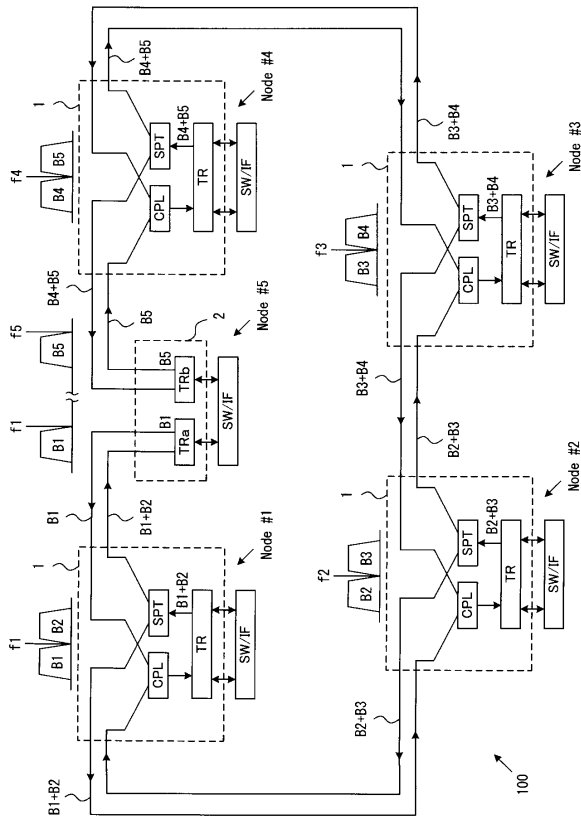
7 1、7 2 光サーキュレータ
1 0 0、2 0 0、3 0 0、4 0 0、5 0 0 光通信システム

【図面】

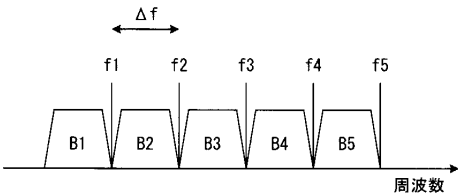
【図 1】



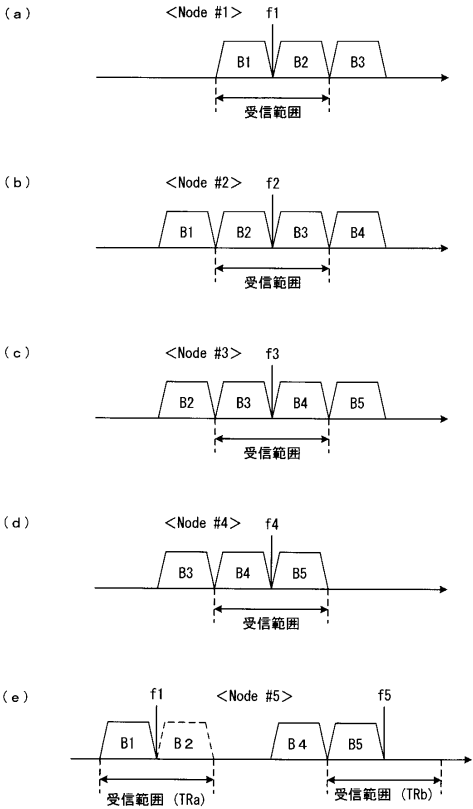
【図 2】



【図 3】



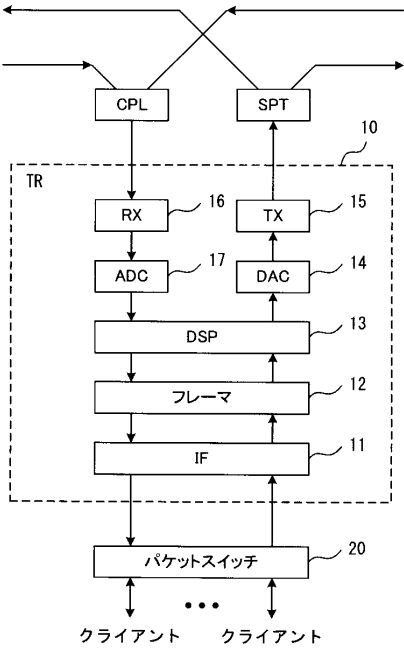
【図 4】



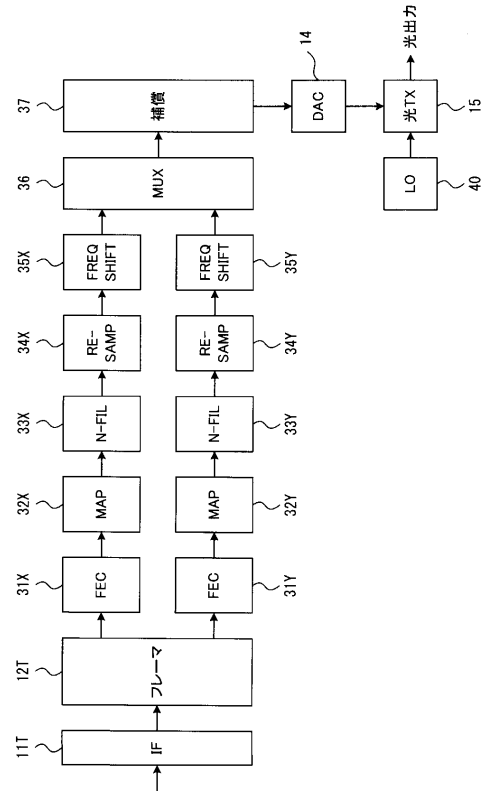
10

20

【図 5】



【図 6】

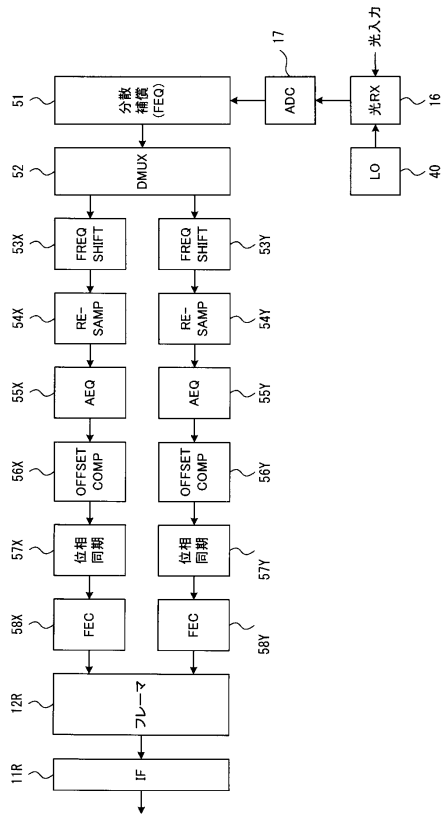


30

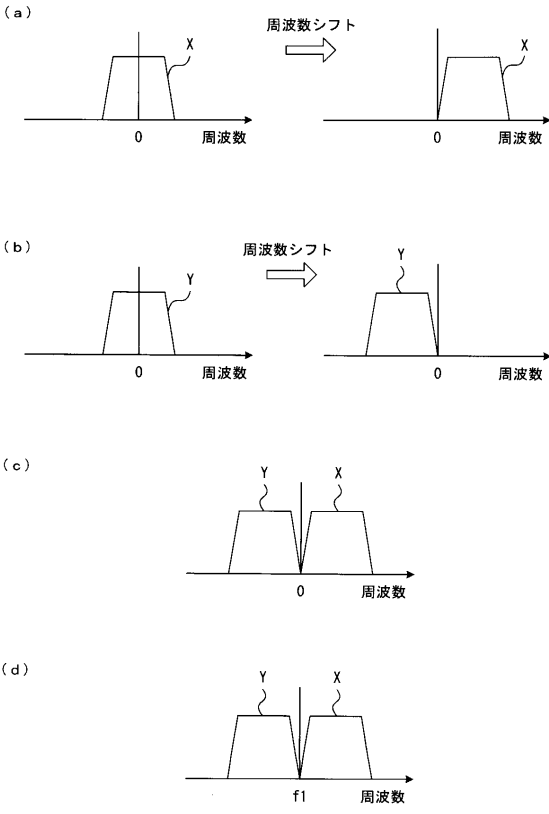
40

50

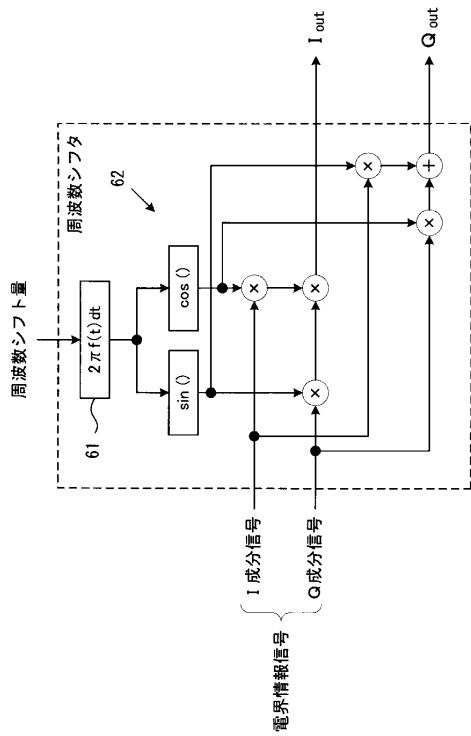
【図 7】



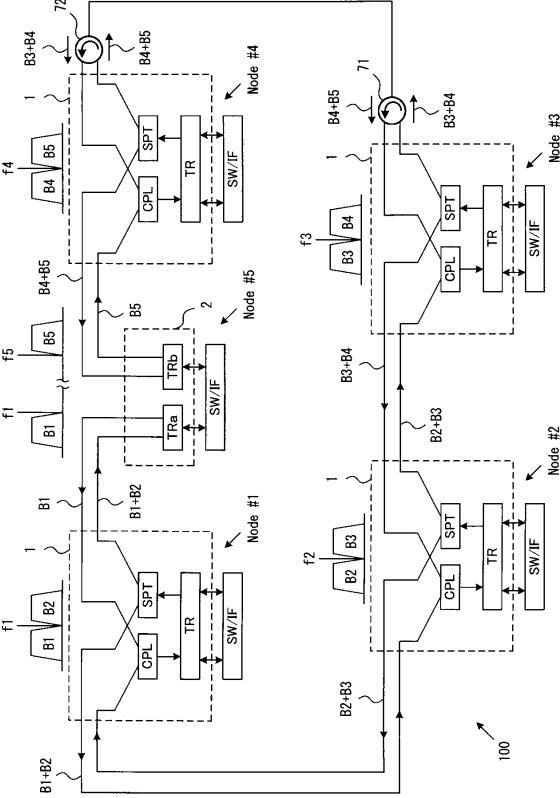
【図 8】



【図 9】



【図 10】



10

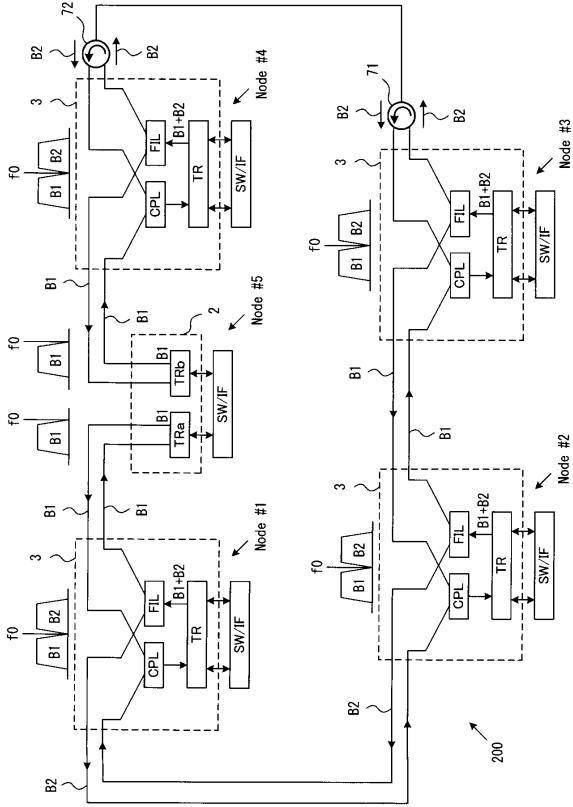
20

30

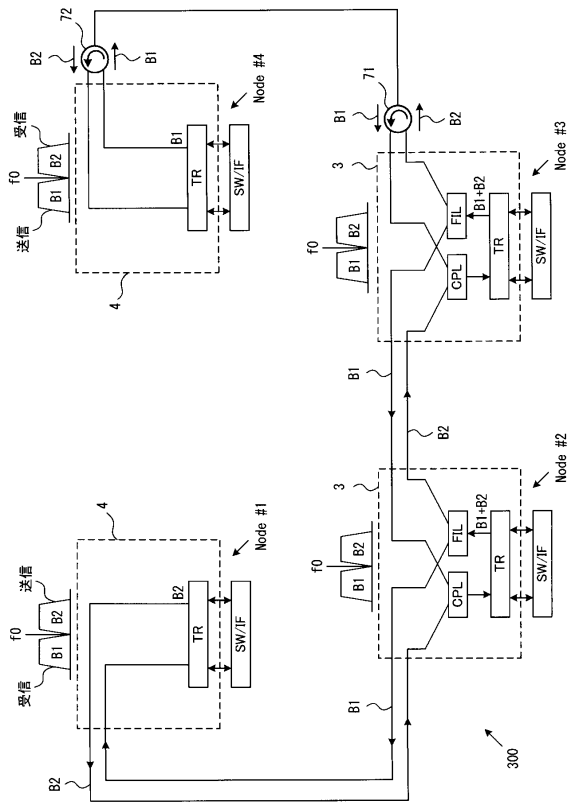
40

50

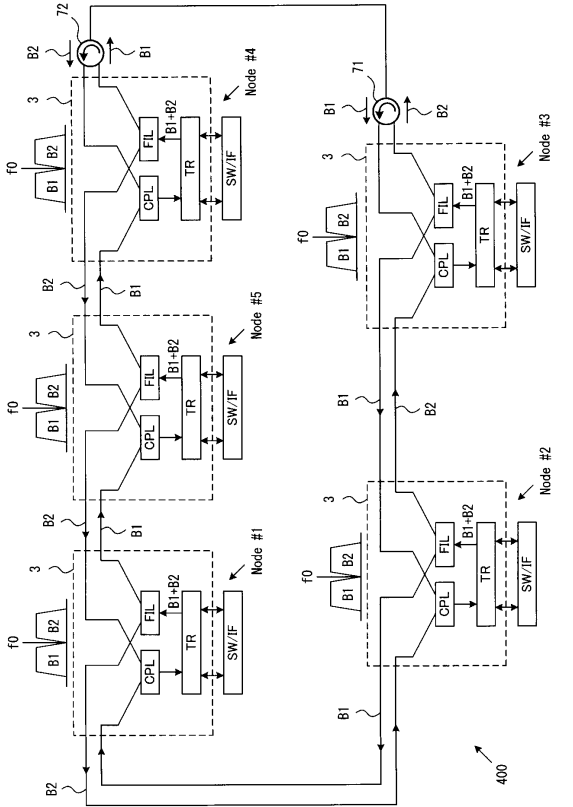
【図 1 1】



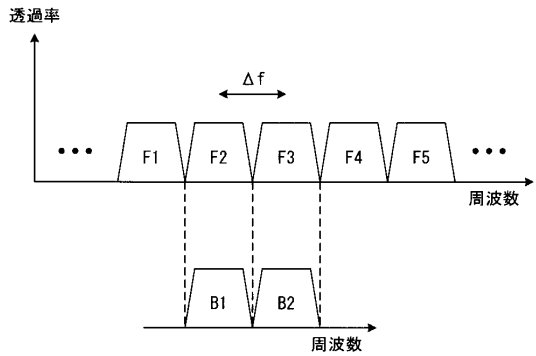
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



10

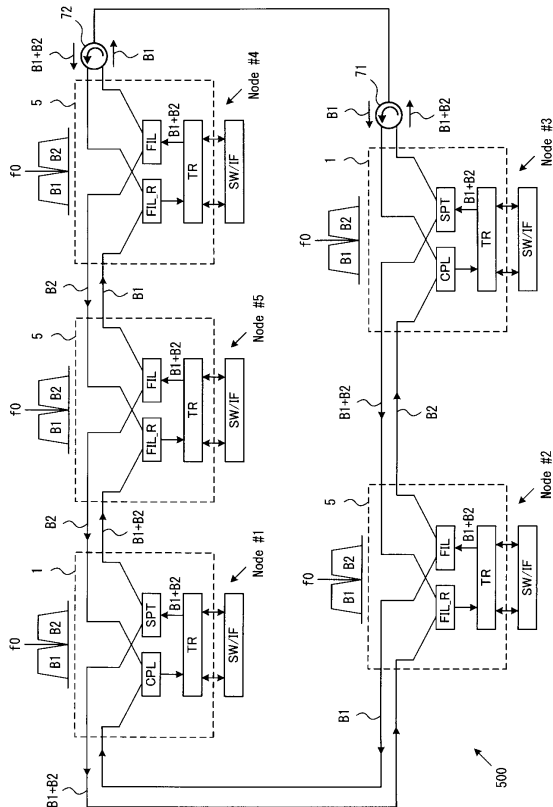
20

30

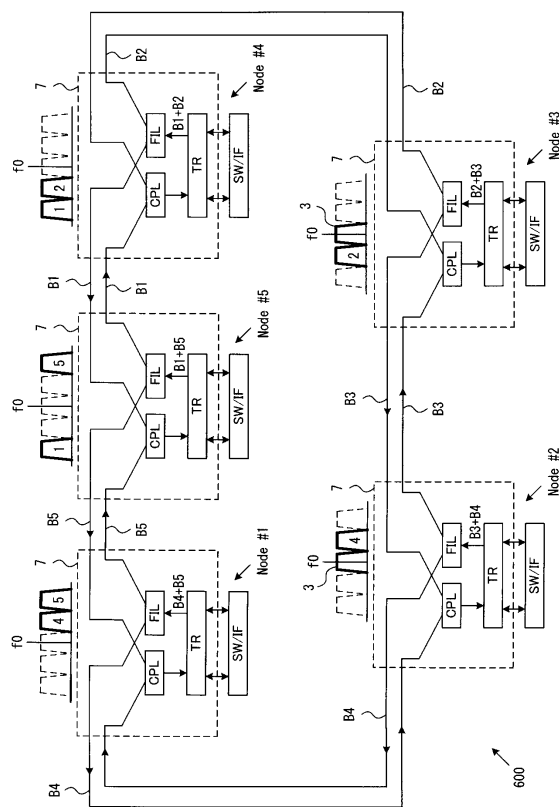
40

50

【図 15】

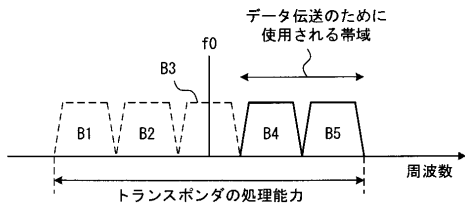


【図 16】

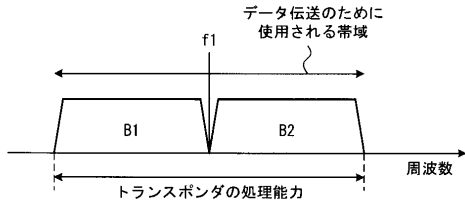


【図 17】

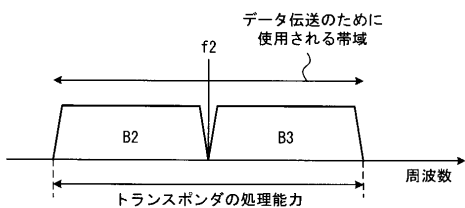
(a)



(b)



(c)



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 寺原 隆文
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内
- (72)発明者 合中 直樹
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内
- (72)発明者 中島 久雄
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内
- 審査官 後澤 瑞征
- (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 9 / 0 2 4 5 6 2 6 (U S , A 1)
特開 2 0 1 5 - 1 6 2 7 2 0 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 4 J 1 4 / 0 2
- H 0 4 B 1 0 / 2 7 - 1 0 / 2 7 8
- H 0 4 B 1 0 / 5 1 6 - 1 0 / 5 5 6
- H 0 4 B 1 0 / 6 1 - 1 0 / 6 4
- H 0 4 B 1 0 / 4 0 - 1 0 / 4 3