

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3659977号

(P3659977)

(45) 発行日 平成17年6月15日(2005.6.15)

(24) 登録日 平成17年3月25日(2005.3.25)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

H O 4 L 12/437

H O 4 L 11/00 3 3 1

H O 4 J 3/00

H O 4 J 3/00 U

H O 4 J 3/08

H O 4 J 3/08 B

請求項の数 15 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願平10-525922	(73) 特許権者	テルコーディア テクノロジーズ インコーポレイテッド
(86) (22) 出願日	平成9年12月4日(1997.12.4)		アメリカ合衆国 08854-4157
(65) 公表番号	特表2001-509977(P2001-509977A)		ニュージャージー州 ピスカタウェイ ワン
(43) 公表日	平成13年7月24日(2001.7.24)		ン テルコーディア ドライブ 5ジ-1
(86) 国際出願番号	PCT/US1997/023155		16
(87) 国際公開番号	W01998/025365	(74) 代理人	弁理士 谷 義一
(87) 国際公開日	平成10年6月11日(1998.6.11)		
審査請求日	平成11年7月23日(1999.7.23)	(74) 代理人	弁理士 阿部 和夫
(31) 優先権主張番号	60/032,120	(72) 発明者	チャン, ギークン,
(32) 優先日	平成8年12月6日(1996.12.6)		アメリカ合衆国 07733 ニュージャ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ージー州 ホルムデル イースト ローン
			ドライブ 7
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 存続可能な複数波長光通信ネットワーク用のリング間交差接続

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

少なくとも2つの自動保護切り替え(APS)自己回復型通信リング間の交差接続において、前記通信リングの各々は少なくとも、それぞれの第1の方向に伝搬する第1の光ファイバデータリングと、前記第1の光ファイバデータリングと実質的に平行であって、前記それぞれの第1の方向とは反対のそれぞれの第2の方向に伝搬する第2の光ファイバデータリングとを含み、

前記交差接続は、前記第1の通信リングにおける前記第1の光ファイバデータリングと、前記第2の通信リングにおける前記第1の光ファイバデータリングとを相互接続するスイッチングエレメントを備え、

前記スイッチングエレメントは、前記第1の通信リングおよび前記第2の通信リングにおける前記第1の光ファイバデータリングのいずれか一方を、前記第1の通信リングおよび前記第2の通信リングにおける前記第2の光ファイバデータリングのいずれか一方に相互接続せず、且つ、

前記スイッチングエレメントは、前記第1の通信リングおよび前記第2の通信リングにおける前記第2の光ファイバデータリング同士を相互接続しない、

ことを特徴とする交差接続。

## 【請求項2】

前記スイッチングエレメントは光学的スイッチングエレメントである、ことを特徴とする請求項1に記載の交差接続。

10

20

## 【請求項 3】

全ての前記光ファイバデータリングは波長分割多重化光学的信号を伝達し、前記光学的スイッチングエレメントは前記波長分割多重化光学信号間で波長選択性をもつ、ことを特徴とする請求項 2 に記載の交差接続。

## 【請求項 4】

少なくとも 2 つの経路保護 (PP) 自己回復型通信リング間の交差接続において、前記通信リングの各々は少なくとも、それぞれの第 1 の方向に伝搬する第 1 の光ファイバデータリングと、前記第 1 の光ファイバデータリングと実質的に平行であって、前記それぞれの第 1 の方向とは反対のそれぞれの第 2 の方向に伝搬する第 2 の光ファイバデータリングとを含み、

10

前記交差接続は、

前記第 1 の通信リングにおける前記第 1 の光ファイバデータリングと、前記第 2 の通信リングにおける前記第 1 の光ファイバデータリングとを相互接続する第 1 のスイッチングエレメントであって、該第 1 のスイッチングエレメントは、前記第 1 の通信リングおよび前記第 2 の通信リングにおける前記第 1 の光ファイバデータリングのいずれか一方を、前記第 1 の通信リングおよび前記第 2 の通信リングにおける前記第 2 の光ファイバデータリングのいずれか一方に相互接続せず、且つ、該第 1 のスイッチングエレメントは、前記第 1 の通信リングおよび前記第 2 の通信リングにおける前記第 2 の光ファイバデータリング同士を相互接続しない、第 1 のスイッチングエレメントと、

前記第 1 の通信リングにおける前記第 2 の光ファイバデータリングと、前記第 2 の通信リングにおける前記第 2 の光ファイバデータリングとを相互接続する第 2 のスイッチングエレメントであって、該第 2 のスイッチングエレメントは、前記第 1 の通信リングおよび前記第 2 の通信リングにおける前記第 2 の光ファイバデータリングのいずれか一方を、前記第 1 の通信リングおよび前記第 2 の通信リングにおける前記第 1 の光ファイバデータリングのいずれか一方に相互接続せず、且つ、該第 2 のスイッチングエレメントは、前記第 1 の通信リングおよび前記第 2 の通信リングにおける前記第 1 の光ファイバデータリング同士を相互接続しない、第 2 のスイッチングエレメントと、  
を具備したことを特徴とする交差接続。

20

## 【請求項 5】

2 つの自動保護切り替え (APS) 通信リング間の交差接続において、前記通信リングの各々は少なくとも、各々の前記通信リングの回りを対向する方向に伝搬する第 1 の光ファイバ経路と第 2 の光ファイバ経路とを含み、前記交差接続は、

30

前記 2 つの通信リング内における前記第 1 の光ファイバ経路から入力情報を受信し、且つ前記第 1 の光ファイバ経路に対して出力情報を供給するが、前記 2 つの通信リング内における前記第 2 の光ファイバ経路から入力情報を受信せず、あるいは前記第 2 の光ファイバ経路に対して出力情報を供給しないスイッチであって、該スイッチは更に前記 2 つの通信リングの外側にある第 1 のデータ経路から入力情報を受信し、且つ前記 2 つの通信リングの外側にある第 2 のデータ経路に対して出力情報を供給するスイッチを含む、ことを特徴とする交差接続。

## 【請求項 6】

2 つの経路保護 (PP) 通信リング間の交差接続において、前記通信リングの各々は少なくとも、各々の前記通信リングの回りを対向する方向に伝搬する第 1 の光ファイバ経路と第 2 の光ファイバ経路とを含み、前記交差接続は、

40

前記 2 つの通信リング内における前記第 1 の光ファイバ経路から入力情報を受信し、且つ前記第 1 の光ファイバ経路に対して出力情報を供給するが、前記 2 つの通信リング内における前記第 2 の光ファイバ経路から入力情報を受信せず、あるいは前記第 2 の光ファイバ経路に対して出力情報を供給しない第 1 のスイッチであって、該第 1 のスイッチは更に前記 2 つの通信リングの外側にある第 1 のデータ経路から入力情報を受信し、且つ前記 2 つの通信リングの外側にある第 2 のデータ経路に対して出力情報を供給する、第 1 のスイッチと、

50

前記 2 つの通信リング内における前記第 2 の光ファイバ経路から入力情報を受信し、且つ前記第 2 の光ファイバ経路に対して出力情報を供給するが、前記 2 つの通信リング内における前記第 1 の光ファイバ経路から入力情報を受信せず、あるいは前記第 1 の光ファイバ経路に対して出力情報を供給しない第 2 のスイッチであって、該第 2 のスイッチは更に前記 2 つの通信リングの外側にある第 3 のデータ経路から入力情報を受信し、且つ前記 2 つの通信リングの外側にある第 4 のデータ経路に対して出力情報を供給する第 2 のスイッチと、

を具備したことを特徴とする交差接続。

【請求項 7】

前記第 1 および第 2 の光ファイバは通常それぞれ第 1 のセットおよび第 2 のセットの波長が異なる搬送波の光学信号を伝達し、  
更に加えて、前記第 1 および第 2 の光ファイバのうちの一方の障害を検出し、その結果、前記第 1 および第 2 のセットの両方の搬送波を前記第 1 および第 2 の光ファイバのうちの他方に送信するための各送信ノード内の手段を含む、  
ことを特徴とする請求項 6 に記載の交差接続。

【請求項 8】

前記各リングは、前記各リングの周りで対向する方向に伝搬し、それぞれ前記第 1 および第 2 の光ファイバ経路用の保護光ファイバ経路として動作する第 3 の光ファイバ経路と第 4 の光ファイバ経路とを更に含み、  
前記第 3 および第 4 の光ファイバ経路は前記 2 つのリングの間に相互接続されていない、  
ことを特徴とする請求項 5 に記載の交差接続。

【請求項 9】

前記通信リングのそれぞれは複数 W 個の波長分割多重化光学的信号を伝達し、前記第 1 および第 2 のスイッチは前記多重化光学的信号のいずれかを選択的に切り替える光学的スイッチを含む、ことを特徴とする請求項 6 に記載の交差接続。

【請求項 10】

前記スイッチは光学的スイッチである、ことを特徴とする請求項 5 に記載の交差接続。

【請求項 11】

K 個の自動保護切り替え (APS) 自己回復型通信リング間の交差接続において、K は 2 より大きく、前記通信リングの各々は少なくとも、前記各リングの回りを対向する方向に伝搬する第 1 の光ファイバ経路と第 2 の光ファイバ経路とを含み、前記交差接続は、  
前記 K 個の通信リング内における前記第 1 の光ファイバ経路から入力情報を受信し、且つ前記第 1 の光ファイバ経路に対して出力情報を供給し、更に第 1 のデータ経路から入力情報を受信し、且つ第 2 のデータ経路に対して出力情報を供給する  $L \times L$  スイッチを含み、前記 L は少なくとも  $K + 1$  と等しく、  
前記  $L \times L$  スイッチは前記 K 個の通信リング内における前記第 2 の光ファイバ経路から入力情報を受信せず、あるいは前記 K 個の通信リング内における前記第 2 の光ファイバ経路に対して出力情報を供給せず、  
前記第 1 および第 2 のデータ経路はいずれも、前記通信リングのいずれにも含まれていない、  
ことを特徴とする交差接続。

【請求項 12】

K 個の経路保護 (PP) 自己回復型通信リング間の交差接続において、K は 2 より大きく、前記通信リングの各々は少なくとも、前記各リングの回りを対向する方向に伝搬する第 1 の光ファイバ経路と第 2 の光ファイバ経路とを含み、前記交差接続は、  
前記 K 個の通信リング内における前記第 1 の光ファイバ経路から入力情報を受信し、且つ前記第 1 の光ファイバ経路に対して出力情報を供給し、更に第 1 のデータ経路から入力情報を受信し、且つ第 2 のデータ経路に対して出力情報を供給する第 1 の  $L \times L$  スイッチであって、ここで前記 L は少なくとも  $K + 1$  と等しく、前記第 1 の  $L \times L$  スイッチは前記 K 個の通信リング内における前記第 2 の光ファイバ経路から入力情報を受信せず、あるいは

前記第2の光ファイバ経路に対して出力情報を供給せず、前記第1および第2のデータ経路はいずれも、前記通信リングのいずれにも含まれていない、第1のL×Lスイッチと、前記K個の通信リング内における前記第2の光ファイバ経路から入力情報を受信し、且つ前記第2の光ファイバ経路に対して出力情報を供給し、更に第3のデータ経路から入力情報を受信し、且つ第4のデータ経路に対して出力情報を供給する第2のL×Lスイッチであって、ここで前記第2のL×Lスイッチは前記K個の通信リング内における前記第1の光ファイバ経路から入力情報を受信せず、あるいは前記第1の光ファイバ経路に対して出力情報を供給せず、前記第3および第4のデータ経路はいずれも、前記通信リングのいずれにも含まれていない、第2のL×Lスイッチと、  
を具備したことを特徴とする交差接続。

10

【請求項13】

相互接続された自動保護切り替え（APS）自己回復型通信リングを制御する方法において、前記通信リングのそれぞれは少なくとも第1の通信経路および第2の通信経路を有する1対の逆伝搬通信経路を含み、前記通信リングは交差接続によって相互接続され、前記方法は、

前記通信リングのうちの少なくとも1つにおける少なくとも1つの障害を回復するステップであって、前記障害は、前記少なくとも1つの通信リングの動作を停止させないステップと、

前記交差接続により、前記通信リング間に、前記通信経路を選択的に接続するステップとを含み、

20

前記選択的に接続するステップと前記回復するステップは独立して実行され、

前記交差接続は、

前記通信リングの各々における前記第1の通信経路から入力情報を受信し、且つ前記第1の通信経路に対して出力情報を供給するが、前記通信リングの各々における前記第2の通信経路から入力情報を受信せず、あるいは前記第2の通信経路に対して出力情報を供給しないスイッチングエレメントを有する、

ことを特徴とする方法。

【請求項14】

前記回復するステップは、前記選択的に接続するステップによって課された前記交差接続の状態に影響しない、ことを特徴とする請求項13に記載の方法。

30

【請求項15】

相互接続された経路保護（PP）自己回復型通信リングを制御する方法において、前記通信リングのそれぞれは少なくとも第1の通信経路および第2の通信経路を有する1対の逆伝搬通信経路を含み、前記通信リングは交差接続によって相互接続され、前記方法は、

前記通信リングのうちの少なくとも1つにおける少なくとも1つの障害を回復するステップであって、前記障害は、前記少なくとも1つの通信リングの動作を停止させないステップと、

前記交差接続により、前記通信リング間に、前記通信経路を選択的に接続するステップとを含み、

40

前記選択的に接続するステップと前記回復するステップは独立して実行され、

前記交差接続は、

前記通信リングの各々における前記第1の通信経路から入力情報を受信し、且つ前記第1の通信経路に対して出力情報を供給するが、前記通信リングの各々における前記第2の通信経路から入力情報を受信せず、あるいは前記第2の通信経路に対して出力情報を供給しない第1のスイッチングエレメントと、

前記通信リングの各々における前記第2の通信経路から入力情報を受信し、且つ前記第2の通信経路に対して出力情報を供給するが、前記通信リングの各々における前記第1の通信経路から入力情報を受信せず、あるいは前記第1の通信経路に対して出力情報を供給しない第2のスイッチングエレメントとを有する、

ことを特徴とする方法。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 発明の背景

本発明は、一般に複数波長光通信ネットワークに関し、特に複数波長光学ネットワークに関する。特に、本発明は、障害に対して自己回復するようにリングが設計された複数リング間の交差接続に関する。

通信ネットワーク用の伝送媒体として光ファイバを導入することによって、ネットワークの基本アーキテクチャがゆっくり変化してきた。当初、光ファイバは単に、通常は銅ケーブル上で伝達されていた電子的リンクの代用品を意味していた。本来は銅リンク上で伝達されていたと思われる電気信号は送信側でレーザを変調するために使用され、受信側の光学検出器はその信号を元の電気形式に再変換するために使用されていた。すなわち、光ファイバの使用は、ネットワークの基本アーキテクチャに影響しなかった。また、光ファイバの最初の応用例は長距離伝送であったが、その有用性はより多くのローカルネットワークにとってより明らかなものになってきた。

ファイバリンクが課せられた既存のネットワークアーキテクチャは、多重レベルメッシュとして特徴付けることができる。LATA (Local Access and Transport Area) のレベルでは、各電話局は通常、そのリンクに適した容量を有する電気リンクにより複数の隣接局に接続されている。このアーキテクチャは、1980年代初頭に設計されたハードウェアで実現され、ごくわずかな帯域幅とその時点で使用可能な比較的低速の電子機器によって推進された。

現在のネットワークの設計時点で最も有力な音声トラフィックは、それぞれが64kb/s (キ  
ロビット/秒) であるDS0チャンネルにデジタル化される。24本のDS0チャンネルは1.544Mb/  
sの1本のDS1チャンネルに多重化され、必要であれば、28本のDS1チャンネルが44.736Mb/sのDS3  
チャンネルに別のステップで多重化される。これらの速度は正確な倍数ではなく、必要に応  
じて伝送ストリーム内にビットが詰め込まれる。さらに、各リンクはそれ専用のクロック  
を有する。その結果、信号を抽出したり、他の低レベル信号を代用するために高レベルの  
多重化信号を完全に多重分離する必要がある、非同期ネットワークが得られる。

光ファイバは、その固有帯域幅がほぼ無制限なので、光ファイバによって要因が変化する。  
ファイバネットワークでは、主に端末機器が帯域幅を決定し、リンクのコストは端末機  
器のものに比べ、比較的小さくなっている。その結果、新しい規格が提案され、米国では  
広く受け入れられている。この規格は同期光学ネットワークSONET (Synchronous Optical  
Network) と呼ばれている。ヨーロッパでは、密接に関連するアーキテクチャである同期  
デジタルハイアラキSDH (Synchronous Digital Hierarchy) に従っている。基本構成要  
素は同期トランスポート信号レベル1 (Synchronous Transport Signal - Level 1: STS -  
1) と呼ばれ、51.84Mb/sのビットレートを有する。伝送は、125 $\mu$ sのフレームレートで  
伝送されるフレームに分割される。そのフレームは810の8ビットバイトにさらに分割さ  
れ、その多くは付加ビットである。STS - 1フレームは、同じビットレートで動作するOC  
- 1光学チャンネル上で伝達される。上記のレートの倍数である、より高いレートも使用可  
能である。これらはSTS - N信号であり、単にN個のSTS - 1信号をインターリーブすること  
によって形成される。現在、2488.34Mb/sで動作するOC - 48ファイバリンクは、一般に採  
用されている最も進んだシステムを意味する。最大信号レートは主に、ファイバそのもの  
ではなく、ファイバ端部に取り付けられた電子機器および光電機器によって決まる。SONE  
Tは同期信号であり、個々のバイトまたは低レベルチャンネルを抽出することは非同期信号  
の場合よりかなり容易である。

光ファイバの容量が増加したことから、光学ネットワークの信頼性と存続性に関する関心  
が高まってきた。というのは、1つのケーブルまたは機器の誤動作でも大量のトラフィック  
に悪影響を与える可能性があるからである。ケーブル切断は頻繁に発生し、原因が人間  
または気象のいずれであってもほとんど回避不可能であり、電話局の火災またはその他の  
災害による機器障害は完全に除去することができない。したがって、存続性がより高い (  
more survivable) ネットワークアーキテクチャが求められている。高い存続性を提供す  
るアーキテクチャの1つは、自己回復リング (self - healing ring) である。このアーキ

10

20

30

40

50

テクチャの複数のバージョンは、WuによるFiber Network Service Survivability (Artech House、1992年)の123~207ページに記載されている。自己回復機能 (self-healing function) はネットワーク災害に対する軽減を行うものであるが、その実現例は単純かつ高速で信頼性の高いものでなければならない。自己回復は完全自動でなければならない。そのリングトポロジと単純だが高速の保護切り替え方式により1回のファイバケーブル切断または機器障害に対して100%の回復能力を提供しなければならない。多くの自己回復リングアーキテクチャは、ケーブル切断から回復できる能力と共に、ハブなどの単一ノードの障害から回復できるという利点を有する。

単方向性 (unidirectional) 自己回復ファイバリング10の例を図1に示す。これは、1つのタイプの自己回復リングネットワークであり、ここでは予備説明をサポートするために示す。自己回復リングの各種アーキテクチャのより詳細な説明については後で示す。

図1では、4つのノードA、B、C、Dとして示された複数のノード12が2本の逆回転 (counter-rotating) 光ファイバ14、16によってリング構成 (ring configuration) として相互接続されている。すなわち、一方のファイバ14はその周りで信号が反時計回りの方向に伝搬するリングを形成し、もう一方のファイバ16はその周りで信号が時計回りの方向に伝搬するもう1つのリングを形成する。各ノード12は、電話局、ローカルネットワーク内の遠隔分配点 (remote distribution point)、またはその他の高トラフィックノードにすることができる。重要なことに、各ノード12は、一方は受信用、もう一方は送信用という2つの点でそれぞれのファイバ14、16に接続されている。第1のファイバ14は作業ファイバ (working fiber) であり、この特定のアーキテクチャではすべてのトラフィックを伝達する。破線で示されている第2のリングファイバ16は保護ファイバ (protection fiber) である。通常動作では、それは自動保護切り替えAPS (Automatic Protection Switching) の場合には閉鎖中になり、経路保護PP (Path Protection) の場合には名目上、作業ファイバ14に割り当てられたトラフィックの一部または全部を伝達する。保護ファイバ16は、どのような信号であってもそれがリング10の周りで伝達する信号を作業ファイバ14の方向とは反対の方向に伝搬し、当然のことながら、どちらのファイバ14、16が時計回り方向に伝搬するかという選択は些細なことである。

リング内のノード12の数Mは変動可能であるが、一般に4~10の範囲内である。保護ファイバまたはマルチホップ伝送 (multi-hop transmission) の必要なしに、メッシュアーキテクチャ内により少数のノードを収容することができる。リング内の完全なメッシュ接続性のためにはM個のノードからなるリングネットワークでW通りの波長が必要になるので、このような違いが発生する。ただし、Mが奇数値の場合は

$$W = \frac{M^2 - 1}{8}$$

になり、Mが偶数値の場合は

$$W = \frac{(M + 1)^2 - 1}{8}$$

になる。ノードの数が増加すると、そのノードが必要としないほど高い過剰レベルのトラフィックが各ノードにもたらされることになる。

建築事故、気象災害などによってケーブル断線が発生した場合に両方のファイバに影響する可能性があるように、作業および保護ファイバ14、16は実質的に同じ地理的経路に沿って同じ場所に位置するものと想定する。しかし、ケーブル断線が通常、2重リング (dual ring) の一方のノード間部分のみに影響するように、ファイバ14、16は各種ノード間部分が主に各種経路に沿って伸びるように経路指定されているものと想定する。添付図面では整然とした円形リングを示しているが、既存の2地点間ファイバを使用して既存のメッシュネットワーク内でリングをセットアップでき、その結果、より不規則な形状になることが分かるであろう。また、必ずしもノード間に新しいファイバを敷設することなく、これらのリングをそのリング内で異なるノードセット (different set of nodes) に拡大または縮小できることも分かるであろう。

最も一般的なファイバ障害は、図 2 に示すように、ノード C と D との間で発生し、おそらく作業ファイバ 14 の一部分 14' と保護ファイバ 16 の対応部分 16' の両方を切断するケーブル断線 20 である。自動保護切り替え (APS) の場合、各ノード 12 に関連する APS 機器は、このような障害を感知し、ブラケット化する C および D ノード 12 に関連する保護スイッチング 22、24 を起動 (activate) して、作業および保護ファイバ 14、16 間で信号を転送することができる。同様の保護スイッチは、C および D ノード 12 の反対側ならびにどのようなタイプであっても残りのノード 12 の両側に配置されている。逆回転保護ファイバ 16 は、機能的に作業ファイバ 14 の断線部分 14' の代用となり、すべてのノード 12 間のネットワークの連続性を回復する。

また、自己回復ネットワークは、1 つのノード 12 の障害、たとえば、電話局または交換局内の火災または電力損失も警戒する。そのノード向けまたはそのノードからのトラフィックは通常、失われるが、操作可能ノード間のトラフィックは退避される。APS 自己回復ネットワークの場合、故障したノードをブラケット化する 2 つのノード内の APS 機器は作業ファイバから逆回転保護ファイバにトラフィックを転送し、その結果、故障したノードを回避する。

したがって、自己回復は、ケーブル断線を完全に防止し、故障したノードからのトラフィックおよび故障したノードで終端するトラフィックの損失を除き、ノード障害を防止するものである。

図 1 および図 2 ならびにその他の関連自己回復リングに関する自己回復アーキテクチャによって、両方のファイバ 14、16 ならびにノード 12 に対して不利な帯域幅がもたらされる。しかし、光ファイバは、特に並列ファイバを考慮した場合、全体的なシステム設計に関して比較的低いコストを被るようになった。また、SONET アーキテクチャにより、低コスト機器の生産、特にリング上の SONET 信号から個別の低レベルチャネルを抽出または挿入するためにノード 12 内で使用可能な追加ノードロップ (drop) マルチプレクサ (ADM) の生産が可能になった。その結果、自己回復リング用の過剰容量および冗長信号処理は、もはや法外な価格ではなくなった。

次に、自己回復リング用のより重要なアーキテクチャの一部について、一般的に説明する。具体的に以下に説明する本発明のいくつかの実施例は、このような各種アーキテクチャを取り入れることになる。

単方向性リングでは、一方が作業ファイバであり、もう一方が保護ファイバである 2 本のファイバを使用する。これらは、すべての作業トラフィックが 2 重リングの周りで一方向に移動するので、単方向性と呼ばれる。単方向性リングには、自動保護切り替え (APS) と経路保護 (PP) という 2 つの主要タイプがある。

図 1 および図 2 に関連してループバック (loop-back) APS リングを説明してきたが、このアーキテクチャは折返し (folded) U - SHR アーキテクチャまたは (U - SHR/APS) と呼ばれる。ただし、APS は、「回線切り替え」すなわち各種回線上での物理的なリルート (rerouting) に対応することに留意されたい。

また、自己回復は、経路保護付き SHR (U - SHR/PP) または専用保護リング (dedicated protection ring) と呼ばれるアーキテクチャにおける低速経路保護によって単方向性リングでも達成することができる。この形式の経路保護は、通常、各ノードの 2 つの送信機が反対方向に伝搬する 2 本のファイバ上で同一信号を送信するという 2 重信号供給 (dual feed of signal) (1 + 1) という概念に基づいている。逆伝搬信号 (counter-propagating signal) は、リングが切断されたときにネットワークの存続性を提供する。通常動作では、各ノードの 1 つの受信機が作業ファイバからの信号を選択するが、作業ファイバが切断されていると、その送信用として受信機は保護ファイバを選択することができる。実際には、受信機は 2 つの着信信号のうちの強い方を選択する。

双方向性リング (bidirectional ring) では、2 本または 4 本のファイバを使用することができる。このようなリングは、作業トラフィックがリングの周りでいずれか一方の方向に移動できるので、双方向性と呼ばれる。送信ノードは、それが受信ノードに信号を送信しなければならない方向について、説明を受けた上での選択を行う。通常は最低距離が好

10

20

30

40

50

ましいが、ときには、たとえば、負荷を均等に分配することが望ましい場合、より長い経路が選択される。

B - SHR/4または共用 (shared) 保護リングと呼ばれる4ファイバ双方向性リングは、2本の作業ファイバと2本の保護ファイバを含む。各作業ファイバは、全トラフィックの半分を伝達するためのものである。リンク障害から回復するため、B - SHR/4では、回線保護切り替え、たとえば、APSを使用して、ケーブル切断またはノード障害を回避するためのループバック機能を実行する。このアーキテクチャでは、各局で1:1の非復帰性 (nonrevertive) 低速電子保護スイッチが必要になる。非復帰性保護スイッチの場合、故障した回線を修理したときに信号を切り替えて元に戻す必要はない。

B - SHR/2と呼ばれる2ファイバ双方向性リングでは、どちらも作業ファイバとして指定された2本のファイバを使用する。トラフィックは2本の逆伝搬ファイバ (counter-propagating fiber) 間でほぼ均等に分割され、各ファイバはその全容量の半分のみで動作する。各ファイバの容量の残り半分は、逆伝搬ファイバを保護するために確保される。ファイバ断線またはノードでの機器障害のいずれが原因であってもリンク障害が発生した場合、送信機は、タイムスロット交換と共に一方の回線からもう一方に切り替わり、障害を回避するように反対方向に伝搬する空のタイムスロットを充填するために自動的にトラフィックを転送する。通常はこの記述手順では実行されない回線保護切り替えにAPSが関連付けられているとしても、このようなリダイレクション (redirection) は自動保護切り替えに似ている。本発明に関連して後述する波長分割多重化 (wavelength-division multiplexing) の場合、2組の信号は、時分割多重化 (time multiplexing) ではなく、波長分割多重化される。1つの伝送回線障害からすべての作業経路の回復を可能にするために、すべての作業経路の帯域幅が占有するのはリング帯域幅全体の50%未満でなければならない。このような帯域幅の低減は無駄だと思えるかもしれないが、システム容量を増加するためのコストと、より複雑な制御および管理のコストを比較しなければならない。

高速通信ネットワークにおけるもう1つの最近の開発は、波長分割多重化 (WDM) を含む。上述の通り、光ファイバは、ファイバ上に光学データ信号を印加するために使用可能な電子周波数よりかなり大きい極めて広い帯域幅を有する。したがって、複数の電気データ信号は、W通りの分離された放出波長 (emission wavelength)  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_w$  を有する様々なレーザ送信機を変調することができ、様々なレーザの出力が単一光ファイバ上に印加されることは、早くから認識されていた。受信側では、様々な光学信号を光学的に分離し、次に電氣的に検出することができる。個別のチャンネル用の変調速度 (rate) および検出速度は、全体的な光学的データ転送速度ではなく、そのチャンネルの電氣的データ転送速度で発生する。WDMチャンネルの数Wは、一般的な大規模ネットワークでは約8から32に制限されている。

WDMは当初、単に容量倍率器 (capacity multiplier) と考えられていたが、たとえば、Brackett他による「A Scalable Multiwavelength Multihop Optical Network: A Proposal for Research on All-Optical Networks」 (Journal of Lightwave Technology, vol.11、1993年、no.5/6、736~753ページ) において、より高性能なWDMアーキテクチャが提案された。波長で区別した光学信号が、電子形式に変換する必要なしに、それぞれの光学波長 (または周波数) に応じてノードまたはその他の切り替え点により経路指定できる場合、このような高度なアーキテクチャは特に有利なものになる。すなわち、単一ファイバ上の切り替え点に入る2つの光学信号はその光学波長に応じて様々な送出方向に切り替えることができ、その間ずっと、信号はその光学領域内に存続する。このような光学切り替えは、切り替えが様々なWDMチャンネルの信号フォーマットとは無関係であるというさらに他の利点を有する。たとえば、1つまたは複数の光学波長はアナログケーブルテレビジョン信号専用にするのに対し、他の光学波長はデジタルSONET信号専用になる。当然のことながら、テレビジョンチャンネルのフォーマットは、SONETチャンネルのフォーマットとは完全に異なるものである。それにもかかわらず、光学搬送波波長に応じて機能するWDMスイッチは、それぞれフォーマットとは無関係にテレビジョン信号とSONET信号を均等に切り替える。SONETネットワークの範囲内であっても、WDMスイッチ

10

20

30

40

50

は、それぞれのビットレートとは無関係に、すなわち、OCレベルとは無関係に、SONETチャネルを切り替える。すなわち、単一ネットワーク内に複数のOCレベルを収容することができる。さらに、OCレベルは光学切り替えにとって重大なものではない。様々な速度のチャネルに共通の末端ノードは、最高光学チャネル速度で動作する必要がある。しかし、低速信号のみを受信または送信するノードは、より低い速度でのみ動作すればよい。それにより、低コストかつ低容量の端末は、高容量端末を含むネットワークに付加することができる。

波長分割多重化は多くの利点を提供するが、その大部分は、追加のファイバを敷設する必要なしにネットワーク容量を倍増することである。しかし、それとSONETリングおよび存続可能リング (survivable ring) との統合は、証明すべきものとして残っている。Elref 10  
raie他は、「Self-healing WDM ring networks with all-optical protection path」 (Optical Fiber Conference '92, paper ThL3, 255ページおよび256ページ) ならびに「Multiwavelength Survivable Ring Network Architectures」 (Proceedings of the International Communication Conference, Geneva, Paper 48, 7ページ) において1つの自己回復リングを提案している。また、Wuは同書の189~195ページにおいてWDM自己回復ループを提案しているが、そのアーキテクチャは狭く、過度に一般的であり、使用可能なWDM切り替え構成要素を利用しないものである。

本発明者の観測によれば、WDM技術はリングアーキテクチャに適したものである。2×2 複数 (multi) 波長スイッチ26の基本構造を図3に示す。これは2つのポートにより光ファイバ27の受信側と送信側に接続されているが、そのファイバはループ構成内の他の同様 20  
のスイッチ26により接続されるものと想定されている。複数波長スイッチ26は、追加またはドロップ (drop) のために1つまたは複数の光学波長チャネルを選択する機能を有する。すなわち、スイッチ26は、ループファイバ27内のW本のWDMチャネルのうちの1本 (またはおそらく複数本) を選択して、ファイバ27からそのチャネルによって伝達される信号を除去し、ループファイバ27内に同じ光学波長の他の信号を代入することができる。このようなスイッチは、波長選択性追加/ドロップスイッチと呼ばれる。追加した信号およびドロップした信号はドロップおよび追加ファイバ28、29を介してノードネットワーク30との間で転送され、これは、電気ネットワーク用のマルチプレクサ/デマルチプレクサにするか、または他のネットワーク要素にすることができる。

自動保護切り替え (APS) 自動回復リングの場合、ループファイバ27は作業ファイバである。 30  
スイッチ26の両側に位置するAPS回線切り替え機器は作業ファイバを保護ファイバに選択的に接続するが、その保護ファイバはノードネットワーク30への同等のスイッチを通過しない。経路保護 (PP) 自己回復リングの場合、作業ファイバと保護ファイバはどちらも専用のスイッチ26を有し、特定の信号にどちらのファイバを使用するかはノードネットワーク30内の追加回路によって決定される。

図示の複数波長スイッチ26は、W通りの光学波長のそれぞれについて2通りの状態を呈することができる2×2交差接続 (cross-connect) スイッチである。バー状態 (bar state) では、リングファイバ27上で伝達されるその波長の信号はリングファイバ27上に存続する。しかし、クロス状態 (cross state) では、1通りまたは複数の光学波長でリング 40  
ファイバ27から受信される光学信号はドロップファイバ28に切り替えられ、同じ光学波長の他のデータ信号は追加ファイバ29から受信され、リングファイバ27上に送信される。複数波長スイッチ26を実現するための技術は少なくとも3通りある。

第1の技術は、Iqbal他により「High Performance Optical Switches For Multiwavelength Rearrangeable Optical Networks」 (Government Microelectronic Circuits Application Conference (GOMAC) '94, カリフォルニア州サンディエゴ, 1994年11月, 3ページ) に記載されているようなハイブリッドの機械作動式光学WDMスイッチを含む。このような4波長2×2スイッチは、カスケード式多層薄膜干渉フィルタと、光学マルチプレクサおよびデマルチプレクサによって外部に接続された分散2×2クロスバーのリレー作動式光学スイッチとを含む。ハイブリッドのファイバベースWDMスイッチは入力波長を様々な2×2光学スイッチに多重分離し、機械的作動によって工学的に切り替えられる信号は 50

出力で再結合される。リレー作動式光学スイッチは、2つの入力に接続されたファイバが様々な出力ファイバと整列するように機械的に移動する、機械的スイッチである。この技術は概念的には比較的高度ではないが、その秒以下の切り替え速度は多くの構想中のアーキテクチャにとって十分なものであり、機械部品の確実性および信頼性を提供し、現在、JDS Fitelから市販されている。

第2の技術は、通常はLiNbO<sub>3</sub>基板内に形成される超音波光学チューナブルフィルタ(AOTF)を含み、選択した光学周波数は電圧性のLiNbO<sub>3</sub>基板内の光導波路上に形成されたインタディジテティッド電極に印加されたRF周波数に関連し、それにより、選択した信号はその偏光状態が変化し、その結果、偏光カプラによって切り替えられる。このようなAOTFについては、Cheung他により米国特許第5002349号公報に記載されている。

10

第3の技術は、Patel他により米国特許第5414540号公報および第5414541号公報ならびに「Liquid Crystal and Grating - Based Multiple - Wavelength Cross - Connect Switch」(IEEE Photonics Technology Letters、vol.7、1995年、514~516ページ)に記載された液晶スイッチを含む。波長分散層およびセグメント液晶偏光回転層により、様々なWDMチャンネルを異なる方向に切り替えることができる。

光学信号をさらにノードネットワーク30内に展開することは可能であるが、現在では、ノードネットワーク30は図4に示す電子スイッチ31の周りに形成されているものと想定されている。光学デマルチプレクサ32は、ドロップファイバ28上でW個のWDM信号を受信し、それぞれの波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_W$  に応じてそれを別々の光学経路に分割する。光学検出器アレイ33は、スイッチ31に入力するために光学信号を電気信号に変換する。同様に出力側のレーザアレイ34は、波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_W$  の変調済み光学信号を放出するために、スイッチ31の電気出力によって制御される。光学マルチプレクサ35はW個のWDM信号を結合して追加ファイバ29上に出力する。スイッチ31は、たとえば、ローカルループネットワークに至る、追加の電気入力および出力線36、37を有する。このような追加の入力および出力線36、37はドロップ/追加線として特徴付けることができる。

20

スイッチ31上の追加/ドロップポートはいくつかの理由で有用である。あるタイプの使用方法では、単独ユーザであるかまたはスイッチ31に接続されたローカルエリアネットワーク(LAN)に付加されたユーザであるかにかかわらず、このようなポートは外部ユーザへのリンクを提供することができる。追加/ドロップポートは、ファイバ28と29との間で切り替えられるトラフィックより低い密度のトラフィック用に設計された様々なLANの相互接続用のゲートウェイを提供することができる。また、追加/ドロップポートは、低帯域幅接続のみが必要な場合に単一波長で他のネットワークへのリンクも提供することができる。第2のタイプの使用方法では、追加/ドロップポートは、リング間でやりとりする前にローカルコントローラがトラフィックを検査できるようにリング間トラフィック用の監視点を提供することができる。第3のタイプの使用方法では、追加/ドロップポートは、リング間での波長交換用の点を提供する。すなわち、第1のリング上の光学データ信号を異なる光学波長で第2のリングに転送する必要がある場合、その信号をスイッチで除去し、全光学手段または光電子手段により異なる波長に変換し、同じスイッチで追加することによってネットワークに再挿入することができる。図4に示す電子スイッチ31の場合、光学検出器アレイ33およびレーザアレイ34内で同じデータ信号を様々な波長に割り当てることによって、波長変換が行われる。最後に、追加/ドロップポートは、信号情報を受信または注入するためにローカルスイッチコントローラ用のポートを提供する。

30

コントローラ38は、スイッチ13の切り替え状態を制御し、WDMチャンネルのうちの1本によりネットワーク制御情報を受信することができる。SONETネットワークの場合、SONETフレミングおよびその他の機能をスイッチ31およびコントローラ38に取り入れることができる。図4に示すADMスイッチシステムは、自己回復リングの一方のファイバのみに接続されている。APSリングの場合、APS機器によって保護ファイバへのアクセスが可能になるので、作業ファイバへの接続は一方だけでよいが、経路保護リングの場合は両方のファイバにアクセスする必要がある。

40

前述のタイプのADMは、リングの周りに分散された単純ノード(distributed simple node

50

)にとって十分なものかもしれないが、大規模で複雑なネットワークを完全に実現するためには不十分なものである。前述のように、リングはかなり少数のリングに限定されている。少なくとも1つのリング間ノードを使用することにより複数のリングを相互接続することによってアクセス可能なノードの数を増加することは、非常に望ましいことである。また、前述のように、全体的にメッシュに似ている既存の局間中継線からリングが形成される場合が多い。したがって、リング相互接続は、通常、少なくとも4カ所の他の電話局への中継線を有する、より大規模な電話局に確立される。その結果、リング間ノード(inter-ring node)は、2つの個別リング(separate ring)に接続すると同時に電話局で予想される追加/ドロップ機能を実行しなければならない。

図5のネットワーク図に示すように、2つの自己回復リング $10_1$ 、 $10_2$ はリング間ノード40によって相互接続(interconnect)されている。各リング $10_1$ 、 $10_2$ は、それぞれの作業ファイバ $14_1$ 、 $14_2$ と、それぞれの保護ファイバ $16_1$ 、 $16_2$ とを含む。より具体的には、リング間ノード40は、入力ファイバ $14_{1-IN}$ 、 $14_{2-IN}$ 、 $16_{1-IN}$ 、 $16_{2-IN}$ と、出力ファイバ $14_{1-OUT}$ 、 $14_{2-OUT}$ 、 $16_{1-OUT}$ 、 $16_{2-OUT}$ とに接続されている。また、リング間ノード40は、それぞれ追加ファイバ $42_{1-IN}$ 、 $42_{2-IN}$ とドロップファイバ $42_{1-OUT}$ 、 $42_{2-OUT}$ とを含む、2対 $42_1$ 、 $42_2$ の追加/ドロップファイバにも接続されている。追加/ドロップファイバは最終的に様々なタイプの送信線に、たとえば、スイッチを介してローカルループネットワークに接続するものと想定されている。この2対 $42_1$ 、 $42_2$ の追加/ドロップファイバにより、リング間ノード40は、同じ波長が同じリングまで2回低下しない限り、波長競合(wavelength contention)を懸念せずに独立して2つのリング $10_1$ 、 $10_2$ 上で信号を追加/ドロップすることができる。追加/ドロップファイバ $42_1$ 、 $42_2$ は通常、波長分割多重化を使用しない従来の交換局またはハブ局で経路指定されるので、追加/ドロップファイバ $42_1$ 、 $42_2$ は通常、W本のこのようなファイバの束であり、WはWDM波長の数であり、光学切り替え要素のタイプによっては、図示していないマルチプレクサおよびデマルチプレクサが必要になる場合もある。以下の説明および例示では、場合に応じて、このようなリングファイバと追加/ドロップファイバとの違いについて扱うものとする。

したがって、リング間ノード40は、図6の概略図に示すように、 $6 \times 6$ スイッチとして特徴付けることができる。さらに、WDMネットワークでは、 $6 \times 6$ スイッチがある意味でW回複製されるように、W通りの波長を別々に切り替えなければならない。最新の立証プロジェクトでは、Wは8程度である。WDMネットワークでは、2つのリング $10_1$ 、 $10_2$ 内のファイバ $14_1$ 、 $14_2$ 、 $16_1$ 、 $16_2$ がそれぞれW個のWDM信号を伝達するのに対し、追加/ドロップファイバ $42_{1-IN}$ 、 $42_{2-IN}$ 、 $42_{1-OUT}$ 、 $42_{2-OUT}$ がそれぞれ1つの光学信号のみを伝達し、完全な追加/ドロップ機能を達成すべき場合にW本の追加/ドロップファイバの束としてそれぞれを配置する必要があるような既存のノードアーキテクチャがあるので、それは現時点では典型的なものではない。

前述の機械作動式光学スイッチによって切り替えが行われる場合、W倍の各WDM信号をW個の光学信号に多重分離しなければならない。その信号は別々のファイバ上で $6 \times 6$ スイッチの様々な波長平面に導かれ、その平面の出力は光学WDM出力信号に多重化される。現在では慣例となっているように、切り替えが電子的に行われる場合、光源および光学検出器を追加する必要があるが、同じサイズの $6 \times 6$ 電子スイッチが必要である。

このようなスイッチには、複数になるという欠点がある。最も簡単な実現態様では、各波長平面(wavelength plane)ごとに、出力側の6個の $6 \times 1$ スイッチに相互接続された6個の $1 \times 6$ スイッチが入力側に必要になる。この構造は、マルチプレクサと、デマルチプレクサと、機械作動式光学スイッチによって実現することができるが、多くの構成要素、たとえば、8通りの光学波長の場合に96個の $1 \times 6$ または $6 \times 1$ スイッチが必要になる。さらに、マルチプレクサとデマルチプレクサならびに並列複製(parallel replication)を解消することが好ましい。複数波長を同時に切り替えると、切り替え要素の数が削減され、波長マルチプレクサおよびデマルチプレクサの必要性が除去される。

異なる波長の信号を様々な出力ポート上に選択的に切り替えることができる光学(光)スイッチは既知のものである。しかし、一般にこれらは図3に示すような $1 \times 2$ または $2 \times$

2 切り替えユニットに基づくものであり、大きい方のスイッチは小さい方の切り替えユニットから構築される。このため、2つのSONETリングを相互接続するために必要な6×6光スイッチには、このような切り替えユニットが比較的多数必要になる。このような光学切り替えユニットは製作上の課題をもたらし、単一基板上での多数の切り替えユニットの統合はまだ商業的に達成されていない。

したがって、2つの自己回復リング間で使用可能な光スイッチに複雑さを低減することが非常に望ましい。

#### 発明の概要

本発明の一態様においては、2つまたはそれ以上の自己回復光学ネットワークリング間の相互接続として要約することができる。すなわち、自己回復アーキテクチャが連結リング (connected ring) からなるので、その相互接続を簡略化することができる。特に、相互接続への複数の入力のうちいくつかは冗長であるか、または選択的に相互接続しないものであるため、連結ネットワーク (connected network) のいずれかで障害が発生した場合にも、相互接続する必要のない入力および出力を除去することにより、相互接続の複雑さを低減することができる。2ファイバおよび4ファイバの単方向性および双方向性自己回復リングのために、相互接続の形式を提供する。

本発明の他の態様では、複数の自己回復リング間の相互接続は、複数のリングの自己回復機能とは無関係のものとして示されている。したがって、個別の装置 (separate apparatus) がリングの一方または他方の障害を回復している間に、交差接続の相互接続状態 (interconnection state) は一定のままに保持することができる。

2つの自己回復リング間ならびに他の応用例用のどちらについても、少なくとも1つの3×3相互接続によって、多くの重要な相互接続を達成することができる。有利なことに、このような3×3相互接続は、広義無閉塞 (wide-sense non-blocking) になるように4つの2×2相互接続によって実現される。相互接続の追加/ドロップ線で発生し得る波長競合は、それを4×4相互接続に拡大することによって除去することができる。

また、広義無閉塞の3×3相互接続を構成する4つの2×2スイッチを通る新しい経路 (new path) に関する切り替え状態を割り当てるために、アルゴリズムを提供する。このアルゴリズムでは、4つの2×2スイッチの状態に関する2通りの組み合わせは、相互接続ポートから見た3×3相互接続の各状態に関連していると認識している。また、完全に接続された相互接続状態の再構成 (reconfiguration) が3回だけ可能であることも認識しているため、2通りの可能なスイッチ状態組み合わせの一方によって許容可能な遷移が可能になる。

#### 【図面の簡単な説明】

添付図面を参照しながら、本発明を説明する。

図1は、従来技術の自己回復通信リングのネットワーク図である。

図2は、ケーブル切断後も存続するように図1のリングを再構成する方法を示すネットワーク図である。

図3は、通信リングに付加された従来技術の追加/ドロップマルチプレクサのネットワーク図である。

図4は、光学追加/ドロップマルチプレクサと結合された電子切り替えシステムの図である。

図5は、2つの自己回復複数波長リング、特に、経路保護を使用するリングを接続するノードのネットワーク図である。

図6は、図5および図21の相互接続ノードに関する初期レベルの検討に必要なスイッチの概略図である。

図7は、3×3スイッチを使用する図5のネットワーク用の簡略リング間交差接続のネットワーク図である。

図8は、図7のものと同様であるが4×4スイッチを使用するリング間交差接続のネットワーク図である。

図9は、相互接続された2つの自動保護切り替え (APS) 付き単方向性自己回復リングの

10

20

30

40

50

ネットワーク図である。

図10は、2×2スイッチを使用して実現したときは広義無閉塞である、3×3スイッチを使用する図9のネットワーク用の簡略交差接続のネットワーク図である。

図11は、図10のものと同様であるが4×4スイッチを使用する簡略交差接続のネットワーク図である。

図12は、それぞれ4本のファイバを使用する2つの相互接続双方向性自己回復リング(B-SHR/4)のネットワーク図である。

図13は、3×3スイッチを使用する図12のネットワーク用の簡略交差接続のネットワーク図である。

図14は、図13のものと同様であるが4×4スイッチを使用する簡略交差接続のネットワーク図である。

図15は、それぞれ2本のファイバを使用する2つの相互接続双方向性自己回復リング(B-SHR/2)のネットワーク図である。

図16は、図15のB-SHR/2ネットワーク用のSONETタイムスロット交換(time-slot interchanging)を示す簡略ネットワーク図である。

図17は、図19のネットワーク内で使用するSONETフレームのタイミング図である。

図18は、図15のB-SHR/2ネットワーク用のWDM波長交換を示す簡略ネットワーク図である。

図19は、3×3スイッチを使用する図15のネットワーク用の簡略交差接続のネットワーク図である。

図20は、図19のものと同様であるが4×4スイッチを使用する簡略交差接続のネットワーク図である。

図21は、相互接続された3つの経路保護付き単方向性自己回復リングのネットワーク図である。

図22は、図18のネットワーク用の簡略交差接続のネットワーク図である。

図23は、相互接続されたK個の経路保護付き単方向性自己回復リングの汎用ケースに用いる、簡略交差接続のネットワーク図である。

図24は、2×2スイッチの概略図である。

図25は、広義無閉塞である4×4スイッチの概略図である。

図26は、2×2スイッチを使用し、特に複数波長スイッチに適用可能な、3×3広義無閉塞スイッチの概略図である。

図27は、図26に示した3×3スイッチにおける固有遷移のアルゴリズムの図解例である。

#### 発明の説明

本発明では、自己回復リング間の交差接続に必要な交差接続点は、交差接続へのポートの数の1回目の検査によって明らかになった数より少ないことを認識している。その他の本発明の特徴は、この新しいアーキテクチャの結果である。

本発明者の認識によれば、作業ファイバと保護ファイバとの接続には制約が課せられているので、図5の自己回復リング10<sub>1</sub>、10<sub>2</sub>を接続するために図6の6×6スイッチの機能が完全である必要はない。図5および図6に関するこれまでの説明は大半は非常に一般的なものであるが、図5の相互接続ネットワークは、2つの単方向性経路保護自己回復リング10<sub>1</sub>、10<sub>2</sub>(U-SHR/2-PP)に基づくものであると想定する。

図7には、2リングU-SHR/2-PPネットワーク、すなわち、単方向性の2ファイバ経路保護自己回復ネットワークが示されている。リング間ノード50は2つの通信リング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>を接続する。各通信リング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>はそれぞれの作業ファイバ(working fiber)54<sub>1</sub>、54<sub>2</sub>と、それぞれの保護ファイバ(protection fiber)56<sub>1</sub>、56<sub>2</sub>とを含む。このアーキテクチャでは、各リング内の作業または保護ファイバ54<sub>1</sub>、56<sub>1</sub>または54<sub>2</sub>、56<sub>2</sub>が、通常、逆回転方向に重複信号(duplicate signal)を伝達する。ただし、便宜上、同図では、2つのリング間の作業ファイバと保護ファイバの内部位置と外部位置が交換されていることに留意されたい。その他のアクセスノード12は、それぞれのリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>に沿って接続されている。ノード50の6×6切り替え機能は、2つの3×3スイッチ60、62によって実行

10

20

30

40

50

することができる。第1の3×3スイッチ60は、その入力のうち2つとその出力のうち2つが両方のリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>の作業ファイバ54<sub>1</sub>、54<sub>2</sub>に接続されており、第2の3×3スイッチ62は同様に両方のリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>の保護ファイバ56<sub>1</sub>、56<sub>2</sub>に接続されている。また、それぞれの3×3スイッチ60および62は、それぞれの追加ファイバ64および66を受け入れる入力と、それぞれのドロップファイバ68および70上に送信する出力も有する。

経路保護(PP)を使用する自己回復ネットワークの場合、作業ファイバと保護ファイバはすでに同等の情報を伝達しているため、両方のファイバを相互接続する必要はない。具体的には、各データ送信機は、(1+1)保護方式に関連する作業ファイバと保護ファイバの両方に同じ信号を印加する。

図7に示したPPネットワークにおける一方の3×3スイッチ60は作業交差接続とみなすことができ、もう一方の3×3スイッチ62は保護交差接続である。存続性(survivability)を維持するため、信号が作業ファイバ54<sub>1</sub>、54<sub>2</sub>と保護ファイバ56<sub>1</sub>、56<sub>2</sub>の両方において同等の経路をたどるように、交差接続コントローラ72は両方の3×3スイッチ60、62を同時に共通の切り替え状態に設定する必要がある。その結果、作業ファイバ54<sub>1</sub>、54<sub>2</sub>のいずれかで障害が発生した場合、保護ファイバ56<sub>1</sub>、56<sub>2</sub>はすでに適切に相互接続されており、様々なリング内/リング間ノードの受信機用が拾うための所望の信号を伝達しているため、交差接続コントローラ72はリング障害にตอบสนองして3×3スイッチ60、62を再構成する必要がない。交差接続コントローラ72は、数時間程度の期間におけるトラフィックパターンの長時間の変更のみにตอบสนองして3×3スイッチ60、62を再構成する。当然のことながら、リング障害(ring failure)が検出されると、トラフィックを並び替える(rearrange) 20  
することができるが、この並び替えは障害が首尾よく回避された後で行われる。交差接続コントローラ72は図示していないネットワークコントローラから再構成コマンドを受信するが、このコマンドは、本発明の範囲内ではない制御プロトコルに応じて追加/ドロップ線42<sub>1</sub>、42<sub>2</sub>により受信することができる。2つの3×3スイッチ60、62の状態構成が共通なので、それ以外の冗長設計では一点障害の発生源になる共通の交差接続コントローラ72を必要とする可能性がある。しかし、2つのスイッチ60、62の複製(replication)によって、図6に示した単一の6×6交差接続に固有の一点障害モード(single-point failure mode)が解消される。

図7に示した簡略PP交差接続50の場合、一方のネットワーク内の動作不能の作業または保護ファイバは、もう一方のネットワーク上の対応するファイバにデータを供給しない。その結果、このPP設計では、障害が発生した場所に応じて、1つのリングにつき1つの障害からネットワーク全体につき1つの障害までどの程度でも許容することができる。これに対して、後述するように、APSネットワークでは、障害の位置にかかわらず、1つのリングにつき1つの障害を許容することができる。

図7に示した2つの3×3スイッチ60、62によって図6の6×6交差接続を実現することにより可能になる簡略化は、何らかの機能性を失うという犠牲を払って獲得される。2対の追加/ドロップ線64、66、68、70が存在するが、作業ファイバ54<sub>1</sub>、54<sub>2</sub>用は1対の64、68だけである。その結果、いつでも2つのリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>の組み合わせから所与の波長の単一信号のみをドロップすることができるが、その組み合わせに所与の波長の単一信号を追加することができる。リングを相互接続するトラフィック(リング間トラフィック)にはいかなる制限も設けられていない。この制限は、追加/ドロップ線64、66、68、70によりネットワークにアクセスするリング間アクセスノード50に位置するユーザとの間のトラフィックのみに適用される。異なるリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>上に付加された2人のリングユーザ12がリング間アクセスノード50まで同じ波長を低下させることはなく、リング間アクセスノード50のユーザは同じ波長を使用する異なるリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>内の2人のリングユーザ12との接続をセットアップすることができない。このような制限の結果、リング間アクセスノード50との間のトラフィックに関する閉塞(blocking)がいくらか追加される可能性がある。リング間アクセスノード50で追加またはドロップされる同じ波長の2つの信号間の干渉を回避する場合、2つのリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>間のこのような波長競合を解決し、多重リング(multi-ring)ネットワークコントローラの制御下にある2重リング(dual-ring)制御ア 50

ルゴリズムを実現する必要がある。主制御アルゴリズムであれば、このような追加/ドロップ競合を回避するためにリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>のうち的一方またはもう一方における波長割り当てを再割り振りしようと試みることができるだろう。

リング間ノード74における追加/ドロップ信号の波長閉塞の問題は、図8のネットワーク図に示すように、それぞれが1対の追加線64<sub>1</sub>、64<sub>2</sub>または66<sub>1</sub>、66<sub>2</sub>と1対のドロップ線68<sub>1</sub>、68<sub>2</sub>または70<sub>1</sub>、70<sub>2</sub>とを有する2つの4×4スイッチ76、78を含む、あまり簡略化されていないPP交差接続74によって回避することができる。後で詳述するように、4×4スイッチのハードウェア要件は3×3スイッチよりかなり重大であるが、ハードウェアの複雑さによってネットワーク制御アルゴリズムの相当な簡略化が達成される。というのは、2つのリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>は、どちらがリング間ノード74における特定の波長の信号をドロップまたは追加するかについて、両者間で調整する必要がないからである。2本の追加線64<sub>1</sub>、66<sub>1</sub>と2本のドロップ線68<sub>1</sub>、70<sub>1</sub>は第1のリング52<sub>1</sub>専用にする事ができ、残りの2本の追加線64<sub>2</sub>、66<sub>2</sub>と他の2本のドロップ線68<sub>2</sub>、70<sub>2</sub>はもう一方のリング52<sub>2</sub>専用にすることができる。ハードウェアの複雑さが増すと、リング間閉塞問題と、それに関連して複数のリング間で達成するように波長を割り当てるという制御問題は低減されないが、同じリング内に位置するノード12からリング間ノード74に達するというリング内閉塞問題は解決される。リング間ノード74とリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>のうち的一方にある他のノード12との間に経路が存在する場合、リング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>のうちのもう一方にすでに存在する波長割り当てがどのようなものであるかを管理アルゴリズムが考慮する必要はない。

図9に示すもう1つの自己回復リングネットワークは、自動保護切り替えを備えた2ファイバ単方向性自己回復リング(U-SHR/2-APS)である。交差接続84は、それぞれの作業ファイバ54<sub>1</sub>、54<sub>2</sub>と保護ファイバ56<sub>1</sub>、56<sub>2</sub>とを含む2つのリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>を接続する。通常動作では、データが図示の通り時計回りに一方向に伝達されるように、2つのリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>内の作業ファイバ54<sub>1</sub>、54<sub>2</sub>だけがデータを伝達する。自動保護切り替え(APS)を使用する自己回復ネットワークの場合、障害が発生したときにそれぞれのリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>内で作業ファイバ54<sub>1</sub>、54<sub>2</sub>を関連の保護ファイバ56<sub>1</sub>、56<sub>2</sub>に相互接続するために、APS機器はリング間ノード50を含むリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>の各ノード12に関連付けられている。従来のAPS機器は、SONET付加ビットからケーブル断線またはノード障害を検出し、その後、作業ファイバと保護ファイバとの間の図2に示すリンク22、24を使用可能にする。このリンクはすべての波長について行われるので、波長選択APSスイッチは不要になる。複数波長リングの場合、代替形式のAPS、たとえば、作業ファイバ上の光学パワーの検出を使用することができる。一方のリング52<sub>1</sub>が断線20が発生した場合、APS機器によって、リンク22、24は断線20を回避するためにデータを保護ファイバ56<sub>1</sub>上に迅速にリルートできるようになる。それぞれの追加/ドロップポートに接続された単一追加線80と単一ドロップ線82だけが2つのAPSリング52<sub>1</sub>、52<sub>2</sub>間の交差接続84に関連付けられているので、この場合も、簡略化によって両方のリング上で同じ波長を同時に追加またはドロップすることを制限するという制約を被ることになる。

最も一般的な見方をすると、この2ファイバAPSネットワーク用の交差接続は6×6スイッチでなければならず、8波長WDMシステムには8個の6×6スイッチが必要になる。しかし、本発明者の認識によれば、保護ファイバ56<sub>1</sub>、56<sub>2</sub>は単に作業ファイバの欠落部分を橋絡するように動作しており、自動保護システム22、24は必要な保護切り替えだけを行うので、リングアクセスノード12または交差接続84で切り替える必要はない。すなわち、交差接続84は、保護ファイバ56<sub>1</sub>、56<sub>2</sub>へまたはそのファイバから切り替わることはない。自動化可能なAPSリンクが交差接続84に接続しているので、この制約はノード12から交差接続84への経路内の回線障害の場合にも可能である。このため、図10のネットワーク図に示すように、交差接続84は、2本の作業ファイバ54<sub>1</sub>、54<sub>2</sub>からの入力と追加線80からの入力とを有し、2本の作業ファイバ54<sub>1</sub>、54<sub>2</sub>への出力とドロップ線82への出力とを有する1つの3×3スイッチ86として実現することができる。2本の保護ファイバ56<sub>1</sub>、56<sub>2</sub>は3×3スイッチ86の周りに永続的に接続されている。3×3交差接続86用のコントローラは図示していない。

10

20

30

40

50

3 × 3スイッチを使用するリング間交差接続の追加/ドロップ線に関する波長競合問題は、図11のネットワーク図に示すように、それぞれの追加ポートおよびドロップポートに接続される2本の追加線80<sub>1</sub>、80<sub>2</sub>および2本のドロップ線82<sub>1</sub>、82<sub>2</sub>に接続された4 × 4スイッチ88を含むいくらか簡略化した交差接続87によって解消することができる。

図5および図9に示した相互接続自己回復リングの前述の実施例は、(1 + 1アーキテクチャでは同等のデータが両方向に送信されるが)データが通常、リングの周りの所与の一方に伝搬するという意味で、どちらも単方向性のものである。逆回転リングは保護のためにのみ使用する。単方向性リングはアーキテクチャ上の簡略化を享受しているが、ネットワークの帯域幅を完全に使用しておらず、それは通常、ノードにある電子機器の帯域幅によって決定される。単方向性リング内の2つの隣接ノード12が大量のデータを交換している場合、一方の方向についてはデータはリングのわずかな部分だけ移動すればよいが、第2の方向についてはデータは所望のノードに到達する前にリング内の残りのすべてのノードを通過する必要がある。その結果、単方向性WDMリングの場合に周波数を再利用すると、全容量がわずかに増加するだけである。これに対して、双方向性リングでは、2本の作業ファイバがリングを巡回し、任意の1対のノードをリンクする2本の逆伝搬経路を提供する。特定のチャネル用としてどちらの作業ファイバを選択するかという選択は、多くの要因による可能性があるが、ある規則により、経路が最も短い作業ファイバが選択されるであろう。この制御プロトコルは、最大伝送距離を半減するはずであり、隣接ノード同士の方が分離したノード同士より大量のトラフィックを交換する傾向がある場合、特に効果的な周波数再利用が可能になるであろう。

図12には、交差接続92によって相互接続された2つの4ファイバ双方向性APS自己回復リング90<sub>1</sub>、90<sub>2</sub>(B - SHR/4 - APS)の相互接続WDMネットワークが示されている。各リング90<sub>1</sub>、90<sub>2</sub>は、それぞれの時計回り伝搬作業ファイバ94<sub>1</sub>、94<sub>2</sub>と、それぞれの反時計回り伝搬作業ファイバ96<sub>1</sub>、96<sub>2</sub>を含む。各作業ファイバ94<sub>1</sub>、94<sub>2</sub>、96<sub>1</sub>、96<sub>2</sub>には、平行しているが逆伝搬の保護ファイバ98<sub>1</sub>、98<sub>2</sub>、100<sub>1</sub>、100<sub>2</sub>が関連付けられている。2つのリング90<sub>1</sub>、90<sub>2</sub>のノード12に関連するが図示していない自動保護スイッチは、ファイバ断線またはノード障害が検出されたときに、作業ファイバ94<sub>1</sub>、94<sub>2</sub>、96<sub>1</sub>、96<sub>2</sub>の1本からそれに関連する保護ファイバ98<sub>1</sub>、98<sub>2</sub>、100<sub>1</sub>、100<sub>2</sub>に信号を選択的にループする。すなわち、回線切り替えを使用して、断線またはノード障害を回復する。交差接続92は、交差接続92が2つのリング90<sub>1</sub>、90<sub>2</sub>から独立して追加およびドロップを行えるように、それぞれの追加/ドロップポートに接続された2本の追加ファイバ102<sub>1</sub>、102<sub>2</sub>と、2本のドロップファイバ104<sub>1</sub>、104<sub>2</sub>を含む。

図示の通り、WDM用のB - SHR/4交差接続92は波長選択の10 × 10スイッチを必要とする。しかし、図13に示すように、それぞれが2つのリング90<sub>1</sub>、90<sub>2</sub>のそれぞれの1本の作業ファイバ94<sub>1</sub>、94<sub>2</sub>、96<sub>1</sub>、96<sub>2</sub>ならびに1対の追加/ドロップファイバ102<sub>1</sub>、102<sub>2</sub>、104<sub>1</sub>、104<sub>2</sub>を切り替える2つの3 × 3スイッチ106、108によって交差接続92が実現されている場合、ほとんど完全な機能性を維持することができる。図9に示したAPS実施例の場合と同様に、保護ファイバ98<sub>1</sub>、98<sub>2</sub>、100<sub>1</sub>、100<sub>2</sub>は、交差接続92によって直接切り替えられず、したがって、3 × 3スイッチ106、108を迂回する。図示の通り、第1の3 × 3スイッチ106は反時計回り伝搬ファイバ96<sub>1</sub>、96<sub>2</sub>を相互切り替えし、第2の3 × 3スイッチ106は時計回り伝搬ファイバ98<sub>1</sub>、98<sub>2</sub>を相互切り替えするが、2つのリング内の時計回り信号と反時計回り信号も容易に相互切り替えすることができる。2つの3 × 3スイッチ106、108の切り替え状態は、図示していないコントローラによって個別に制御される。

図13の簡略リング間交差接続は、図12の一般的な10 × 10スイッチに関する2つの制約を受ける。第1のリング内の1本の作業ファイバ上を移動する信号は、もう一方のリングの作業ファイバのうち的一方またはもう一方に選択的に切り替えることができない。永続的なファイバ接続によって、どの2本のファイバを相互接続できるかが決まる。この制約は、交差接続の機能性を制限するものではないが、第2のノードが必ずしも所望の宛先ノードまでの最短経路を使用できるわけではないことを意味している。これは少数の相互接続リングにとって些細な事柄かもしれないが、連鎖的に相互接続された多数のリングは、最短

10

20

30

40

50

経路をもたらすような4ファイバアーキテクチャに有利なものではない。同様に、それぞれの3×3スイッチ106、108は、所与の周波数の信号を1つだけドロップ（または追加）することができる。このため、チャンネル割り当てプロトコルでは、交差接続で除去すべき同じ波長の2つのチャンネルが異なる3×3スイッチ106、108に向けられるように保証しなければならない。

対応する非競合アーキテクチャは、図14に示すネットワーク図に示されている。いくぶん簡略化した交差接続92'は、リング90<sub>1</sub>、90<sub>2</sub>への前述の接続を有する2つの4×4スイッチ106'、108'を含む。その追加/ドロップポートで4×4スイッチ106'が2本の追加線102<sub>1-1</sub>、102<sub>1-2</sub>を受け入れ、2本のドロップ線104<sub>1-1</sub>、104<sub>1-2</sub>に送信し、もう一方の4×4スイッチ108'が2本の追加線102<sub>2-1</sub>、102<sub>2-2</sub>を受け入れ、2本のドロップ線104<sub>2-1</sub>、104<sub>2-2</sub>に送信するように、追加/ドロップ線の数が増えている。それにより、一方のリング90<sub>1</sub>、90<sub>2</sub>は、もう一方のリングを考慮せずに、リング間ノード92'で信号を追加またはドロップすることができる。

図15に示すように、双方向性経路保護自己回復リングは、代わりに2本のファイバのみで実現することもできる(B-SHR/2-PP)。各リング110<sub>1</sub>、110<sub>2</sub>は、時計回り方向に伝搬するファイバ112<sub>1A</sub>、112<sub>2A</sub>と、反時計回り方向に伝搬する平行ファイバ112<sub>1B</sub>、112<sub>2B</sub>とをそれぞれ含む。2つのリング110<sub>1</sub>、110<sub>2</sub>は交差接続114によって相互接続され、その交差接続は2本の追加ファイバ102<sub>1</sub>、102<sub>2</sub>および2本のドロップファイバ104<sub>1</sub>、104<sub>2</sub>にも接続していた。ただし、図9および図15のネットワークは、トポロジ上は似ているが、異なる機能性を提供するものであることに留意されたい。前者は単方向性であり、後者は双方向性である。図15の双方向性実施例では、すべてのリングファイバ112<sub>1A</sub>、112<sub>1B</sub>、112<sub>2A</sub>、112<sub>2B</sub>は通常条件下でデータを伝達するので作業ファイバと見なされ、データは通常、逆伝送ファイバ上では複製されない。しかし、その容量の半分が予備として保持されるように、各ファイバは通常、その容量のわずかな半分またはそれ以下で動作する。

従来、このアーキテクチャによって得られる経路保護(path protection)は、通常はSONETタイムスロットの半分だけを使用することによりSONETリングの容量を低減することによって達成されてきた。図16のネットワーク図に示すように、送信機12<sub>T</sub>は、逆伝搬ファイバ112<sub>A</sub>および112<sub>B</sub>を含むSONETリング110によりSONET信号を受信機12<sub>R</sub>に送信する。送信機12<sub>T</sub>と受信機12<sub>R</sub>は、逆方向の送受信も可能なノード12の一部であることが分かっている。通常動作では、送信機12<sub>T</sub>は、図17に示す第1のSONETフレームDATA1を時計回りファイバ112<sub>A</sub>上に送信し、第2のSONETフレームDATA2を反時計回りファイバ112<sub>B</sub>上に送信する。しかし、図17のフレーミング構造に示すように、通常動作では、送信機12<sub>T</sub>はSONETデータタイムスロット113の半分だけを使用し、タイムスロットEを交互に空のままにする。SONET付加ビットスロットは図17には示されていない。ファイバ断線(fiber break)20<sub>1</sub>または20<sub>2</sub>あるいは介入ノード障害(intervening node failure)が発生した場合、受信機12<sub>R</sub>は、その受信に関する限り、どちらのファイバ112<sub>A</sub>、112<sub>B</sub>が非活動状態であるかを検出し、送信機12<sub>T</sub>から受信機12<sub>R</sub>に送信しているどちらのファイバ112<sub>A</sub>、112<sub>B</sub>上で障害が発生したか、すなわち、それが障害20<sub>1</sub>であるか20<sub>2</sub>であるかを送信機12<sub>T</sub>に通知する。当然のことながら、2重障害(double failure)20<sub>1</sub>および20<sub>2</sub>であれば、送信機12<sub>T</sub>は受信機12<sub>R</sub>から隔離されるだろう。送信機12<sub>T</sub>は、どちらのファイバが故障したかの決定に回答して、空のスロットEを使用することによって2つのSONETフレームからのデータを単一フレームDATA1+DATA2に結合し、結合フレームDATA1+DATA2を存続ファイバ上に送信する。

しかし、WDMネットワークでは、容量の低減は、その波長領域内でより直接的に達成することができる。たとえば、8波長WDMネットワークに関して図18のネットワーク図に示すように、送信機12<sub>T</sub>は通常、WDM波長の半分だけ、たとえば、 $\lambda_1 \cdots \lambda_4$ を第1のファイバ112<sub>A</sub>上に送信し、残りの4通りの波長 $\lambda_5 \cdots \lambda_8$ をもう一方のファイバ112<sub>B</sub>上に送信する。しかし、障害20<sub>1</sub>の場合、受信機12<sub>R</sub>は所与の波長での送信時に障害を検出し、波長によって識別された障害の位置を送信機12<sub>T</sub>に通知する。これに回答して、送信機12<sub>T</sub>は、そのリンクのために使用可能な存続ファイバ112<sub>A</sub>上に8通りのWDM波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_8$ のすべてを送信し始める。この転送(transfer)は、SONETフレーム内でタイムスロット

10

20

30

40

50

を交換するために必要になるように、電気領域 (electrical domain) へ逆多重化 (demultiplexing) する必要なしに光学領域 (optical domain) 内で達成することができる。

故障したリングから他のリングへ通過する波長はそれらが通常、割り当てられないファイバ上に置くことができ、第2のリング内の受信機にはこの再構成を通知しなければならないという制約が課せられる。この制約の場合、それらは異なる波長の信号を伝達しているので、1つのリング上の時計回り伝搬ファイバからの信号を他のリング上の反時計回り伝搬ファイバに切り替える理由はまったくない。当然のことながら、この違いは、回転方向を含まないが、伝達される波長のセットを含む。

このように交換が限定された結果として、交差接続114は、図15により最も明らかな6×6スイッチ114から図19に示す1対の3×3スイッチ116、118へ縮小することができる。一方の3×3スイッチ116は、4通りの波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_4$ を伝達する2本の時計回り伝搬ファイバ112<sub>1A</sub>、112<sub>2A</sub>ならびに1対の追加/ドロップファイバ102<sub>1</sub>、104<sub>1</sub>に接続され、もう一方の3×3スイッチ118は、残りの4通りの波長 $\lambda_5 \cdots \lambda_8$ を伝達する2本の反時計回り伝搬ファイバ112<sub>1B</sub>、112<sub>2B</sub>に接続されている。このように簡略化すると、リング間ノード (交差接続) 114が8通りの波長のすべてに確実にアクセスする場合、障害時には各3×3スイッチ116、118が8通りの波長すべての切り替えができなければならないが、通常動作時には3×3スイッチ116、118が8通りではなく4通りの波長のみの切り替えを行えばよいという利点が得られる。この簡略化によって、同じ波長の2つの信号を交差接続114で追加またはドロップすることができないという通常の制約が設けられる。

図7のコントローラ72と同様の図示していないコントローラによって、2つの3×3スイッチ116、118の切り替え状態が制御される。WDMネットワークでは、どちらのスイッチでそれが遷移するかにかかわらず、所与のリング110<sub>1</sub>、110<sub>2</sub>内の所与のWDM波長の信号がいずれかのスイッチ116、118によって同様に切り替えられる限り、2つの3×3スイッチ116、118は同じ切り替え状態になるように制御される。通常動作では、それぞれのB-SHR/2リング110<sub>1</sub>、110<sub>2</sub>内の一方のファイバ112<sub>1A</sub>、112<sub>1B</sub>がWDM信号の半分を一方の3×3スイッチ116に経路指定し、もう一方のファイバ112<sub>1B</sub>、112<sub>2B</sub>はWDM信号の残り半分をもう一方の3×3スイッチ118に経路指定する。その結果、それぞれの3×3スイッチ116、118では一致するコントローラ信号のうちの半分だけが重要になる。しかし、障害の場合、すべてのWDM波長信号は1本のファイバ上で伝達されて、3×3スイッチ116、118の一方に入り、必要なスイッチ状態制御信号はすべてすでにその3×3スイッチ116、118で使用可能になっている。

残りの実施例については、図20のネットワーク図に示すように、2つのリング110<sub>1</sub>、110<sub>2</sub>への前述の接続を有するが、追加の追加/ドロップ線も有する2つの4×4スイッチ116'、118'を含む交差接続114'によってリング間ノード114における競合を除去することができる。具体的には、第1の4×4スイッチ116'は、1対の追加線102<sub>1-1</sub>、102<sub>1-2</sub>を受け入れ、1対のドロップ線104<sub>1-1</sub>、104<sub>1-2</sub>上で送信する。同様に、第2の4×4スイッチ118'は、1対の追加線102<sub>2-1</sub>、102<sub>2-2</sub>を受け入れ、1対のドロップ線104<sub>2-1</sub>、104<sub>2-2</sub>上で送信する。8本の追加/ドロップ線のすべてに接続されたポートがすべてのWDM波長に対処できる場合、リング間ノード114'における波長競合は除去され、自己回復アルゴリズムは簡略化される。

様々な自己回復リングについて、交差接続XCおよびスイッチSwの構成要素数を表1に示す。この表は、交差接続内の追加/ドロップ線が1対であるために3×3スイッチを使用することになる場合に基づくものである。

10

20

30

40

リング スイッチ	U SHR/2 APS	U SHR/2 PP	B SHR/2 PP	B SHR/4 APS
6x6 XC	1	1	1	-
10x10 XC	-	-	-	1
1x6 Sw	12W	12W	12W	-
1x10 Sw	-	-	-	20W
3x3 XC	1	2	2	2
1x3 Sw	6W	12W	12W	12W
2x2 Sw	4W	8W	8W	8W
Mux/Demux 2x2 mλSw	2 4	4 8	4 8	4 8

表 1

この表では、交差接続XCはW通りのWDM波長をすべて独立して切り替えることができるものと想定され、単純なスイッチSwは様々な波長を区別することができないものと想定されている。このような単純なスイッチの場合、追加のマルチプレクサとデマルチプレクサが必要である。しかし、複数波長スイッチ m Swは、様々なWDM波長を独立して切り替えることができるものと想定されている。複数波長スイッチが様々な物理波長レベルを使用する機械作動式タイプのものである場合、マルチプレクサとデマルチプレクサが必要である。

代わりに4×4スイッチを使用してリング間ノードでの波長競合を防止する場合、以下の表2に示すように、部品数は大幅に増加する。

リング スイッチ	U SHR/2 APS	U SHR/2 PP	B SHR/2 PP	B SHR/4 APS
6x6 XC	1	1	1	-
10x10 XC	-	-	-	1
1x6 Sw	12W	12W	12W	-
1x10 Sw	-	-	-	20W
4x4 XC	1	2	2	2
1x4 Sw	8W	16W	16W	16W
2x2 Sw	8W	16W	16W	16W
Mux/Demux 2x2 mλSw	4 8	8 16	8 16	8 16

表 2

たとえば、広義無閉塞の4×4スイッチを実現するためには、広義無閉塞の3×3スイッ

10

20

30

40

50

チを実現するために必要な4つの $2 \times 2$ スイッチではなく、8つの $2 \times 2$ スイッチが必要になる。スイッチは複数波長ではない場合、これらの数にはWDM波長の数 $W$ が掛けられる。当然のことながら、追加の追加/ドロップ線は、それぞれ専用の送信機と受信機を必要とする。

複数の方向に伸びるファイバ中継線を有する既存の主要電話局においていくつかの大規模ハブを有する既存のメッシュネットワークには、相互接続可能リングのアーキテクチャが課せられる場合が多い。その結果、3つ以上のリングがハブを通過する可能性があり、3つまたはそれ以上のリング間で切り替えるために単一交差接続を使用することが有利になる可能性がある。3つの経路保護単方向性自己回復リング(U-SHR/PP)のケースが発生し、このケースは $K$ 個のこのようなリングへと一般化される。

U-SHR/PPアーキテクチャでは、作業ファイバと保護ファイバの両方にすべての信号を印加する。U-SHR/PPリング相互接続に適用される概念は、他のタイプのリングに容易に拡張される。

図21に示すように、単一交差接続120は3つのリング $122_1$ 、 $122_2$ 、 $122_3$ を相互接続し、それぞれのリングはそれぞれの作業ファイバ $124_1$ 、 $124_2$ 、 $124_3$ とそれぞれの保護ファイバ $126_1$ 、 $126_2$ 、 $126_3$ とを含む。また、選択接続は2つの除去/追加クラスタまで伸び、それぞれのクラスタはそれぞれのドロップファイバ $128_1$ 、 $128_2$ とそれぞれの追加ファイバ $130_1$ 、 $130_2$ とを含み、それらが相俟って交差接続120におけるアクセスノードを提供する。経路保護アーキテクチャでは、作業ファイバと保護ファイバの両方が除去/追加を必要とするので、2対のドロップ/追加が必要である。図示の通り、交差接続120は $8 \times 8$ 波長選択スイッチを必要とする。単方向性経路保護リングの場合、図22に示すように、交差接続120は2つの $4 \times 4$ スイッチ132、134まで簡略化することができる。第1の $4 \times 4$ スイッチ132は3本の作業ファイバ $124_1$ 、 $124_2$ 、 $124_3$ すべての両端ならびに第1の対の追加/ドロップファイバ $128_1$ 、 $130_1$ に接続され、第2の $3 \times 3$ スイッチ134は3本の保護ファイバ $126_1$ 、 $126_2$ 、 $126_3$ すべての両端ならびに第2の対の追加/ドロップファイバ $128_2$ 、 $130_2$ に接続される。便宜上、第2のリング $122_2$ は実質的に第3のリング $122_3$ 内に含まれているものとして示されているが、これらのリングは通常、様々な地理的地域の上に伸びるものと予想されている。いずれの場合も、リングのトポロジは本発明に直接関連するものではなく、リングはほぼ任意のトポロジを呈することができる。

図22に示す自己回復相互接続リングネットワークは、3つのリングを相互接続するための $4 \times 4$ スイッチ132、134が2つのリングを相互接続するための $3 \times 3$ スイッチ60、62に取って代わるという点で、図7のものとは異なることが分かるであろう。

4つのU-SHR/PPリングを相互接続するためには $10 \times 10$ 交差接続が必要である。しかし、これは、2つの $5 \times 5$ スイッチに簡略化することができる。一般に、 $K$ 個のWDM U-SHR/PPリングを相互接続する場合、 $(2K+2) \times (2K+2)$ の交差接続が必要である。しかし、図23に示すように、これは、 $K$ 個のリングを相互接続する2つの $(K+1) \times (K+1)$ スイッチ140、142に簡略化することができ、そのリングはそれぞれの作業ファイバと保護ファイバの対である $144_1$ 、 $144_2$ 、 $\dots$ 、 $144_K$ を含む。第1のスイッチ140は $K$ 本の作業ファイバならびに第1の対の追加/ドロップファイバ $128_1$ 、 $130_1$ に接続され、第2のスイッチ142は $K$ 本の保護ファイバならびに第2の対の追加/ドロップファイバ $128_2$ 、 $130_2$ に接続される。

U-SHR/PP以外の構成を有する3つ以上のリング間の交差接続にも、同じ汎用手順を適用することができる。表3には、詳細に前述した4通りのネットワーク実施例に必要な交差接続のタイプと数を示す。

10

20

30

40

リング タイプ	U SHR/2 APS	U SHR/2 PP	B SHR/2 PP	B SHR/4 APS
2 重 リング	1つ 3x3	2つ 3x3	2つ 3x3	2つ 3x3
3 重 リング	1つ 4x4	2つ 4x4	2つ 4x4	2つ 4x4
K 重 リング	1つ (K+1)x(K+1)	2つ (K+1)x(K+1)	2つ (K+1)x(K+1)	2つ (K+1)x(K+1)

10

表 3

図21～図24に示す上位交差接続ならびに表3に示す部品数は、追加/ドロップ線の不足のためにリング間ノードで発信または終端する信号の波長閉塞 (wavelength blocking) の影響を受ける。このような競合は、相互接続リングのそれぞれに1本の追加線と1本のドロップ線を設けるためにスイッチ132、134、140、142のサイズを大きくすることによって除去することができる。3つのリングを相互接続する場合、閉塞を除去するには1つまたは2つの6×6スイッチが必要になる。同様に、K個のリングを相互接続する場合は、1つまたは2つの2K×2Kスイッチが必要になる。1つのスイッチが必要かまたは2つのスイッチが必要かは、表3に要約したように、自己回復アーキテクチャのタイプによって決まる。

20

上述のように、リング間ノードにおけるあの程度の波長閉塞が許容される場合、2つの自己回復WDMリング間の交差接続は、3×3複数波長光学スイッチに簡略化することができる。1つの3×3光学スイッチは、合計6つのスイッチの場合、3つの1×3スイッチと3つの3×1スイッチで実現することができるが、特にコストに敏感な設計の場合、この数は過剰であると考えられる。

より基本的な構造は1×2光学スイッチであり、これは通常は非線形相互作用に依存する2つの出力のうちの1つに入力を切り替えることができる。この構造は、ときには2×1スイッチを形成するために反転 (invert) することができ、これらのスイッチのうちの4つを結合して1つの2×2スイッチにすることができる。超音波光学チューナブルフィルタおよび液晶スイッチなどの他の技術では、図3に関連して説明したように、図24に示すスイッチ150などの2×2スイッチを基本ブロックとして直ちに形成する。このような2×2スイッチは低コストで作成することができ、容易に実現され、直ちに入手可能である。

30

図24に示す2×2スイッチ150は、2つの光学入力152、154と、2つの光学出力156、158とを有する。このスイッチは2通りの状態を有する。バー状態では、上部光学入力152が上部光学出力156に接続され、下部光学入力154が下部光学出力158に接続される。クロス状態では、上部光学入力152が下部光学出力158に接続され、下部光学入力154が上部光学出力156に接続されるように、接続が逆になる。適切に設計されたスイッチでは、選択したチャンネル間のクロストークは非常に小さい。複数波長スイッチの利点は、光学領域で切り替え行われることであり、このスイッチは異なる波長の光学チャンネルを独立して同時に切り替えることができる。

40

上位 (higher - order) 光学スイッチは、2×2スイッチの複数ステージとして実現される場合が多い。たとえば、図25に示す4×4光学スイッチは、4つのステージに配置され、図示の内部接続を介して4つの光学入力160を4つの光学出力162に接続する8個の2×2スイッチ150を含む。HintonはAn Introduction to Photonic Switching Fabrics (Plenum、1993年)の90、91ページにおいて、このネットワークが広義無閉塞ネットワークであ

50

ることを開示し、このようなネットワークによるルーチングアルゴリズムのガイダンスを示している。特に、中央の4つの2×2スイッチ150は、決して同じ状態になってはならない。Bene 他「Wide - sense non - blocking networks, and some packing algorithms」(Electronics Letters、vol.17、1981年、697ページ)も参照されたい。いわゆるBeneのネットワークは、2×2スイッチのステージが1つ少ないが、再配列可能(rearrangeable)な無閉塞なスイッチ、すなわち、任意の入力が単独で任意の出力に接続されるというどのような組み合わせも可能なスイッチのみを提供するが、そのスイッチによる新しい経路は既存の経路の再配列を必要とする場合もある。

図25に示した広義無閉塞の4×4ネットワークは、非競合交差接続に関して説明した4×4スイッチに使用することができる。これは、3×3スイッチを実現する場合にも使用することができるが、8つの2×2スイッチが必要になるであろう。必要な構成要素が少ない3×3スイッチ用として切り替えネットワークを見つけることが好ましい。

表4に示すように、3×3スイッチには6通りの状態がある。WDM光学スイッチの場合、各波長ごとにこのような状態が6通りある。

状態	入力		
	1	2	3
	出力		
a	1	2	3
b	1	3	1
c	3	2	1
d	2	1	3
e	2	3	1
f	3	1	2

表4

3×3スイッチのための広義無閉塞アーキテクチャを図26に示す。広義無閉塞スイッチとは、それ自体は変更を必要としない既存の接続を通るトラフィックを中断せずに、あらゆる場合に任意の状態から他の状態への許容された遷移を達成できるスイッチである。広義無閉塞を達成するために有能なアルゴリズムが必要になる可能性がある。このような広義無閉塞の3×3スイッチは、図示した内部接続により3つの入力166<sub>1</sub>、166<sub>2</sub>、166<sub>3</sub>を3つの出力168<sub>1</sub>、168<sub>2</sub>、168<sub>3</sub>に接続するために千鳥状構成(staggered configuration)に配置された4つの2×2スイッチ164<sub>1</sub>、164<sub>2</sub>、164<sub>3</sub>、164<sub>4</sub>を含む。WDMネットワークでは、2×2スイッチ164<sub>1</sub>、164<sub>2</sub>、164<sub>3</sub>、164<sub>4</sub>は、好ましいことに全光学(all-optical)スイッチであり、最も好ましいことに複数波長スイッチである。図26の入力166および出力168に付けた下付き文字は、表4の入力または出力を数値で識別するために使用することができる。同様に、スイッチ164に付けた下付き文字は、以下に示す表5内のスイッチの順序を示すために使用することができる。たとえば、表5の「A」状態は(0101)と示されている。最初の「0」は第1のスイッチ164<sub>1</sub>がパー状態になっていることを意味する。同じ位置に「1」がある場合は、それがクロス状態になっていることを意味する。図19の3×3スイッチ116、118に関しては、入力166<sub>1</sub>、166<sub>2</sub>および出力168<sub>2</sub>、168<sub>3</sub>はリンクファイバ112<sub>1A</sub>、112<sub>1BA</sub>または112<sub>2A</sub>、112<sub>2B</sub>に接続され、入力166<sub>3</sub>は追加波長マルチプレクサ170に接続され、出力168<sub>1</sub>はドロップ波長デマルチプレクサ172に接続される。追加線102<sub>1</sub>、102<sub>2</sub>はマルチプレクサ170に入力されるW本のファイバの束であり、ドロップ線104<sub>1</sub>、104<sub>2</sub>は

10

20

30

40

50

デマルチプレクサ172から出力されるW本のファイバの束である。

2 × 2 スイッチ164のうちの一つは除去することができるが、3 × 3 スイッチは広義無閉塞ではなく、許される新しい接続用に再配列するために従来の接続を中断する必要があるという意味で再配列可能な無閉塞なものにすぎない。

次に、広義無閉塞の3 × 3 スイッチ状態を達成するために図26の切り替えシステム用として4通りの2 × 2 スイッチ状態を選択する方法を示すアルゴリズムを説明する。3 × 3 スイッチの広義無閉塞では、入力と出力との接続のうち、1つを維持し、残りの2つを変更するかまたは少なくともセットアップする必要がある。このアルゴリズムは、4つの2 × 2 スイッチ164<sub>1</sub>、164<sub>2</sub>、164<sub>3</sub>、164<sub>4</sub>に接続された制御線を有するコントローラ170によって実行される。

組み合わせ数学 (combinatorial mathematics) によりまたは単に表4を検査することにより、状態 a、b、・・・f のそれぞれは、1つの接続が保持される他の状態への遷移として3通りの可能な遷移だけを経験し得ることが分かる。4つのスイッチ164のそれぞれは、2通りの状態のうち的一方を呈する可能性がある。パー状態は0で示され、クロス状態は1で示される。4つの2 × 2 スイッチ164は全体として、16通りの状態組み合わせを有することができる。表4の6通りの3 × 3 スイッチ状態のそれぞれについて2つずつ、すなわち、これらのうちの12個を選択し、A、A'、B、B'、・・・F'と表示し、表5に示す。

A	(0101)	A'	(1010)
B	(1011)	B'	(0100)
C	(1110)	C'	(0111)
D	(1101)	D'	(0010)
E	(1111)	E'	(0110)
F	(1100)	F'	(0011)

表5

この表では、各行は3 × 3 スイッチ状態を表し、2番目および4番目の列には許容される2通りの2 × 2 スイッチの組み合わせが示されている。各行の3 × 3 スイッチ状態の各対は、2 × 2 スイッチ状態の様々な組み合わせを表しているが、3 × 3 スイッチの所与の入力用として同等の出力を生成する。

必要なアルゴリズムは図27の幾何学的構造によって表すことができ、これは2レベルの六角形または六角柱として特徴付けることができる。スイッチ状態の組み合わせA、A'、B、B'、・・・F'は、六角柱の頂点(隅)によって識別され、相補的な組み合わせ、たとえば、A、A'は異なる平面(六角面)上の対向する頂点に位置する。許される遷移は、六角柱の単一辺によって識別される。たとえば、状態の組み合わせAは、状態の組み合わせB'、C'、D'のいずれかに遷移することができるが、他の状態の組み合わせのいずれにも遷移することができない。他の遷移はいずれもセットアップ中の接続だけでなく、保持すべき接続も中断するおそれがある。

したがって、表4の3 × 3 状態のうちの一つが2通りの間で遷移を行うには、表5の既存の状態の組み合わせが分かっているなければならない。たとえば、表4の状態a、b間で遷移が行われる場合、4つの2 × 2 スイッチのすべての現在の構成が識別されるように、表5の初期状態の組み合わせがAまたはA'のいずれであるかが分かっているなければならない。初期スイッチの組み合わせがAであると想定すると、許される遷移はB'になり、この

場合、第4の $2 \times 2$ スイッチ $164_4$ はクロス状態からバー状態に切り替わり、最初の3つのスイッチ $164_1$ 、 $164_2$ 、 $164_3$ はそれぞれバー状態、クロス状態、バー状態を保持する必要がある。それにより、第1の入力 $166_1$ と第1の出力 $168_1$ との接続は中断なしに保持される。状態の組み合わせAからBへの遷移によって入力166と出力168との間の所望の最終接続が生成されるが、その経路が再構成されたときに、保持された接続が瞬間的に中断するおそれがある。これに対して、初期スイッチの組み合わせがA'であった場合、アルゴリズムはフィルムの組み合わせBへの遷移を示す。同等の組み合わせが得られる可能性はあるが、表5に示す状態と図27の遷移配列 (transition arrangement) は広義無閉塞の遷移を生成するために固有のものである。

上記の本発明は光学ネットワークに関連して説明してきたが、その特徴の多くは電気ネットワークにも適用することができる。

10

したがって、本発明は、相互接続された自己回復リング、特に、WDMトラフィックを伝達する光ファイバリングからなる通信ネットワークにおける重要な利点をいくつか提供するものである。相互接続を通るデータ経路の多くは相互接続する必要がないことを認識することにより、ネットワークの複雑さを大幅に低減することができる。その結果、相互接続のサイズは、単純な構成要素で達成可能になるように十分小さいものにすることができる。特に、2つの相互接続リング (interconnected ring) の場合、1つまたは2つの $3 \times 3$ スイッチで十分である可能性がある。本発明は、4つの $2 \times 2$ スイッチから構築した広義無閉塞の $3 \times 3$ スイッチをさらに提供するものもある。このような単純なスイッチは、選択した光学波長を様々な方向に切り替えることができる波長選択性光学交差接続として入手可能である。それにより、本発明は、2つの自己回復リング間の接続では、電気領域への変換が不要なWDM通信ネットワークで使用可能な単純なスイッチを提供する。

20

【図1】

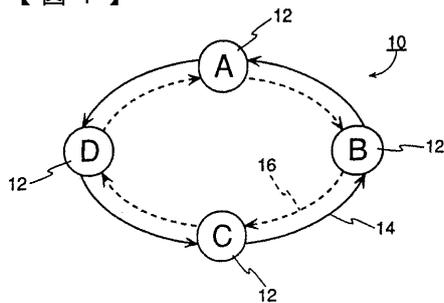


FIG. 1 (従来技術)

【図2】

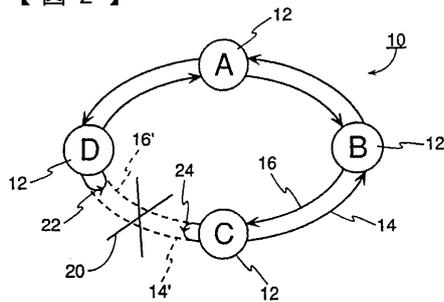


FIG. 2 (従来技術)

【図3】

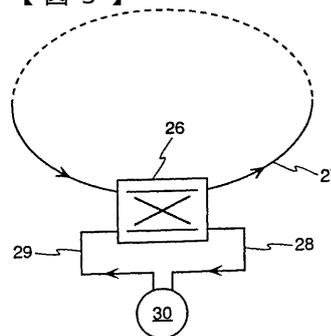


FIG. 3 (従来技術)

【図4】

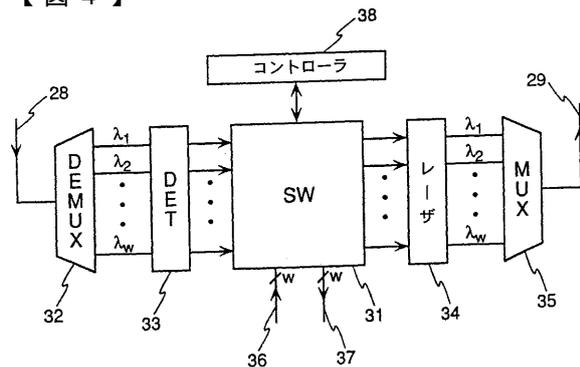


FIG. 4

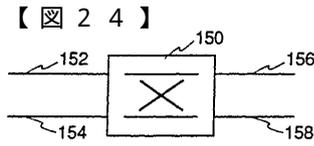


FIG. 24 (従来技術)

【 図 5 】

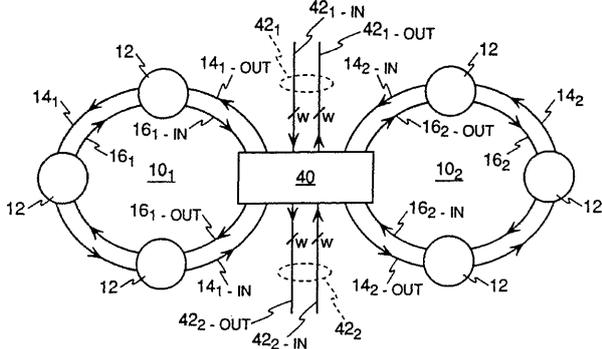


FIG. 5

【 図 6 】

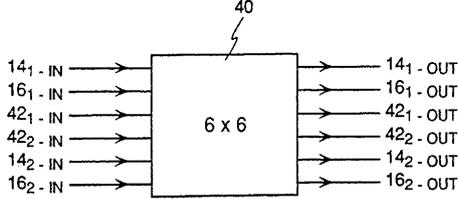


FIG. 6

【 図 9 】

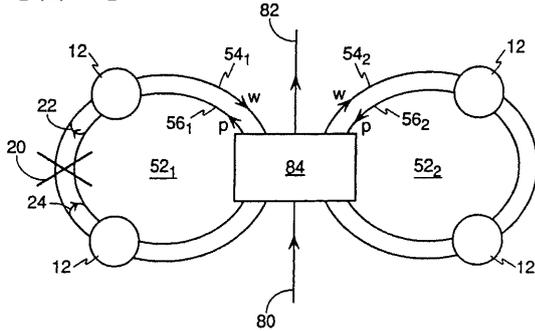


FIG. 9

【 図 7 】

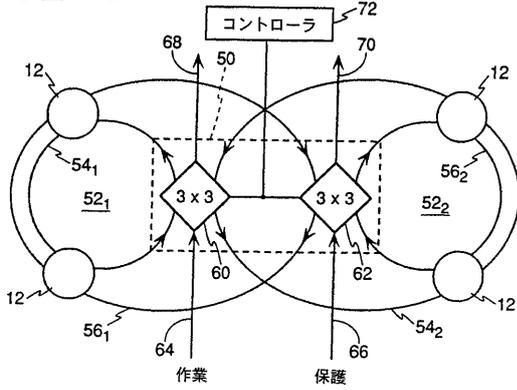


FIG. 7

【 図 8 】

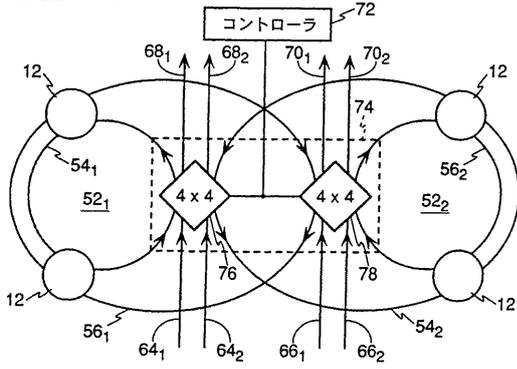


FIG. 8

【 図 10 】

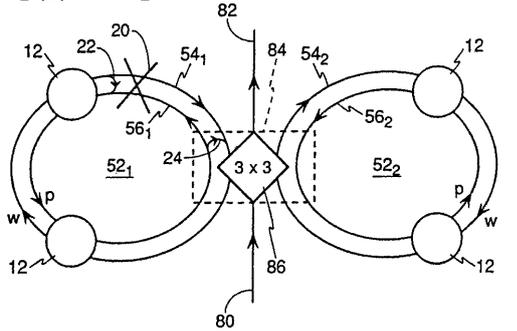


FIG. 10

【 図 12 】

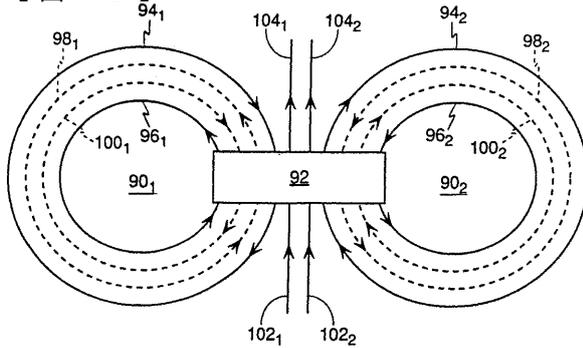


FIG. 12

【 図 11 】

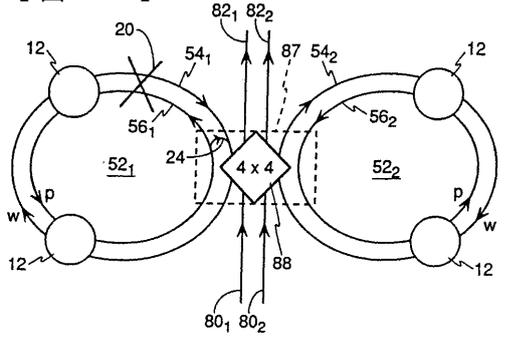


FIG. 11

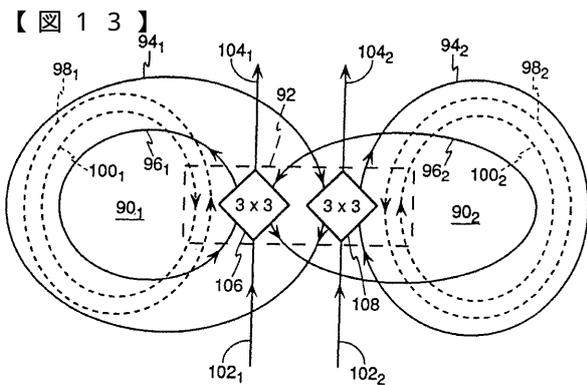


FIG. 13

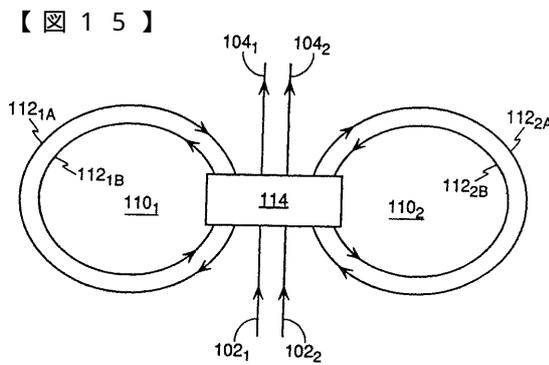


FIG. 15

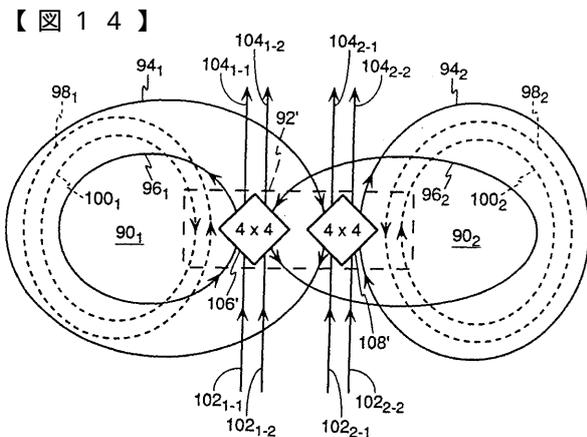


FIG. 14

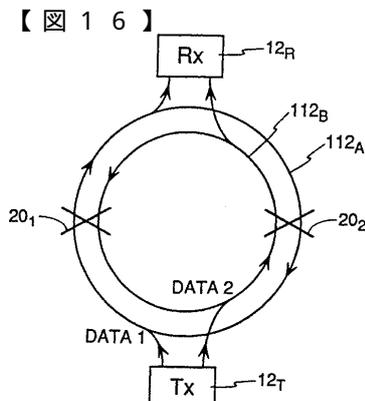


FIG. 16

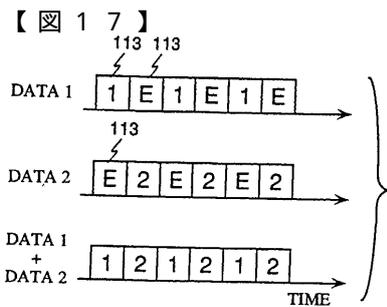


FIG. 17

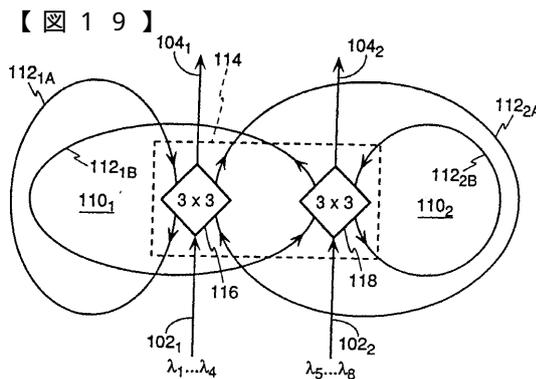


FIG. 19

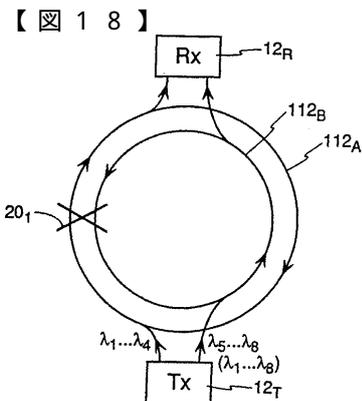


FIG. 18

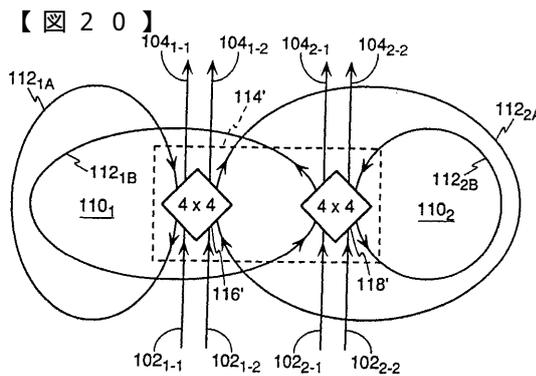


FIG. 20

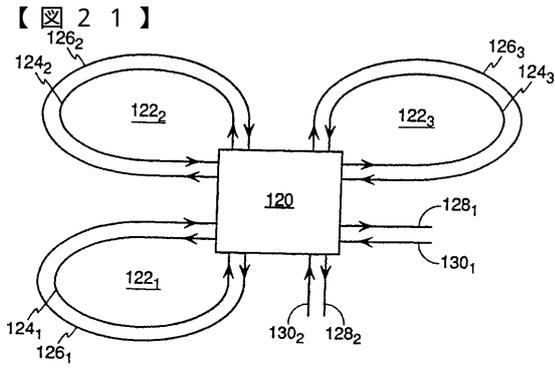


FIG. 21

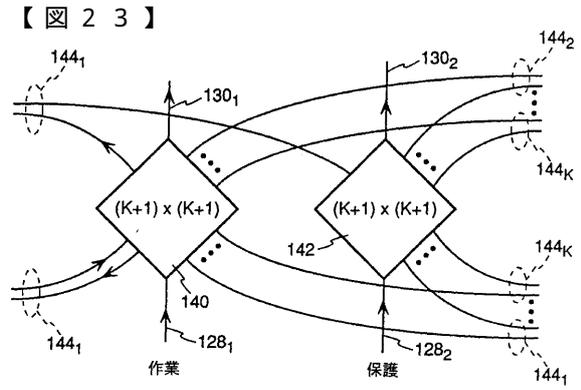


FIG. 23

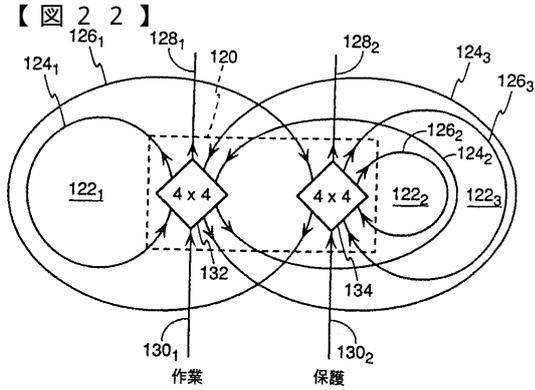


FIG. 22

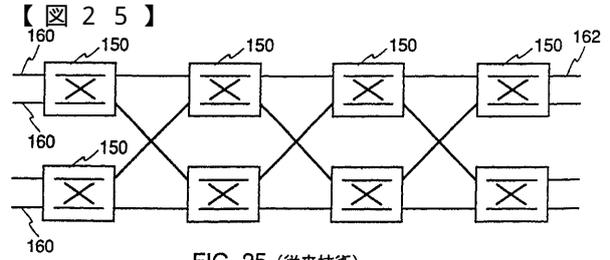


FIG. 25 (従来技術)

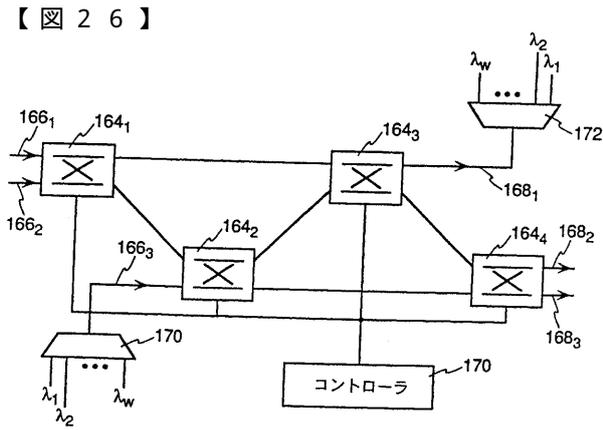


FIG. 26

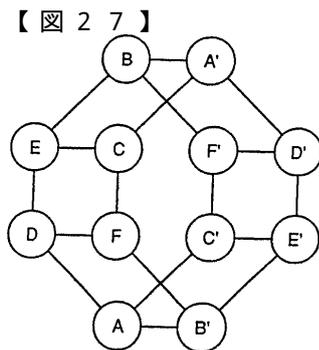


FIG. 27

## フロントページの続き

- (72)発明者 エリナス, ゲオルギオス, エヌ.  
アメリカ合衆国 10027 ニューヨーク州 ニューヨーク ダブリュ.119ティーエイチ  
ストリート 420 アpartment 42
- (72)発明者 ガメリン, ジョン, ケー.  
アメリカ合衆国 07701 ニュージャージー州 レッドバンク ハーバー グリーン サーク  
ル 98
- (72)発明者 イクバル, ムハマド, ゼット.  
バングラデシュ シルヘット 1イー.ティーチャーズ クォーター シャージャラル ユニバー  
シティ オブ サイエンス アンド テクノロジー
- (72)発明者 カンドカー, マヌム, アール.  
バングラデシュ 6100 ラージシャーヒ セロイル コロニー(ニア エルエスディー ゴー  
ダウン)(番地なし)

審査官 石井 研一

- (56)参考文献 特表平06-506090(JP, A)  
特開平05-167593(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H04L 12/437  
H04J 3/00  
H04J 3/08