

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2015-510367

(P2015-510367A)

(43) 公表日 平成27年4月2日 (2015. 4. 2)

(51) Int. Cl.		F I			テーマコード (参考)
H04B 10/27	(2013.01)	H04B	9/00	270	5K102
H04J 14/00	(2006.01)	H04B	9/00	E	
H04J 14/02	(2006.01)				

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2014-559110 (P2014-559110)	(71) 出願人	598036300
(86) (22) 出願日	平成24年3月22日 (2012. 3. 22)		テレフオンアクチーボラゲット エル エム エリクソン (パブル)
(85) 翻訳文提出日	平成26年10月15日 (2014. 10. 15)		スウェーデン国 ストックホルム エスー
(86) 国際出願番号	PCT/EP2012/055153		1 6 4 8 3
(87) 国際公開番号	W02013/127472	(74) 代理人	100109726
(87) 国際公開日	平成25年9月6日 (2013. 9. 6)		弁理士 園田 吉隆
(31) 優先権主張番号	12157718.3	(74) 代理人	100101199
(32) 優先日	平成24年3月1日 (2012. 3. 1)		弁理士 小林 義教
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(72) 発明者	クッジーニ, フィリップ
			イタリア国 イー43036 パルマ フ
			ィデンツァ, ヴィア タリアメント 1
			1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光路のスペクトル位置変更

(57) 【要約】

光ネットワークの送信元ノード (B) と宛先ノード (D) との間の光路 (11) のスペクトル位置を変更する方法が提供される。光ネットワーク (2) は、スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用し、光路には、第1のスペクトル位置に第1のスペクトルリソース (50) が割り当てられている。方法は、送信元ノード (B) で、第1のスペクトルリソース (50) と周波数が連続する追加のスペクトルリソース (51) を、光路に予約すること (110) を含む。方法は、光路が、第1のスペクトルリソースの第1のスペクトル位置での使用から、第2のスペクトルリソースの第2のスペクトル位置での使用まで、周波数を移動するように、光源 (33) を送信元ノード (B) で再調整すること (105) を含む。方法は、第1のスペクトルリソース (50) のうちの少なくともいくつかを解放すること (106) を含む。送信元ノードは、再調整 (105) 中に、トラフィックを、光路を介して送り続ける。

【選択図】 図4

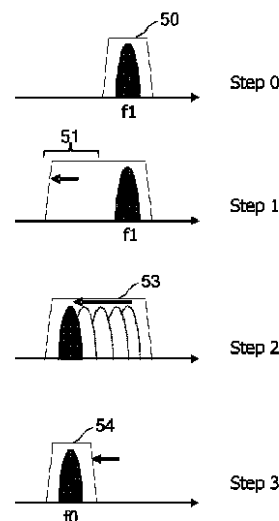


Fig. 4

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光ネットワークの送信元ノードと宛先ノードとの間の光路のスペクトル位置を変更する方法であって、前記光ネットワークは、スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用し、前記光路には、第 1 のスペクトルリソースが第 1 のスペクトル位置に割り当てられており、前記方法は、前記送信元ノードで、

前記第 1 のスペクトルリソースと周波数が連続する追加のスペクトルリソースを前記光路に対して予約すること、

前記光路が、前記第 1 のスペクトルリソースの前記第 1 のスペクトル位置での使用から、第 2 のスペクトルリソースの第 2 のスペクトル位置での使用まで、周波数の中を移動するように、光源を前記送信元ノードで再調整することであって、前記第 2 のスペクトルリソースは、前記追加のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを備える、再調整すること、及び

前記第 1 のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを解放することを含み、

前記送信元ノードは、前記再調整中に、トラフィックを、前記光路を介して送り続ける、方法。

【請求項 2】

前記第 2 のスペクトルリソースは、前記第 1 のスペクトルリソースと周波数が連続するか、前記第 1 のスペクトルリソースと周波数が重複するうちの少なくとも一つである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 2 のスペクトルリソースは、中間スペクトルリソースにより、前記第 1 のスペクトルリソースからオフセットされ、追加のスペクトルリソースを予約する前記ステップは、前記中間スペクトルリソースを予約し、かつ解放する前記ステップはまた、前記中間スペクトルリソースを解放する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記中間スペクトルリソースが利用可能であることをさらに含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記宛先ノードには前記光路を受けるための受信機があり、前記光源を再調整する前記ステップは、前記受信機の自動周波数調整性能範囲内の速度で実行される、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記光路に割り当てられたスペクトルリソースの量は、前記第 1 のスペクトル位置及び前記第 2 のスペクトル位置で同一のままである、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記宛先ノードに、前記再調整前に、前記光路の前記スペクトル位置の変更を通知することをさらに含む、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

光ネットワークの送信元ノードと宛先ノードとの間の光路のスペクトル位置を変更する方法であって、前記光ネットワークは、スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用し、前記光路には、第 1 のスペクトル位置に第 1 のスペクトルリソースが割り当てられており、前記方法は、前記宛先ノードで、

前記第 1 のスペクトルリソースと周波数が連続する追加のスペクトルリソースを前記光路に対して予約すること、及び

前記光路が、前記第 1 のスペクトルリソースの前記第 1 のスペクトル位置での使用から、第 2 のスペクトルリソースの第 2 のスペクトル位置での使用まで、周波数の中を移動した後、前記第 1 のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを解放することであって、前記第 2 のスペクトルリソースは、前記追加のスペクトルリソースのうちの少なく

10

20

30

40

50

ともいくつかを備える、解放することを含み、

前記宛先ノードは、前記光路の前記スペクトル位置の前記変更中に、トラフィックを、前記光路を介して受信し続ける、方法。

【請求項 9】

前記光路が、前記第 1 のスペクトルリソースから前記第 2 のスペクトルリソースまで、周波数の中を移動する際に、前記光路を追跡することをさらに含む、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記光路の前記スペクトル位置の前記変更の通知を受信することをさらに含む、請求項 8 又は 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記方法は、前記光路が、前記第 1 のスペクトルリソースの前記第 1 のスペクトル位置での使用から、第 2 のスペクトルリソースの第 2 のスペクトル位置での使用まで、周波数の中を移動する際に発生する任意の警報を抑制することをさらに含む、請求項 8 から 10 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 12】

光ネットワークの送信元ノードと宛先ノードとの間の光路のスペクトル位置を変更する方法であって、前記光ネットワークは、スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用し、前記光路には、第 1 のスペクトル位置に第 1 のスペクトルリソースが割り当てられており、前記方法は、ネットワーク管理システムで、前記送信元ノード又は前記宛先ノードに、請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の方法を実行させることを含む、方法。

【請求項 13】

スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用する光ネットワークのノードで使用する装置であって、前記装置は、

第 1 のスペクトル位置に第 1 のスペクトルリソースが割り当てられる光路をサポートするために配置されるトランスポンダであって、光源を備えるトランスポンダ、及び

前記光路のスペクトル位置の変更を、

前記第 1 のスペクトルリソースと周波数が連続する追加のスペクトルリソースを光路に対して予約すること、

前記光路が、前記第 1 のスペクトルリソースの前記第 1 のスペクトル位置での使用から、第 2 のスペクトルリソースの第 2 のスペクトル位置での使用まで、周波数の中を移動するように、前記光源を前記ノードで再調整することであって、前記第 2 のスペクトルリソースは、追加のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを備える、再調整すること、及び

前記第 1 のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを解放することにより、サポートするために配置されるコントローラーを備え、

前記ノードは、前記光路の前記スペクトル位置の前記変更中に、トラフィックを、前記光路を介して送信し続けるために配置される、装置。

【請求項 14】

スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用する光ネットワークのノードで使用する装置であって、前記装置は、

第 1 のスペクトル位置に第 1 のスペクトルリソースが割り当てられる光路をサポートするために配置されるトランスポンダ、及び

前記光路のスペクトル位置の変更を、

前記第 1 のスペクトルリソースと周波数が連続する追加のスペクトルリソースを光路に対して予約すること、及び

前記光路が、前記第 1 のスペクトルリソースの前記第 1 のスペクトル位置での使用から、第 2 のスペクトルリソースの第 2 のスペクトル位置での使用まで、周波数の中を移動した後に、前記第 1 のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを解放することであ

10

20

30

40

50

って、前記第2のスペクトルリソースは、前記追加のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを備える、解放することにより、サポートするために配置されるコントローラーを備え、

前記ノードは、前記光路の前記スペクトル位置の前記変更中に、トラフィックを、前記光路を介して受信し続けるために配置される、装置。

【請求項15】

前記コントローラーは、前記光路が、前記第1のスペクトルリソースから前記第2のスペクトルリソースまで、周波数の中を移動する際に、前記光路を追跡するためにさらに配置される、請求項14に記載の装置。

【請求項16】

スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用する複数のノードを備える光ネットワークのためのネットワーク管理システムであって、前記ネットワーク管理システムは、

コントローラー、及び

前記ネットワークのノードと通信するためのシグナリングインターフェースを備え、

前記コントローラーは、命令を前記ノードに送信し、請求項1から11のいずれか一項に記載の方法を実行するために配置される、ネットワーク管理システム。

【請求項17】

請求項13から15のいずれか一項に記載のノード、又は請求項16に記載のネットワーク管理システムを備える、光ネットワーク。

【請求項18】

プロセッサによって実行されるときに、前記プロセッサに、請求項1から12のいずれか一項に記載の方法を実行させる命令を搬送する機械可読媒体を備える、コンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ネットワークにおける光路のスペクトル位置を変更する方法、及びその方法を実施するための装置に関する。これは、例えば、光ネットワークにおけるスペクトルリソースのデフラグを実行するために、使用することができる。

【背景技術】

【0002】

光通信ネットワークは、複数のトラフィックフローを搬送するために波長分割多重(WDM)技術を使用する。各光路は、定義されたスペクトル帯域内の異なる波長チャネルを使用する。従来、光ネットワークは、光路用にWDM又は高密度波長分割多重(DWDM)光チャネルの固定グリッドを使用してきた。光源、光受信機、及び光路に沿った多重化コンポーネントは、すべてこの波長値のグリッドに基づいている。国際電気通信連合(ITU-T)は、通常、50GHz又は100GHzの間隔で、チャネルのグリッドを定義してきた。

【0003】

現在、フレキシブルグリッドと呼ばれる、スペクトルリソースのよりフレキシブルなグリッドを提供する計画がある。フレキシブルグリッドを考慮する理由の一つは、400Gb/s又は1Tb/sチャネルなどの、より高いビットレートチャネルのスペクトルニーズに合わせることである。フレキシブルグリッドにより、限られたスペクトルリソースをよりフレキシブルに使用することができる。光路には、光路の伝送ニーズ(例えば、少数のスペクトルブロック、又はより多数のスペクトルブロック)に適するチャネル帯幅を割り当てることができ、割り当てられたスペクトルの隣接するブロックの間の間隔は、特定の伝送方式のニーズに合うように調整することができる。これにより、光ネットワークの伝送リンク上の限られたスペクトルリソースをより有効に使用することができる。

【0004】

光ネットワークでは、一又は複数の大きなブロックにまとめて配置され（空きリソースを）使用できるスペクトルリソースを有することが有利である。しかし、空きリソースは、多くの場合、断片化される。即ち、空きリソースは、リンクのスペクトルの多数の不連続な領域に配置される。また、空きリソースは、異なるリンク上の異なる場所に配置される可能性もある。スペクトルリソースの断片化は、動的トラフィック状態、予期外のネットワーク成長、並びにネットワーク復旧及びメンテナンス操作により生じる可能性がある。断片化はまた、単一波長を、可能であれば、送信元ノードと宛先ノードとの間のエンドツーエンド経路に割り当てるプロセスが原因で生じる可能性もある。フレキシブルグリッドを含む光ネットワークにおいて、おそらく異なるビットレート及び変調フォーマットで動作し、周波数スペクトルの可動部分を占有する光路が存在すると、スペクトルリソースの断片化の問題がさらに増大する可能性がある。

10

【0005】

空きリソースのより大きな連続的ブロックを形成するプロセスは、デフラグ（defragmentation）と呼ばれる。最適化技術とも呼ばれる効果的なデフラグ技術は、フレキシブル光ネットワークの中の全体的なスペクトル利用を高めるために有益である。

【0006】

スペクトルリソースの断片化の簡単な例が、図1Aに示されている。図1Aは、4つのノード10、A～D、及び3つのリンク11を備えるネットワークの一部を示す。ノードAとBとの間に第1の光路12があり、ノードBとDとの間に第2の光路13がある。図1Aはまた、光路12、13に割り当てられてきたスペクトルリソースも示す。第1の光路12は、 k 個の周波数スロット（ここで、 k は1以上の任意の整数である）を占有し、公称中心周波数として f_0 を有する。ノードBとDとの間の第2の光路13は、リンクB-C及びC-D上に k 個の周波数スロットを占有し、公称中心周波数として f_1 を有する。ルートA-Dに沿って未使用の周波数スロットが存在するが、それらは、経路A-Dに沿った異なる点におけるスペクトルの異なる部分に配置される。波長変換がノードBで提供されない限り、このシナリオでは、ノードAからノードDへの新たな光路の設定が妨げられる。波長変換は、追加の光-電気-光トランスポンダをノードで必要とするので、望ましくない。

20

【0007】

図1Bは、スペクトルリソース最適化後の同一のシナリオを示す。この場合、光路B-Dは、図1Aに示されるスペクトル位置（公称中心周波数 f_1 ）から、図1Bに示されるスペクトル位置（公称中心周波数 f_0 ）に移動される。光路13のスペクトル割り当てを変更すると、スペクトルのデフラグが実行され、解放された周波数スロットに割り当てられたAからDまでの一又は複数の光路の設定が可能になる。

30

【0008】

スペクトルのデフラグを実行するための既知のプロセスは、メイクビフォアブレイク（Make-before-Break: MbB）と呼ばれ、インターネット技術標準化委員会（IETF）の文書RFC 3209「LSPトンネルのためのRSVPへの拡張（Extensions to RSVP for LSP Tunnels）」、2.5節「トラフィック設計されたトンネルの再ルーティング（Rerouting Traffic Engineered Tunnels）」で説明されている。メイクビフォアブレイクはまた、RFC 4872及びRFC 4873でも説明されている。メイクビフォアブレイクの3つの主なステップが、図1Cに示される。ステップ0は、光路13に公称中心周波数 f_1 を含む周波数スロットのブロック14が割り当てられた状態の、メイクビフォアブレイクプロセスを実施する前の初期状況を示している。ステップ1では、同一の送信元ノード（B）と宛先ノード（D）とのペア間の追加の光路は、新たに計算されたルート又は中心周波数に沿って確立される。ノードBからノードDへの新たな光路は、公称中心周波数として f_0 を含むスペクトルリソースの異なるブロック15の中に設定される。ステップ2では、クライアントトラフィックは、2つのアクティブ光路の間で切り替えら

40

50

れる。ステップ3では、公称中心周波数 f_1 におけるBからDまでの元の光路が切断される。

【0009】

メイクビフォアブレイク動作の実行に関連したいくつかの欠点がある。メイクビフォアブレイクは、何らかのトラフィックの中断又は誤った順序付け (misordering) をもたらしることがある。パケット複製又はパケット損失が、送信元ノードにおける2つの光路間でのトラフィック切り替えにより生じる可能性があり、若しくは、(例えば、異なるルートが考慮される場合など) 異なる待機時間に起因する遅延変動により生じる可能性がある。これは、サービスレベルでの中断を引き起こす可能性がある。また、メイクビフォアブレイクには、追加の予備的なかつ高価なトランスポンダを、送信元ノード及び宛先ノードの両方で利用できることが必要である。メイクビフォアブレイクに影響するさらなる問題は、光学層で必要とされる追加の動作に関する。図1Cのステップ1での設定動作、及び図1Cのステップ3での切断動作は、トラバースされるリンクに沿ってアクティブ光路の数を変更するが、このことは、これらの光路によりトラバースされる光増幅器に影響を与える可能性がある。これは、光強度均等化手順 (optical power equalisation procedures) を必要とし、他のアクティブ光路の安定性におそらく影響する可能性がある。

【0010】

本発明は、スペクトルリソースの光路への割り当てを変更する別の方法を提供することを目的とする。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明の態様は、光ネットワークの送信元ノードと宛先ノードとの間の光路のスペクトルの位置を変更する方法を提供する。光ネットワークは、スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用する。光路には、第1のスペクトル位置に第1のスペクトルリソースが割り当てられてきた。方法は、送信元ノードで、周波数において第1のスペクトルリソースと連続する追加のスペクトルリソースを、前記光路に対して予約することを含む。方法は、前記光路が、第1のスペクトルリソースの第1のスペクトル位置での使用から、第2のスペクトルリソースの第2のスペクトル位置での使用まで、周波数の中を移動するように、光源を送信元ノードで再調整することをさらに含む。第2のスペクトルリソースは、前記追加のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを含む。方法は、前記第1のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを解放することをさらに含む。前記送信元ノードは、前記再調整中に、トラフィックを、前記光路を介して送り続ける。

【0012】

本発明の別の態様は、光ネットワークの送信元ノードと宛先ノードとの間の光路のスペクトル位置を変更する方法を提供する。前記光ネットワークは、スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用する。前記光路には、第1のスペクトル位置に第1のスペクトルリソースが割り当てられてきた。方法は、前記宛先ノードで、前記第1のスペクトルリソースと周波数が連続する追加のスペクトルリソースを、前記光路に対して予約することを含む。方法は、前記光路が、前記第1のスペクトルリソースの前記第1のスペクトル位置での使用から、第2のスペクトルリソースの第2のスペクトル位置での使用まで、周波数の中を移動した後に、前記第1のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを解放することをさらに含む。前記第2のスペクトルリソースは、前記追加のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを含む。前記宛先ノードは、前記光路の前記スペクトル位置の前記変更中に、トラフィックを、前記光路を介して受信し続ける。

【0013】

本発明の実施形態の利点は、前記フレキシブル光ネットワークのリンク上で、スペクトルリソースの使用にデフラグ (最適化) を実行することができるということである。方法は、光路が、トラフィックの中断なく、かつ追加の予備的トランスポンダ又は再等化 (例

えば、電力平準化)動作を必要とせずに、新たなスペクトル位置に移動することを可能にする。光路設定/切断プロセス又はトラフィックトリビュータリでの切り替え動作が実行されないで、トラフィックの中断はない。リンクごとの(即ち、トラバースされた光増幅器ごとの)アクティブ光路の数が一定のままなので、光強度の再等化の必要はない。

【0014】

本発明の実施形態による方法は、プッシュプル法と呼ぶことができるが、これは、送信元ノードが光路を、光源(例えば、レーザー)の伝送波長の再調整により新たなスペクトル位置に「押し(pushes)」、宛先ノードでの波長が、送信元ノードの波長の変更に従って「引かれる(pulled)」からである。

【0015】

前記第2のスペクトルリソースは、前記第1のスペクトルリソースと周波数で連続することができ、又は前記第2のスペクトルリソースは、前記第1のスペクトルリソースと周波数で重複することができる。他の実施形態では、前記第2のスペクトルリソースは、中間スペクトルリソースにより、前記第1のスペクトルリソースからオフセットすることができる。有利には、追加のスペクトルリソースを予約する前記ステップは、前記中間スペクトルリソースを予約し、解放する前記ステップはまた、前記中間スペクトルリソースを解放する。有利には、方法は、前記中間スペクトルリソースが利用可能であることを判定することをさらに含む。

【0016】

有利には、前記宛先ノードには前記光路を受けるための受信機があり、前記光源を再調整する前記ステップは、前記受信機の自動周波数調整性能範囲内の速度で実行される。

【0017】

有利には、前記光路に割り当てられたスペクトルリソースの量は、前記第1のスペクトル位置及び前記第2のスペクトル位置で同一のままである。しかしながら、実施形態において、前記リソースの量を変更することが可能である。

【0018】

方法は、制御プレーンシグナリング、及び/又は管理プレーンシグナリングで実施することができる。有利には、方法は、既存のシグナリングフォーマットへの追加の拡張がなくても実施することができる。技術は、集中型(例えば、経路計算エンティティ、PCEによる)又は分散型のいずれかである経路計算を含むフレキシブル光ネットワークの中の様々なビットレート及び変調フォーマットに適している。

【0019】

本発明の別の態様は、光ネットワークの送信元ノードと宛先ノードとの間の光路のスペクトル位置を変更する方法であって、前記光ネットワークは、スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用し、前記光路には、第1のスペクトル位置に第1のスペクトルリソースが割り当てられている、方法を提供する。方法は、ネットワーク管理システムで、前記送信元ノード又は前記宛先ノードに、先ほど記述された方法、又は以下のページに記述される方法を実行させることを含む。

【0020】

フレキシブル光ネットワークは、フレキシブルグリッド上で動作する、スタンドアロンの光クロスコネクタ(例えば、再構成可能な光アドドロップマルチプレクサ、ROADM)に基づくことができ、又はパケットオプトデバイス(POTP)に統合された光学構成要素を伴うことができる。

【0021】

本発明の別の態様は、スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用する光ネットワークのノードで使用する装置を提供する。装置は、第1のスペクトル位置に第1のスペクトルリソースが割り当てられる光路をサポートするために配置されるトランスポンダを備える。前記トランスポンダは、光源を備える。装置は、前記第1のスペクトルリソースと周波数が連続する追加のスペクトルリソースを、前記光路に対して予約することにより、前記光路のスペクトル位置の変更をサポートするために配置されるコントローラ

10

20

30

40

50

ーをさらに備える。前記コントローラーは、前記光路が、前記第1のスペクトルリソースの前記第1のスペクトル位置での使用から、第2のスペクトルリソースの第2のスペクトル位置での使用まで、周波数の中を移動するように、前記光源を前記ノードで再調整するために配置され、前記第2のスペクトルリソースは、追加のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを含む。前記コントローラーは、前記第1のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを解放するために配置される。前記ノードは、前記光路の前記スペクトル位置の前記変更中に、トラフィックを、前記光路を介して送信し続けるために配置される。

【0022】

本発明の別の態様は、スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用する光ネットワークのノードで使用する装置を提供する。装置は、第1のスペクトル位置に第1のスペクトルリソースが割り当てられる光路をサポートするために配置されるトランスポンダを備える。装置は、前記第1のスペクトルリソースと周波数が連続する追加のスペクトルリソースを、前記光路に対して予約することにより、前記光路のスペクトル位置の変更をサポートするために配置されるコントローラーをさらに備える。前記コントローラーは、前記光路が、前記第1のスペクトルリソースの前記第1のスペクトル位置での使用から、第2のスペクトルリソースの第2のスペクトル位置での使用まで、周波数の中を移動した後に、前記第1のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを解放するために配置され、前記第2のスペクトルリソースは、前記追加のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを含む。前記ノードは、前記光路の前記スペクトル位置の前記変更中に、トラフィックを、前記光路を介して受信し続けるために配置される。

【0023】

本発明の別の態様は、スペクトル割り当てのためのフレキシブルグリッドを使用する複数のノードを備える光ネットワークのためのネットワーク管理システムを備える。前記ネットワーク管理システムは、コントローラーを備える。前記ネットワーク管理システムは、前記ネットワークのノードと通信するためのシグナリングインターフェースを備える。前記コントローラーは、命令を前記ノードに送信し、先ほど説明された、又は以下で説明される方法を実行するために配置される。

【0024】

ここで説明する機能は、ハードウェアで、処理装置によって実行されるソフトウェアで、またはハードウェアとソフトウェアとの組み合わせにより、実装することができる。処理装置は、コンピュータ、プロセッサ、状態機械、ロジックアレイ又は任意の他の適切な処理装置を含むことができる。処理装置は、汎用プロセッサに必要なタスクを実行させるソフトウェアを実行する汎用プロセッサとすることができ、または処理装置は、必要な機能を実行する専用のものでとすることができ、本発明の別の態様は、プロセッサにより実行されると、説明された方法のいずれかを実行する機械可読命令（ソフトウェア）を提供する。機械可読命令は、電子メモリデバイス、ハードディスク、光ディスク又は他の機械可読記憶媒体に格納することができる。機械可読媒体は、非一時的な媒体とすることができる。機械可読命令は、ネットワーク接続を介して記憶媒体にダウンロードすることができる。

【0025】

本発明の実施形態について、図面を参照しながら、単なる例として、説明する。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1A】 光通信ネットワーク及び光路へのスペクトル割り当ての一部を示す。

【図1B】 光通信ネットワーク及び光路へのスペクトル割り当ての一部を示す。

【図1C】 リソースの図1Aの光路のうちの一つへの割り当てを変更し、図1Bに示される割り当てに到達するための、メイクビフォアブレイクと呼ばれるデフラグプロセスを示す。

【図2】 フレキシブルグリッド割り当て方式を示す。

【図 3】フレキシブル光ネットワークで使用するためのノードを示す。

【図 4】リソースの光路への割り当てを変更するための、本発明の実施形態による方法を示す。

【図 5 A】中間リソースの予約を示す。

【図 5 B】光路の元のスペクトル位置及び光路の新たなスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソースに重複がある場合の、本発明の実施形態による方法を示す。

【図 5 C】光路の元のスペクトル位置と比較して、光路の新たなスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソースに増加がある場合の、本発明の実施形態による方法を示す。

【図 5 D】光路の元のスペクトル位置と比較して、光路の新たなスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソースに減少がある場合の、本発明の実施形態による方法を示す。

【図 6】送信元ノードで実行することができる光路のスペクトル割り当ての変更方法を示す。

【図 7】宛先ノードで実行することができる光路のスペクトル割り当ての変更方法を示す。

【図 8】光路のスペクトル割り当ての変更方法を実行するための制御プレーンシグナリングを示す。

【図 9】光路のスペクトル割り当ての変更方法を実行するための管理プレーンシグナリングを示す。

【図 10】ネットワーク管理システムのノードを示す。

【図 11】デフラグを実行した結果を示す。

【図 12】方法をコンピュータベースで実装するための処理装置を示す。

【発明を実施するための形態】

【0027】

図 1 A を再び参照すると、ノード A ~ D を含む光伝送ネットワーク 2 が示される。光伝送リンク 11 は、ノード 10 に接続する。トラフィックは、ラムダとも呼ばれる波長チャネルによってリンク 11 上で搬送される。光路の送信元ノード及び宛先ノードには、トラフィックをラムダに光学的に伝送し、トラフィックをラムダ上で光学的に受信するための光トランシーバがある。有利には、ノードは、ラムダの波長に基づきトラフィックを転送するために配置された光クロスコネクタを備える。

【0028】

光ネットワーク 2 は、フレキシブル光ネットワークである。送信元ノードでのトランスポンダは、光搬送波信号を、可能な変調フォーマットの範囲のうちの一つを使用して、データで変調するために配置され、宛先ノードにおけるトランスポンダは、変調された光搬送波信号を、相補的な復調技術を使用して復調するために配置される。トランスポンダは、様々なビットレートで動作することができる。トランスポンダの動作波長は、可能な波長の範囲から構成することができる。ネットワーク 2 は、可変帯域幅の光チャネルをサポートする。図 2 は、フレキシブル光ネットワーク 2 のノード 10 をより詳細に示す。

【0029】

フレキシブル光ネットワーク 2 は、図 2 に示される周波数リソースのフレキシブルグリッドを使用する。周波数リソースは、必要に応じて光路に割り当てられる。フレキシブルグリッド 20 の一つの実施例は、6.25 GHz などの固定値だけ間隔を置く 22、周波数値 21 のグリッドを使用する。光路には、グリッドの値から選択された公称中心波長を割り当てることができる。チャネルの帯域幅は、様々な数の周波数スロットの占有することができる。図 2 は、異なる帯域幅の 3 つの光路 23、24、25 を示す。光路 25 は、公称中心波長 26 を有する。光路に割り当てられた周波数スロットの数は、ビットレート；変調方式；前方誤り訂正（FEC）方式などの光路の伝送パラメータによって決定することができる。伝送パラメータは、光路の距離（リーチ）（the distance of the light path（reach））、及び光路に沿って可能な伝送の質によって決定されてもよい。

【0030】

図3は、フレキシブル光ネットワーク2のノード10の一例を示す。まず、伝送に関連する機能が考慮される。トランスポンダ30は、前方誤り訂正(FEC)符号化31を、送信元から受信されたデータ信号に適用するために配置される符号器31を備える。FEC方式は、複数の可能なFEC方式から選択することができる。トランスポンダ30は、光搬送波信号を、可能な変調フォーマットの範囲のうちの一つを使用して、符号化された信号で変調するために配置される変調器32を備える。レーザーなどの光源33は、光信号を変調器32に供給する。

【0031】

次に、受信に関連する機能が考慮される。トランスポンダ30は、信号を送信元ノードで変調するために使用される方式と相補的である復調技術を使用して、受信された光信号を復調するために配置される復調器35を備える。復調方式は、可能な変調フォーマットの範囲から選択することができる。復号器36は、復調信号を、信号を送信元ノードで符号化するために使用されるものと相補的である復号技術を使用して、復号する。復調器35は、局部発振器(LO)37及び自動周波数制御(AFC)機能38を使用する。LO37とAFC38により、復調器は、信号を、特定のウィンドウの周波数内で追跡することができる。

【0032】

各ノード10で、可変帯域光クロスコネクタ(BV-OXC)39は、スペクトル占有に従って、一組の異なる波長信号を送信方向に多重送信し、一組の波長信号を受信方向に多重分離する。光路に沿った中間ノードで、BV-OXCは、周波数に従って、入力ポートと出力ポートとの間の信号のルートを決する。BV-OXCは、例えば、チャンネル1には25GHz、チャンネル2には75GHzなど、チャンネルごとに様々な量の帯域幅を扱うことができる。

【0033】

トランスポンダ30は、2.5Gb/s、10Gb/s、40Gb/s、100Gb/s、200Gb/s、400Gb/s、1Tb/sなどの一又は複数のビットレートで、送信又は受信をサポートすることができる。将来のシステムは、より高いビットレートを使用するかもしれない。トランスポンダは、オンオフキーイング(OOK)などの一又は複数の変調フォーマット、又は差動直交位相シフトキーイング(DQPSK)、二重偏波直交位相シフトキーイング(DP-QPSK)、直交振幅変調(P-QAM)及び二重偏波直交振幅変調(DP-QAM)などの位相変調フォーマットを使用して、送信又は受信をサポートすることができる。

【0034】

図4は、フレキシブル光ネットワークに適する本発明の実施形態によるデフラグ方法を示す。図4は、図1Cと同一の最終的なスペクトル割り当てを実現する図1Cの方式に代わる方式を示す。方法を実施する前の、光路の元のスペクトル位置のスペクトル割り当ては、図1A及び図4のステップ0に示される。方法を実施した後のスペクトル割り当ては、図1B及び図4のステップ3に示される。最初に、方法を実施する前に、光路13には、公称中心周波数 f_1 を含む周波数スロットのブロック50が割り当てられる。ブロック50は、下側エッジ及び上側エッジを有する。方法のステップ1には、既存の光路13に割り当てられたスペクトルリソースの再構成がある。この「再構成」は、既存の光路に割り当てられたリソースの量を増加させることを含む。この例では、光路の最後のスペクトル位置は、より低い周波数(即ち、 $f_0 < f_1$)である。ステップ1では、光路に割り当てられたスペクトルリソースは、ブロックの下側エッジが外に向かって移動しつつ、より低い周波数側で増加する51。光路への全体のスペクトル割り当ては、元のスペクトル位置(ステップ0)で光路に割り当てられたリソース、及び、新たなスペクトル位置(ステップ3)で光路に割り当てられるであろうリソースを含む。図4に示される例では、新たなスペクトル位置は、元のスペクトル位置と直接隣接し、ステップ1での全体のスペクトル割り当ては、元の割り当ての2倍である。例えば、元のスペクトル割り当てが k 個のスロットである(ここで、 k は1以上の整数である)場合に、ステップ1での全スペクトル

10

20

30

40

50

の割り当ては、少なくとも $2k$ 個のスロットである。割り当ては、新たなスペクトル位置と元のスペクトル位置とを分離する、可能な保護帯域のために、「少なくとも」 $2k$ 個のスロットとなりうる。しかし、一般的なケースでは、元のスペクトル位置及び新たなスペクトル位置の公称中心波長は、任意の同一ではない値（即ち、 $f_1 \neq f_0$ ）とすることができる。新たなスペクトル位置が元のスペクトル位置に直接隣接していない場合に、ステップ1での全体のスペクトル割り当ては、元の割り当ての2倍を上回るだろう。例えば、元のスペクトル割り当てが k 個のスロットであり（ここで、 k は1以上の整数）、新たなスペクトル位置が元の位置から $2k$ 個のスロットだけオフセットされる場合に、全体のスペクトル割り当ては、少なくとも $k + 2k + k$ スロット $= 4k$ スロットということになる。追加のリソースは、光路に沿ってすべてのノードで予約される。

10

【0035】

ステップ2では、既存の光路は、元のスペクトル位置（ステップ0、1に示される）から、最終的なスペクトル位置（ステップ3に示さる）まで、周波数の中を移動する。公称中心周波数は、 f_1 から f_0 まで変更される。 f_B が送信元ノードBで送信機レーザーの実際の中心周波数であり、 f_D が宛先ノードDで局部発振器の実際の中心周波数であるとする。そのとき、ステップ2の開始時には、

$$f_B \simeq f_D \simeq f_1$$

20

である。次に、周波数 f_B は、特定の周波数掃引速度 f' で伝送元（TX source）（例えばレーザー）を調整することにより、 f_1 から f_0 まで押される。受信機の自動周波数制御（AFC）性能により、受信機は、周波数の中で移動する間に、光路を進むことができる。コヒーレント受信機の場合、受信機は、増加する周波数オフセットを、デジタル的に推定し補償する、即ち、

$$\Delta f = |f_D - f_B| \quad \text{である。}$$

AFCの最大オフセット許容値は、 Δf_{MAX} であるとする。有利には、 Δf が Δf_{MAX} を上回ることを防ぐために、 Δf のデジタル推定値は、 f_D を制御するためのフィードバック誤差信号として使用される。このように、 f_D は、 f_B に続き、 f_1 から f_0 までゆっくりと引っ張られる。ゆえに、ステップ2の終了時には、

30

$$f_B \simeq f_D \simeq f_0$$

となる。コヒーレント受信機におけるAFCの詳細な説明は、例えば、2009年7月の定期刊行物、Lightwave Technology、27巻13号の2357～2369頁に記載された、G. Colavolpe、T. Foggi、E. Forestieri、及びG. Pratiによる、「受信機での線形処理を含む堅牢なマルチレベルコヒーレント光学系（RoBust multilevel Coherent optical systems with Linear processing at the receiver）」に提供されている。

40

【0036】

ステップ3には、光路に割り当てられたスペクトルリソースの更なる再構成がある。この再構成は、ステップ0で、光路の元のスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソースのうちの少なくともいくつかを解放することを含む。ステップ3は、光路の新たなスペクトル位置にもう必要とされないスペクトルリソースを解放する。ステップ3は、ステップ0で、光路の元のスペクトル位置に割り当てられていたスペクトルリソースのすべてを解放することができる。図1A～1Bの例では、公称中心周波数 f_0 を有する k 個のスロットが、光路に割り当てられたリソース内に含まれた状態で、もともと光路に割り当てられていた公称中心周波数 f_1 についての k 個の周波数スロットが解放される。

【0037】

50

この方法の利点は、図 4 に示されるステップすべてを、光路がトラフィックを搬送し続ける間に、トラフィックへの中断なしに、実行できることである。光路は、方法が開始する前に、ステップ 0 でトラフィックを搬送していて、トラフィックをステップ 1 ～ 3 を通して搬送し続ける。トラフィックを搬送するために使用されている光路は、アクティブ光路、又はインサース光路と呼ぶことができる。光路の送信元ノードは、光路のスペクトル位置の変更中に、トラフィックを、光路を介して送信し続けるために配置され、光路の宛先ノードは、光路のスペクトル位置の変更中に、トラフィックを、光路を介して受信し続けるために配置される。

【0038】

図 4 は、光路の新たなスペクトル位置が元のスペクトル位置よりも周波数の低い場合の例を示す。方法はまた、光路の新たなスペクトル位置が元のスペクトル位置よりも周波数の高い状況に適用することもできる。ステップ 1 で、追加のリソースは、スペクトルの高周波数部分に割り当てられ、ステップ 2 で、既存の光路は、元のスペクトル位置よりも周波数が高い、新たなスペクトル位置に移動される。

【0039】

前述したように、光路の元のスペクトル位置及び光路の新たなスペクトル位置は、周波数が隣接する必要はないが、他の中間のスペクトルリソースにより、オフセットすることができる。図 5 A は、元のスペクトル位置 6 1、新たなスペクトル位置 6 2、及び中間スペクトルリソース 6 3 を含む、この状況における方法のステップ 2 で割り当てられるリソース全体の例を示す。この状況では、中間スペクトルリソース 6 3 は、方法の間中、干渉を回避するために、他の光路への割り当てを解除されるべきである。

【0040】

図 5 B は、光路の元のスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソース 5 0 と、光路の新たなスペクトル位置に割り当てられたリソース 5 4 とに重複がある状況の例を示す。この状況は、元のスペクトル位置と新たなスペクトル位置との間に比較的小さな周波数シフトがある場合に、起こる可能性がある。ステップ 1 で割り当てられた追加のリソース 5 1 は、比較的小さい可能性があり、光路の元の位置に既に割り当てられているリソースの量を下回るだろう。ステップ 3 で、光路の元のスペクトル位置に割り当てられたリソース 5 0 の一部が解放され、光路の元のスペクトル位置に割り当てられたリソース 5 0 の一部は、新たなスペクトル位置で再び使用される。スペクトルリソース 5 4 は、光路の元のスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソース 5 0 の一部とともに、ステップ 1 で追加された追加のスペクトルリソース 5 1 のすべてを含む。

【0041】

これまでに説明された例では、光路に割り当てられたスペクトルリソースの量は、スペクトル位置のシフト前と後とでは同一のままであり、即ち、帯域幅は同一のままである。これは、通常の状態であると予想される。

【0042】

他の実施形態では、スペクトル位置での移動を、光路に割り当てられたスペクトルリソースの量の変更に組み合わせることが可能である。図 5 C は、光路の元のスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソース 5 0 と比較して、光路の新たなスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソース 5 4 に増加がある場合の、本発明の実施形態による方法を示す。図 5 D は、光路の元のスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソース 5 0 と比較して、光路の新たなスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソース 5 4 に減少がある場合の、本発明の実施形態による方法を示す。光路の元のスペクトル位置に割り当てられたスペクトルリソース 5 0 と、図 5 B に示されたものに類似の方法で、図 5 C 及び図 5 D の光路の新たなスペクトル位置に割り当てられたリソース 5 4 とに、重複が存在する可能性がある。

【0043】

この方法は、非コヒーレント受信機（例えば、直接検出を含む OOK 変調フォーマット）を含むフレキシブル光ネットワークの中で使用することができる。この場合、ステップ

10

20

30

40

50

2において、伝送（TX）は、送信元ノードから宛先ノードへの伝送路に沿ったすべてのフィルタがステップ1にしたがって構成されるという条件で、全体の受信光強度が光検出されるので、受信機での任意の自動周波数制御（AFC）性能を必要とせずに、 f_1 から f_0 に押すことができる。

【0044】

図6は、光路の送信元（伝送）ノードにより実行される、光路のスペクトル位置を変更する方法を示す。図6に示されるステップは、光路がトラフィックを搬送するために使用されている間に、発生する。ステップ100で、光路のスペクトル位置の変更が決定される。光路は、第1のスペクトル位置を占有し、第1のスペクトルリソースが割り当てられる。ステップ101は、追加のスペクトルリソースを光路に対して予約することを含む。追加のスペクトルリソースは、第1のスペクトルリソースと周波数が連続する。ステップ102は、元のスペクトル位置で使用する第1のスペクトルリソースと新たなスペクトル位置で使用する第2のスペクトルリソースとの間に、任意の中間スペクトルリソースがあるかどうかを判定する。中間スペクトルリソースがない場合に、方法はステップ105に進み、光路が、第1のスペクトルリソースの使用から、第2のスペクトルリソースの使用まで、周波数の中を移動するように、光源を送信元ノードで再調整する。ステップ106は、第1のスペクトルリソースの少なくともいくつかを解放する。ステップ102に戻り、中間スペクトルリソース（例えば、図5Aに示されるリソース63）がある場合に、方法は、ステップ103に進み、中間のスペクトルリソースが利用可能であるかどうかを判定する。利用可能である場合に、方法は、前述同様にステップ105に進む。ステップ106で、中間スペクトルリソースもまた解放される。ステップ103が、中間スペクトルリソースが利用可能でないと判定した場合に、方法は、ステップ104に進む。方法は、（図1Cに示されるように、かつ先ほど述べられたように、新たな光路が既存の光路と分離したスペクトルのブロックに位置付けられた状態で）光路のスペクトル位置を変更するために、メイクビフォアブレイク技術を試みることができるか、方法は、さらなるアクションなしに終了することができるかのどちらかである。

【0045】

図7は、光路の宛先（受信）ノードにより実行される、光路のスペクトル位置を変更する方法を示す。図7に示されるステップは、光路がトラフィックを搬送するために使用されている間に、発生する。ステップ110は、追加のスペクトルリソースを既存の光路に対して予約することを含む。追加のスペクトルリソースは、第1のスペクトルリソースと周波数が連続する。選択的に、ステップ111は、光路が、第1のスペクトルリソースから第2のスペクトルリソースまで、周波数の中を移動する間に、光路を追跡することを含む。先ほど説明されたように、受信機の種類によっては（例えば、非コヒーレント受信機）、このステップを必要としないこともある。ステップ112は、第1のスペクトルリソースのうちの少なくともいくつか（及び任意の中間スペクトルリソース）を解放することを含む。

【0046】

上述の方法は、制御プレーンシグナリングを使用して、又は管理プレーンシグナリングにより、実行することができる。方法の制御プレーンの実装によって、一つのノードは、光路のスペクトル位置を変更するためのプロセスを開始し、汎用マルチプロトコルラベルスイッチング（GMPLS）制御プレーンの一部を形成する、リソース予約プロトコルトラフィックエンジニアリング（RSVP-TE）シグナリングなどの制御プレーンシグナリングを使用して、光路に沿って、他のノードに信号を送信する。管理プレーンの実装によって、ネットワーク管理システム（NMS）又は類似のエンティティは、方法を開始し、光路に含まれる各ノードに信号を送り、スペクトルリソースの予約；スペクトルリソースの解放；光源再調整の制御などのパラメータをノードで構成することができる。

【0047】

方法は、方法専用の任意の新たな制御プレーンを拡張しなくても、実施することができる。図8は、ノードB-D間の光路のスペクトル位置を移動させる必要がある、図1A及

10

20

30

40

50

び図 1 B に示されたシナリオに関する B-D 間の制御プレーンシグナリングを示す。スペクトルリソースの予約は、スペクトルリソースを予約し（ステップ 1、71）、スペクトルリソースを解放する（ステップ 3、73）必要がある、考慮されたルートに沿って、すべてのノードを含む既存の制御プレーン動作（例えば、シグナリング）により、達成することができる。周波数再調整（ステップ 2）は、任意の追加の又は特定の送信元と宛先との間の通信がなくても実施することができる。

【0048】

利点は、より効果的な動作（例えば、グローバルデフラグ手順）を有効にするための機能などの、追加のコントロールプレーン又は管理プレーンシグナリング情報を提供することにより、得ることができる。追加のシグナリング情報のいくつかの例は、発生するであろう公称中心波長の変更についての情報など、光路のスペクトル位置の変更について、ノードに明確に通知することを含む。この情報は、ノードに波長の変更を予想するよう準備させることができる。この情報は、予想される波長の変更のために A F C を構成し、又は公称中心波長の著しい変更が宛先ノードで検出されるときに、警報発生を回避するなどの目的で、宛先ノードにより様々な方法で 사용할 ことができる。

【0049】

有利には、宛先ノードは、光路が、第 1 のスペクトルリソースを第 1 のスペクトル位置で使用する ことから、第 2 のスペクトルリソースを第 2 のスペクトル位置で使用する ことまで、周波数の中を移動する際に、通常発生しうる任意の警報を抑制するために配置することができる。

【0050】

図 9 は、ノード B-D 間の光路のスペクトル位置を移動する必要がある、図 1 A 及び図 1 B に示されるシナリオについての方法の管理プレーンの実施を示している。ネットワーク管理システム（N M S）は、光路のスペクトル位置の変更に含まれる各ノード B-D に信号を送る。N M S は、スペクトルリソースを光路の新たなスペクトル位置に予約するために、ノード B-D の各々に信号を送る 81。再調整は、N M S と送信元ノード B との間でのシグナリング 82 により、開始することができる。ノード B は、83 で再調整を行う。N M S は、光路がいったん新たなスペクトル位置に移動すると、スペクトルリソースを解放するために、ノード B-D の各々に信号を送る 84。

【0051】

図 10 は、管理プレーンの実装に関連した装置を示す。ネットワーク管理システムのノード 90 は、コントローラー 91、及びネットワーク 2 のノード 10 と通信するためのインターフェース 92 を備える。コントローラー 91 は、信号を、インターフェース 92 を介してノード 10 に送信するために配置される。図 9 に示されるように、コントローラー 91 は、リソースを光路に沿ってノードで予約する；送信元ノードで再調整する；及び光路が新たなスペクトル位置に移動されたら、リソースを光路に沿ってノードで開放するために、信号を、インターフェース 92 を介して送信することができる。必須ではないが、N M S 90 は、宛先ノードに、光路が移動／再調整される予定であることを通知してもよい。

【0052】

ルーティングプロトコルは、リソース可用性情報を広めるために使用することができる。この場合、いずれかのノードが、ネットワークで利用可能な／占有されたリソースのすべて（例えば、オープンショーテストパスファーストトラフィックエンジニアリング（O P S F-T E）エリア）を認識している。ゆえに、ノードは、ネットワークのステータスを評価し、そのノードが入口ノードとして働く光路の再最適化の実行を決定することができる。より一般的に、リソースの再最適化は、N M S のような集中素子により行われる。

【0053】

この方法は、経路計算が集中型（P C E）又は分散型（送信元ノードにより実行される）のどちらかであるフレキシブル光ネットワークの中の様々なビットレート及び変調フォ

10

20

30

40

50

ーマットに適している。

【0054】

デフラグ動作は、一般的に厳しい時間要件を有していない（例えば、デフラグ動作は、数分の間隔で実行することができる）が、ここで説明される方法は、安全であり（即ち、トラフィック損失がなく）、かつ高速である（例えば、1秒未満の時間周期内の）方法で動作すると予想される。注目すべきは、提案された発明の適用分野が、フレキシグリッドスタンドアロンOX C（例えば、WS ONシナリオにおけるフレキシグリッドグリッドで動作するROADM）に限定されないこと、及び提案された発明の適用分野はまた、POT Pデバイスに統合された光学要素でも可能であることである。このようなマルチ技術機器では、提案されるアイデアは、パケットレイヤでの最適化に、光レイヤでのさらなるレベルの帯域幅の最適化を追加する。

10

【0055】

AFC実装の考慮事項

採用されるAFC戦略（例えば、データ支援又は非データ支援、開ループ又は閉ループ）次第で、異なるオフセット許容値 Δf_{MAX} 及び追跡速度が達成可能である。一般的には、 R_s のシンボルレート対して、最大許容オフセットは、（光電子フロントエンド帯域幅により制限されても）少なくとも $\Delta f_{MAX}=0.1R_s$ であり、残りの（AFC後の）オフセット

$$\Delta f < 10^{-3} R_s$$

20

は、性能低下を回避するために取得されるべきである。

【0056】

従って、AFCは、性能が低下することなく、 f を追跡するように（その等価帯域幅を設定することにより）容易に設計することができる。さらに、局部発振器周波数 f_D は、大まかで（ Δf_{MAX} よりも正確であり）低速な（ f_B と同一の速度であり、 $\Delta f_{MAX}=f'$ よりも短いループ遅延を含む）制御を必要とするのみである。

【0057】

現実的な例として、100 GB/sでレーザー掃引速度 $f' = 5 \text{ THz/s}$ のDP-QPSKに対して、2.5 GHzを下回る精度及び0.5 msより短いループ遅延で制御される f_D を考慮すると、再調整動作は、1秒未満で完了する。

30

【0058】

性能評価

方法は、光路を、元の経路の同一ルートに沿って、連続した自由スペクトル周波数だけに移動させることにより、（トラフィックの中断なく）デフラグを実行する。以下で、プッシュプル技術のグローバルなデフラグ性能が、この特定の制約も説明することにより評価される。性能評価は、 $N=21$ のノード及び $L=25$ のリンクを含む、テレコムイタリアスパークルの接続形態を有するフレキシブル光ネットワークを介したシミュレーションにより行われる。一組の一方光路要求が考慮される。各光路は、100 Gb/sで動作し、幅12.5 GHzの $k=4$ のスロットを占有する。具体的には、6つの関連都市の間でのノードペアごとの1つの光路要求の均一なトラフィック行列が考慮される（合計30の一方光路要求）。 $F=10$ の連続した公称中心周波数（即ち、40のスロット）のリンク容量は、考慮されるトラフィック行列を収容するために利用される。各シミュレーションでは、（例えば、動的な又は予期せぬネットワーク成長により）断片化された光ネットワークを再生するために、時間 $t=0$ での（即ち、デフラグ前の） P_0 の組のアクティブ光路は、各要求を、 F の利用可能な周波数のうちの一つを介して、その最短経路に沿って、不規則に割り当てることにより、定義される。複数の等しいコスト最短経路が存在するときに、不規則な選択が実行される。その後、 Λ_t が、ネットワーク全体

40

$$(\Lambda \leq F, \forall t)$$

50

の時間 t での占有公称中心周波数の実際の数を示すために使用される。 Λ_0 は、その後、（与えられた）実際の初期値 ($\Lambda_0 = F$) を表す。

【0059】

各シミュレーションは、プッシュプル技術を適用することにより、考慮されるネットワークシナリオのデフラグを含む。便宜上、重要な並列処理が達成できるであろうが、シミュレーションでは、時間周期ごとに一つだけの連続する中心周波数に対する一つだけの再調整が、ここでは考えられる。 $T = 10$ までの時間周期が考慮される。

【0060】

デフラグを有効にすることができる可能な目的関数の中で、ここでは、占有公称中心周波数の最終量の最小値、即ち Λ_T を適用する。100回のシミュレーションが実行された。提案される技術のデフラグ性能は、プッシュプルの制約なく達成される理想的な性能と比較される。理想的なケースでは、占有中心周波数の初期値から60%の減少が常に達成される ($\Lambda_T = 4$)。図11に示されるように、プッシュプル技術は、64%のケースでは、 $\Lambda_0 = 10$ から $\Lambda_T = 5$ まで（即ち、50%）の占有周波数の減少を達成し、19%のケースでは、周波数の60%の減少、即ち、 $\Lambda_T = 4$ の同一の理想的な値の効率的取得を達成する。

【0061】

図12は、計算デバイス及び／又は電子デバイスの任意の形態として実施することができる、上述のシステム及び方法の実施形態を実施することができる、例示的な処理装置130を示す。処理装置130は、ノード10のうちの一つ、又はネットワーク管理システムの一部を形成するノード90に提供することができる。処理装置は、図6又は7に示される方法を実施することができる。処理装置130は、マイクロプロセッサ、コントローラ、又はデバイスの動作を制御するための命令を実行する任意の他の適する種類のプロセッサでありうる一又は複数のプロセッサ131を備える。プロセッサ131は、一又は複数のバス136を介して、装置の他の構成要素に接続される。プロセッサが実行可能な命令133は、メモリ132のような任意のコンピュータ可読媒体を用いて提供することができる。プロセッサが実行可能な命令133は、記載された方法の機能を実施するための命令を含むことができる。メモリ132は、読み取り専用メモリ (ROM)、ランダムアクセスメモリ (RAM)、磁気又は光記憶デバイスのような任意のタイプの記憶デバイスなど、任意の適する種類のものである。追加のメモリ134は、プロセッサ131によって使用されるデータ135を記憶するために提供することができる。処理装置130は、ネットワーク2の他のノード10など、他のネットワークエンティティとインターフェースで接続するための一又は複数のネットワークインターフェース138を備える。

【0062】

開示された本発明の修正及び他の実施形態が、前述の説明及び関連する図面に提示された教示の利益を有する当業者の頭には浮かぶだろう。それゆえに、本発明は、開示された特定の実施形態に限定されるものではないこと、並びに修正及び他の実施形態は、本開示の範囲内に含まれることが意図されることが理解されるべきである。特定の用語が本明細書で用いられることもあるが、それらは、一般的かつ説明的な意味で使用されているだけで、限定を目的としているのではない。

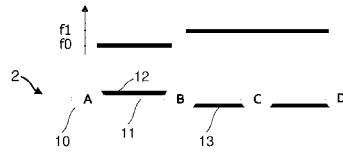
10

20

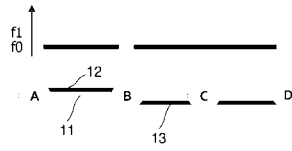
30

40

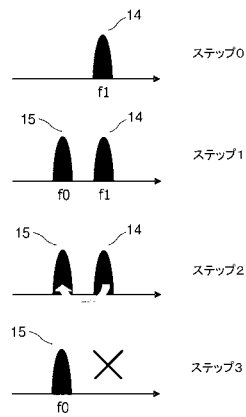
【図 1 A】



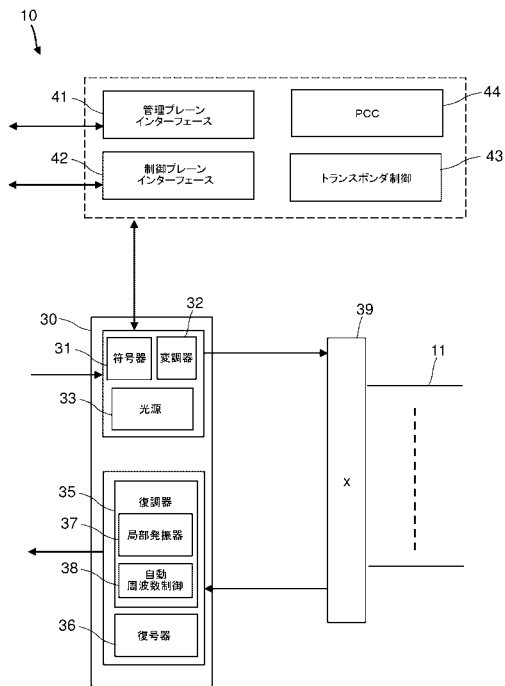
【図 1 B】



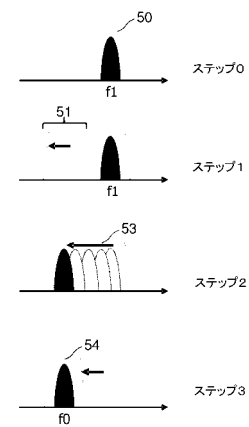
【図 1 C】



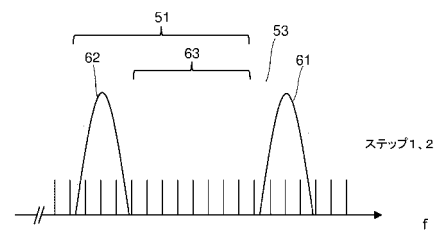
【図 3】



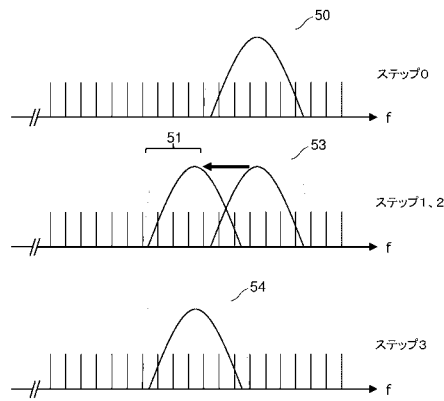
【図 4】



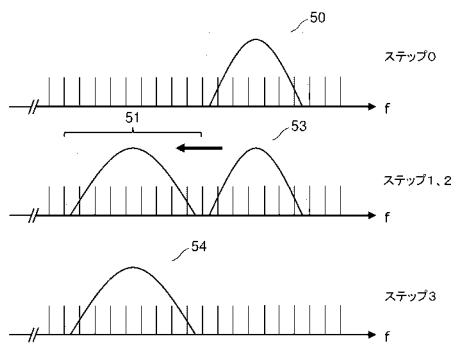
【図 5 A】



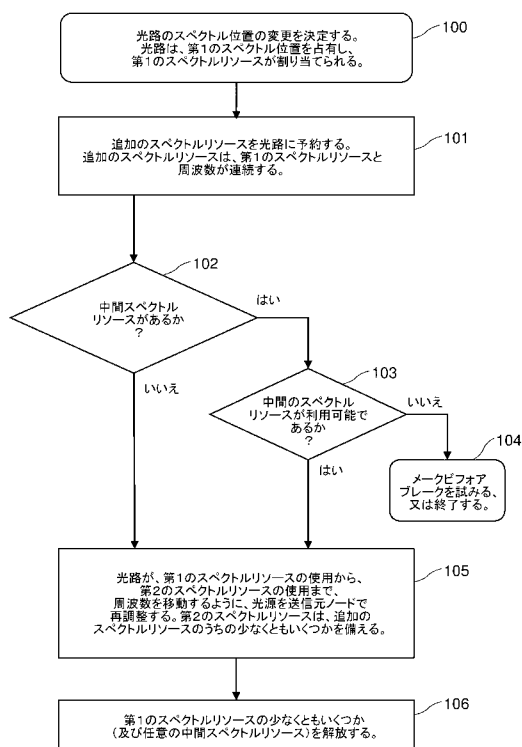
【図 5 B】



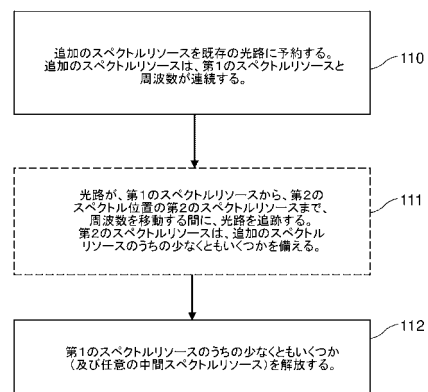
【図 5 C】



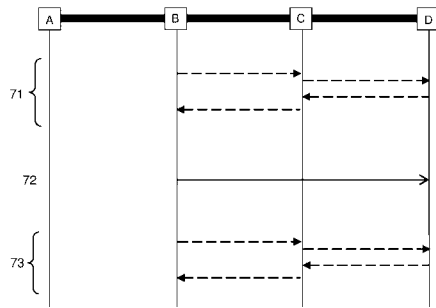
【図 6】



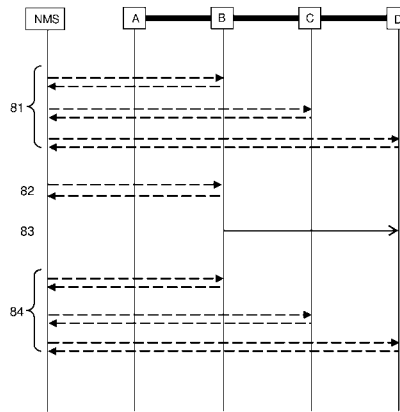
【図 7】



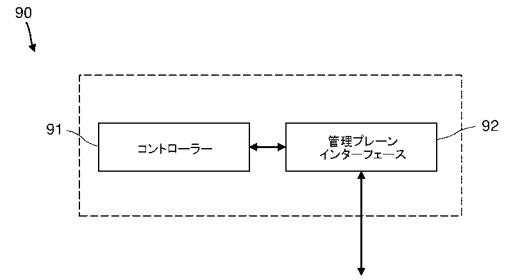
【図 8】



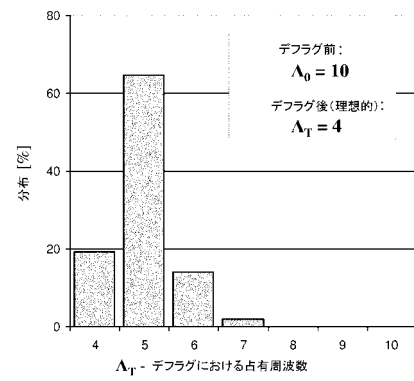
【図 9】



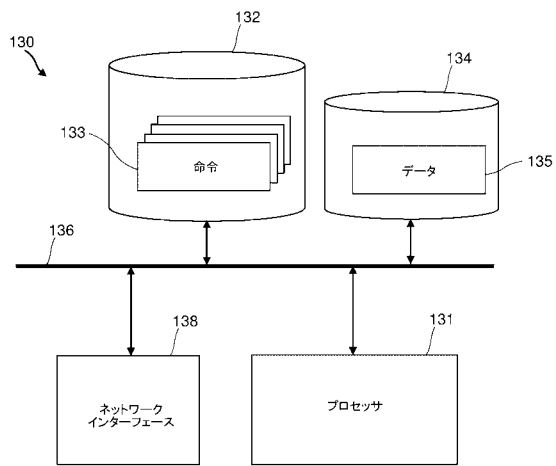
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/055153

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H04J14/02 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H04J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EP0-Internal, INSPEC, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Ori Gerstel: "Flexible use of Spectrum and Photonic Grooming", 25 July 2010 (2010-07-25), XP55024977, Retrieved from the Internet: URL: http://www.opticsinfobase.org/DirectPDFAccess/E282BC0D-E781-F51F-11F367CC61A1278C_204773.pdf?da=1&id=204773&uri=PS-2010-PM-D3&seq=0&mobile=no [retrieved on 2012-04-19] the whole document	1-18
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
1 November 2012		20/11/2012
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer
		Roldán Andrade, J

2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/055153

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	ORI GERSTEL ET AL: "Elastic optical networking: a new dawn for the optical layer?", IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, US, vol. 50, no. 2, 1 February 2012 (2012-02-01), pages s12-s20, XP011417038, ISSN: 0163-6804, DOI: 10.1109/MCOM.2012.6146481 page s14, left-hand column, paragraph 5 - page s19, left-hand column, paragraph 1; figures 2,3,4,5 -----	1-18
X	MASAHIKO JINNO ET AL: "Elastic and adaptive optical networks: possible adoption scenarios and future standardization aspects", IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, US, vol. 49, no. 10, 1 October 2011 (2011-10-01), pages 164-172, XP011385330, ISSN: 0163-6804, DOI: 10.1109/MCOM.2011.6035831 the whole document -----	1-18
A	G. COLAVOLPE; T. FOGGI; E. FORESTIERI; G. PRATI: "Robust multilevel coherent optical systems with linear processing at the receiver", LIGHTWAVE TECHNOLOGY, JOURNAL OF, vol. 27, no. 13, July 2009 (2009-07), pages 2357-2369, XP002686337, cited in the application page 2358, left-hand column, paragraph 1 -----	3-5,9,15

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, T
J, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, R
O, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, H
U, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI
, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN

(72)発明者 カストルディ, ピエロ
イタリア国 56010 ピサ ヴィコピザーノ, ヴィア サンタンドレーア 2
(72)発明者 ボッターリ, ジュリオ
イタリア国 イー57123 リボルノ, ヴィア デイ カラビニエリ 8
(72)発明者 ブルーノ, ジャンマルコ
イタリア国 イー16158 ジェノバ, ヴィア レメルレ 23/20
(72)発明者 サンボ, ニコラ
イタリア国 イー57100 リボルノ, ヴィアーレ イタリア 201
(72)発明者 イオヴァンナ, パオラ
イタリア国 イー00046 ローマ, ヴィア ヴィア フェッリ 3
Fターム(参考) 5K102 AA34 AD01 AH14 AH17 AM02 AM08 MA01 MB02 MB03 MC03
PB13