

研究種目：基盤研究（C）	
研究期間：2007～2008	
課題番号：19560366	
研究課題名（和文）	同一波長を用いた双方向波長多重伝送方式の提案と性能解析に関する研究
研究課題名（英文）	Study on bidirectional WDM networks using identical sets of wavelengths in both directions on a single fiber
研究代表者	
小原 仁 (OBARA HITOSHI)	
秋田大学・工学資源学部・教授	
研究者番号：50344768	

研究成果の概要：

筆者らは、将来のブロードバンドサービスの本格導入を支えるネットワークインフラとして、波長多重（Wavelength-division multiplexing, WDM）と複数ファイバによる空間多重を組み合わせたマルチファイバ型 WDM 方式を世界に先がけて独自に提案している。この方式はノード構成が簡易で、光パスの設定が容易である。しかし、同一ファイバ内で波長を再利用しないため、帯域の使用効率が小さいという問題があった。本研究では双方向伝送技術を適用することによりその問題を解決できることを明らかにした。また、光パスの設定が容易である特徴を活かして、トラヒック変動に対応して光パスをダイナミックに設定する制御方式を提案した。さらに、ノードに用いられる光スイッチの構成原理に関して、新たな構成法を提案した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：情報ネットワーク

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信ネットワーク工学（5104）

キーワード：光ネットワーク，光ファイバー，波長多重，双方向伝送，光パス，MAN

1. 研究開始当初の背景

WDM方式は1990年代にポイント・ポイント間の長距離光ファイバ伝送システムの容量増大の手段として実用化された。その後、大都市内をカバーするMANの大容量化のニーズに応えるためにWDMリング網が導入された。しかし、当初のリング網はノードごとに光・電気変換を繰り返す構成であり、ノードの回路規模が増大する問題があった。

2000年代に入ると、光アド・ドロップ装置（OADM）を用いたWDMリング網が導入され始めた。ノードにおいて光信号をトランスペアレントに通過させるため、ノード構成が簡易化できる。ただし、初期の光ADMは送受信波長が固定されていた。近年、波長割り当てが再構築可能（Reconfigurable）な光アド・ドロップ装置（ROADM）が開発された。OADMやROADMでは波長

の再利用が可能であり、波長の利用効率が高くなるメリットがある。しかし、その一方で、波長パスのスイッチングを行うノードの構成が複雑になる欠点があった。また、トラヒックが増大すると複数の光ファイバが必要になり、OADMのシステム数も増えるためノード規模が大きくなる問題があった。

この問題に対して、筆者らは1998年に波長の再利用を行わず、その結果としてOADM装置を必要としないマルチファイバ型WDM網の構成原理を国際会議（ICC）で発表した。その後、双方向伝送技術を適用することにより、従来と同様に波長効率を改善できることを2006年に国際的な論文誌（IEEE Journal of Lightwave Technology）に発表した。この提案は近似的な理論解析を基に特性評価が行われており、その実現性については不明であった。

また、波長の再利用のみに重点が置かれており、システムの機能や運用性などの面は未解明であった。例えば、従来のROADM方式における光パスは半固定的に設定されており、比較的長い期間（数ヶ月以上）で再構築される。しかし、トラヒックは1日の範囲でも日中と深夜では大きく変化している。従来、このようなトラヒック変動に対応するため、GMPLS技術などが提案されている。しかし、このためにはオーバーレイ型の複雑な制御網が必要になる問題があった。

2. 研究の目的

マルチファイバ型WDM方式は、波長の再利用がノードの複雑性に影響を及ぼさない点で、従来のWDM網の設計パラダイムとは根本的に異なる革新的な方式である。特に、OADMやROADMを用いることなく再構築可能なリング網を構成できる点は、他に例を見ない独創性を有している。よって、この方式の可能性を徹底的に追求することは、その提案者である我々の責務と考える。

以上の背景より、本研究では以下の項目について明らかにすることを目的とした。

(1) 同一波長を用いる双方向WDMの実験

前述のように、同一波長を用いる双方向WDMの性能は近似的な理論で検討されている段階であるため、実験によってその特性を明らかにする必要がある。その第一ステップとして、最も単純な1波長・1リンクの実験系を構築し、その特性を実験的に評価する。

(2) トラヒック変動への対応

マルチファイバ型WDM方式は、1本のファイバに注目すればバス状のネットワークを構成する。トラヒック変動に対応するためには、ダイナミックなアクセス制御方式を適用すればよい。従来、WDMリング網にトー

クンパッシング方式を適用する研究はあるが、WDMバス網を対象とした研究は見当たらない。とこのため、バス網におけるWDMマルチアクセス方式を検討する。

(3) WDMコンソリデーションリング網

我々が提案した元々のマルチファイバ型WDM方式はノード内でスイッチングを行わないことで、ノードの簡易化を目指していた。しかし、通信機能を実現するためにはネットワークのどこかにスイッチング機能が必要となる。このため、個々のノードではスイッチングを行わず、リング網の代表ノードに全てのトラヒックをWDM伝送し、そこで宛先ごとにトラヒックの振り分けを行うWDMコンソリデーションリング網を新たに提案する。その実現性を左右するのは、トラヒックが集中する代表ノードに設置される大規模な光スイッチ網である。従来、主にクロスバー型の光スイッチが用いられてきたが、スイッチサイズを大きくすることが困難であった。そこで、同じスイッチサイズにおいて、クロスバー型より回路規模の小さいスイッチ回路の構成原理を検討する。

3. 研究の方法

(1) 同一波長を用いる双方向WDMの実験

シングルモードファイバ伝送路を模擬した実験系を構築し、同一波長を双方向に伝送した場合のレーリー反射に起因するクロストークの影響を実験的に評価した。本実験はNTT研究所との共同研究により実施した。その実験系の概要を図1に示す。また、その実験結果の一例を図2に示す。

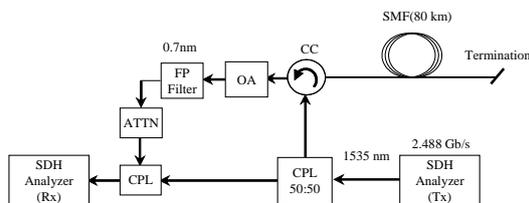


図1 実験系の構成

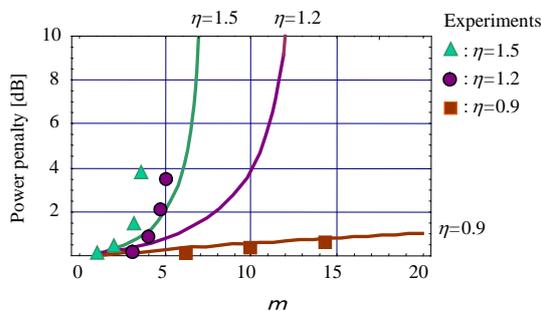


図2 実験結果の一例

これより、レーリ反射を抑圧する光フィルタを適用することで、その影響を抑圧できることを実証した。また、この光フィルタは分散配置されるため、個々の光フィルタに要求される遮断特性は緩やかでよく、経済的に実現可能であることを実験的に明らかにした。

(2) トラヒック変動への対応

WDMバスに適用可能なマルチアクセス制御方式として、既知のDQDB方式(Distributed Queue on Dual Bus)をベースとし、複数波長に対するアクセス制御を小規模な制御回路で効率よく実現可能な方式を提案した(図3)。また、提案方式をネットワークシミュレータ上でモデル化し、その性能を詳細に評価・分析した。その一例を図4に示す。これより提案方式は従来方式に対して遅延特性を大幅に改善できることをシミュレーションにより明らかにした。

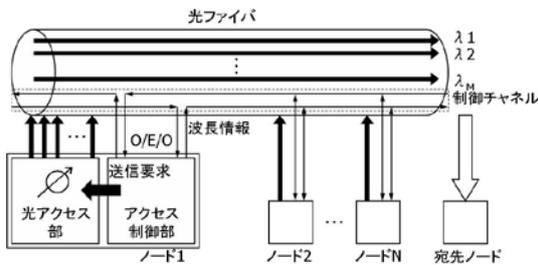


図3 提案するWDMバス方式

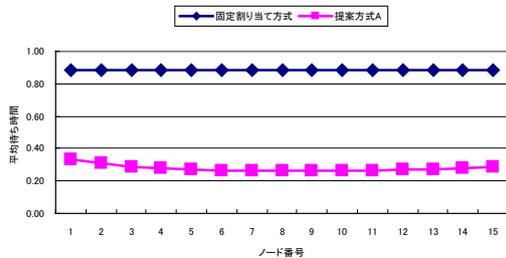


図4 WDMバス方式の性能比較

(3) 大規模WDMスイッチ構成法

従来のクロスバースイッチをベースとし、それを構成する 2×2 スイッチの一部を削除することでスイッチ規模を小さくする方式(縮退型クロスバースイッチ)を新たに提案した。第一の構成は広義ノンブロック性を保持したままスイッチ規模を削減できるトーラス埋め込み型クロスバースイッチである。そのスイッチ規模は、スイッチサイズを N として $N(N-1)$ で与えられる(図5)。第二の構成は、さらにスイッチ規模を削減できるが、再配置ノンブロックとなるThree-Quarter型クロスバースイッチである

(図6)。そのスイッチ規模は $3N(N-1)/4$ で与えられる。なお、既知の三角スイッチはクロスバースイッチの一部をThree-Quarter型クロスバースイッチで順次置き換えることによって導出できることを明らかにするとともに、スイッチ規模と再配置数の間には性能のトレードオフ関係があることを発見した(図7)。

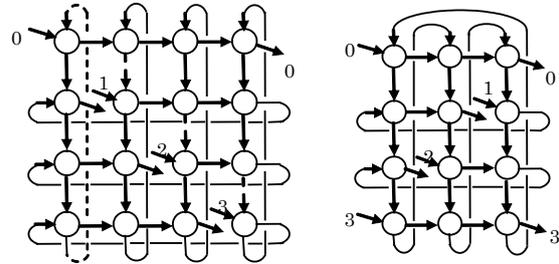


図5 トーラス埋め込み型クロスバースイッチ

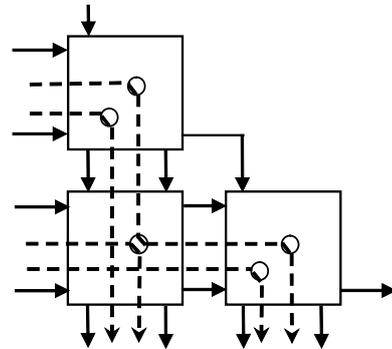


図6 Three-Quarter型クロスバースイッチ

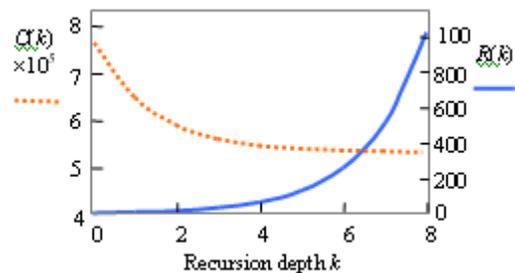


図7 Three-Quarter型クロスバースイッチのスイッチ規模 $C(k)$ と再配置数 $R(k)$ の関係

4. 研究成果

以上で述べた結果をまとめると以下の通りである。

(1) 同一波長を用いる双方向WDMの実験
従来、同一波長を用いた双方向波長多重は実現不可能と信じられてきた。本研究はその常識を覆し、適切は光フィルタを用いることで実現可能であることを世界で初めて示した。

(2) トラヒック変動への対応

WDMバスを対象に、DQDBアクセス制御をベースとする複数波長の動的な割り当て制御方式を提案した。その制御回路は簡易な構成で実現できることと、トラヒック変動に対して、安定した遅延特性を示すことをシミュレーションレベルで明らかにした。

(3) 大規模WDMスイッチ構成法

従来のクロスバースイッチに代わる、スイッチ規模の小さい縮退型クロスバースイッチの構成原理を提案した。その第一は広義ノンブロックなトラス埋め込み型クロスバースイッチであり、第二はThree-Quarter型クロスバースイッチである。これらのスイッチにおいて、スイッチ規模と再配置数の性能にはトレードオフ関係があることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- [1] H. Obara, "Reduced crossbar switch with minimum number of switching cells," Electron. Lett., vol. 44, no. 14, pp. 888-889, 2008 (査読有)
- [2] H. Obara, M. Sakata, Y. Nemoto, "Bridging crossbar and triangular switches," Proceedings of the International Workshop on High Performance and Highly Survivable Routers and Networks, pp. 31-36, 2008 (査読有)
- [3] H. Obara, M. Sakata, "Bidirectional WDM Transmission systems to enable Using two identical sets of wavelengths for both directions over a single fiber," IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 25, no. 1, pp. 297-304, 2007 (査読有)
- [4] H. Obara, M. Sakata, "Experimental analysis of bidirectional WDM networks using two identical sets of wavelengths on a single fiber," Proceedings of Opto-Electronics and Communi. Conference, pp. 456-457, 2007 (査読有)
- [5] H. Obara, S. Orita, M. Sakata, "Benefits of static WDM sdd/drop multiplexers in optical burst switching networks of ring configuration," IEICE Electronics Express, vol. 4, no. 11, pp. 357-362, 2007 (査読有)
- [6] H. Obara, "Bidirectional WDM transmission technique utilizing two identical sets of wavelengths over a single fiber," Electron. Lett., vol. 42, no. 9, pp. 547-548, 2007 (査読有)
- [7] 小原仁, 坂田真人
"格子型スイッチ網の構成原理に関する一考察", 秋田大学工学資源学部研究報告, vol. 28, pp. 49-56, 2007 (査読無)

[学会発表] (計6件)

- [1] 甲斐雄一郎, 加藤陽介, 小原仁
"トラス埋め込み型クロスバースイッチの提案" 平成20年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008年8月21日, 郡山市
- [2] 長谷川和音, 加藤陽介, 小原仁
"パケットトレインペアを用いた可用帯域のアクティブ測定法" 平成20年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008年8月21日, 郡山市
- [3] 苗宇シン, 加藤陽介, 小原仁
"マルチファイバ型波長多重ネットワークにおける四光波混合雑音の最小化" 平成20年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008年8月21日, 郡山市
- [4] 小原仁, 泉谷隆彰, 坂田真人
"マルチファイバ型WDM網における動的な波長割り当て方式" 平成19年度電気関係学会東北支部連合大会, 2007年8月23日, 弘前市
- [5] 池田剛, 小原仁, 坂田真人
"閾値を用いたOBSネットワークの性能比較", 平成19年度電気関係学会東北支部連合大会, 2007年8月23日, 弘前市
- [6] 小原仁
"ポート番号順序に依存しない三角スイッチ網のルーチング制御法の提案", 平成19年度電気関係学会東北支部連合大会, 2007年8月23日, 弘前市

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

[1] 国際特許出願

名称: 多段スイッチの制御回路 (国際特許)

出願番号 PCT/JP2007/074573

発明者: 小原仁, 坂田真人

出願人: 秋田大学

出願日: 2007年12月20日

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小原 仁 (OBARA HITOSHI)

秋田大学・工学資源学部・教授

研究者番号: 50344768

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし