

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007 ~ 2010

課題番号：19360172

研究課題名(和文) スペクトル-時間変調を用いた全光学的ラベル認識に関する研究

研究課題名(英文)

Optical Label Recognition using Spectrum Spread-Time Hopping Codes.

研究代表者

大柴 小枝子 (OSHIBA SAEKO)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・教授

研究者番号：90372599

研究成果の概要(和文)：

FBG (Fiber Bragg Grating) ベースの符号/復号素子を用いた「スペクトル時間変調方式」による光符号ラベルを提案し、自己相関と相互相関の信号強度差によって光学的にラベルの認識を行った。5つの波長帯を組み合わせた場合の、光ラベル認識のシミュレーションモデルを構築し、14400パターン以上が実現可能な符号数であることを明らかにした。また、スペクトル-時間変調による光ラベル方式で光ラベル認識を行い、光パケットスイッチの切り替え制御実験を行った。生成/認識した光ラベルを光パケットスイッチに応用するために、スイッチ制御信号の生成について検討し、光信号である相関波形を O/E 変換した後、雑音低減回路によってノイズ軽減およびパルス幅拡大を行った。さらに、ペイロードとして波長帯域 1548~1553nm の 80G (10G×8Ch) bit/s の波長多重を用いた光パケットに本方式のラベルを付与し、パケットスイッチング実験を行った。その際に、FBG 認識素子の性質を利用してラベルの認識部と分離部を一体化する構成を実現した。光スイッチ前後での BER (Bit Error Rate) 特性を測定した結果、8チャンネルすべてにおいて 10⁻⁹ 以下の誤り率が得られ、パワーペナルティが 1dB 以下であることを確認した。さらに、パケットとラベルの間のガードタイムの長さを変えて BER 評価を行い、ガードタイムを 8bit (約 0.8ns) まで短縮可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：

We demonstrated the optical packet switching using FBG based optical code label processor. Packet loss at optical label recognition was reduced by reshaping and binarizing the correlation outputs with the Noise Reduction Circuits. And, the optical packet switching of 10 Gbit/s×8 wavelengths packets with wavelength bands of 1548 to 1553nm was demonstrated with label separation/recognition at the same time by the FBG decoder. Then we demonstrated the Bit Error Rate (BER) of received payloads at the all 8 channels, and discussed about shortening of interval time between packet and packet.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2008年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：光通信工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 通信・ネットワーク工学

キーワード：光スイッチ、フォトニックネットワーク、情報通信工学、光パケットスイッチ

1. 研究開始当初の背景

インターネットトラフィックの急増に伴い、高速かつ大容量の IP バックボーンネットワークが求められている。そのために、光通信技術、光デバイスの研究が進められ、光通信ネットワークでは、波長分割多重技術 (WDM) を用いることにより、Tb/s 級の高スループットを実現できる。しかしながら、IP ルータなどのネットワークノードにおける電気処理の速度は、光処理と比較して遅いため、電気処理がネットワークの処理速度のボトルネックとなってしまう。そこで、電気処理を削減し、全光処理で行うフォトニックネットワークの研究が進められている。フォトニックネットワークでの伝送方式として、通信要求が発生するたびにネットワークの入り口のノードとネットワークの出口のノード間で光パスを設定し、光の領域において波長ルーチングを行う方式 (波長ルーチングネットワーク) が提案されている。波長ルーチングネットワークでは、物理的な経路の選択とデータを転送する波長の選択という 2 段階で波長パスが設定される。波長変換器が存在しない場合、送信ノードから受信ノードまでの全リンクにおいて同一の波長が使用可能でなければならないため (波長連続性制約)、波長の利用効率が低下し、また、ブロック率が高くなるという問題がある。しかしながら、波長変換器は非常に高価で複雑なデバイスであるため、全ノードに実装するのは現実的でない。さらに、波長多重ネットワークのノードにおいては、波長単位で挿入・引き落とし・経路切り替え (スイッチング) を行うことから、同一波長のパケットの中から特定のパケットのみを選択的に挿入・引き落とし・経路切り替え (スイッチング) することは不可能である。そのため、トラフィックが十分にない場合にも、ノードへアクセスする手段として、一波長を占有して光パスを設定する以外に方法はなく、これによりネットワークの帯域利用効率が低下する。これらのことから、波長ルーチングネットワークは、連続的に流れるストリームデータ以外のバースト性を有するパケットに対しては、不向きであるという問題を有していた。

そこで、全光処理によるパケットスイッチングを実現し、さらに、GMPLS を光パケットルーチングにまで適用していくことが将来のインターネットバックボーンネットワーク技術には必要である。本研究代表者は、これまで光ファイバブラッググレーティング (FBG) を用いた、低損失で、低コスト、信号レートに依存しない光符号拡散方式に関して研究し報告してきた。さらに、光符号

を光ラベルとし、全光処理によるパケットスイッチングを行うことも検討してきた。しかし、光符号を光コードとして使った場合には、直交符号条件により符号数が制限され、多くのコードが取れず、光ラベルとしてノードごとに付与するには小規模なネットワークしか適用できないという問題があった。また、拡散帯域を広げると、光ラベル部分の信号が占める帯域が拡大し、帯域利用効率が劣化し、高速 WDM ネットワークとの融合性が悪いことも問題であった。

そこで、提案するのがスペクトル - 時間変調による光ラベル方式である。本方式によれば、スペクトル領域と時間領域の両方で信号変調を行った光ラベルを付与することで、帯域の拡大なしに、より多くのコードパターンの生成が可能である。

2. 研究の目的

本研究では、スペクトル - 時間変調により光ラベルを構成し、各パケットに付与し、それを光処理によって認識することで、高速のバーストデータを遅延なく認識し、パケット単位での挿入・引き落とし・経路切り替え (スイッチング) を可能とする全光認識の光パケットスイッチ方式を実現するための研究を行う。具体的には、モードロックレーザによって発生した高速の光パルスを用いて、複数のサブ FBG (ファイバブラッググレーティング) などから構成される光スペクトル - 時間変調器を用いて、信号パルスのスペクトルを構成する各縦モードをスペクトル分割し、位相変調および時間遅延を加える方式を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) スペクトル - 時間変調による光ラベル方式で実現可能なコード数を明らかにする。

本方式では、位相変調および時間遅延の組み合わせによって、ラベルのコードが構成される。そこで、光ラベル認識のシミュレーションモデルを構築し、本方式で実現可能なコード数を明らかにする。また、実際に、複数のサブ FBG (ファイバブラッググレーティング) などから構成される光スペクトル - 時間変調器を作成し、モードロックレーザのスペクトル分割、位相変調および時間遅延を加えた場合の光ラベル認識の実験確認を行う。

(2) 本方式で光ラベル認識を行い、生成した光相関信号を用いて光パケットスイッチの切り替え制御信号の生成を行う。

ラベル認識信号を閾値処理および雑音除去する回路を試作し、スイッチングの高速

化・低パケットロスを行うための課題を確認する。また、光ラベルスイッチにおいて分離と認識を同時に行う光ラベルプロセッサのアーキテクチャーについて検討を行う。

(3) 光ラベル変換ネットワークによる帯域利用効率の検討を行う。

ネットワークモデルを構築し、波長変換がなくても光ラベル変換を行うことで、低いブロック率と高スループットを実現できることをシミュレーションにより確認する。特に、本ネットワークは、トラフィックの使用率が高い場合にもパケットごとの制御によって帯域利用効率を上げることが目的であり、そのために、遅延時間を最小とする光処理ノードの構成について検討を行う。さらにパケットのガードタイムの縮小とパケットスイッチングのロスについても検討を行う。

4. 研究成果

(1) スペクトル-時間変調による光ラベル方式で実現可能なコード数を明らかにした。5つの波長帯を組み合わせた場合の、光ラベル認識のシミュレーションモデルを構築し、14400パターンが実現可能なであることを明らかにした。

実際に、5つのサブFBG(ファイバブラッググレーティング)などから構成される光スペクトル-時間変調器を作成し、5つの波長帯域に対して異なる遅延時間を施すことで符号/復号化を行った。また、4種類の異なる遅延時間パターンを持つFBG符号/復号器を用いて光ラベルの生成/認識実験を行い、自己相関と相互相関のピーク比に関して検討を行った。

また、FBG位相符号方式を用いた光符号方式についても検討した。

(2) スペクトル-時間変調による光ラベル方式で光ラベル認識を行い、光パケットスイッチの切り替え制御実験を行った。生成/認識した光ラベルを光パケットスイッチに応用するために、スイッチ制御信号の生成について検討した。光信号である相関波形を0/E変換した後、雑音低減回路によってノイズ軽減およびパルス幅拡大を行い、スイッチをON/OFFする0/1信号を生成した。さらに、光符号のコードパターン、自己相関と相互相関のピーク比、あるいは相関波形の時間タイミングなどの条件を変化させたとき、ラベル認識信号を閾値処理する回路を試作しON-OFF制御においてエラーフリーでの制御を実現し、パケットロスがないことを確認した。

(3) 波長多重パケットを構成し、それに本光ラベルを付与してのパケット切り替え実験を行った。ペイロードとしては、波長帯域1548~1553nmの80G(10G×8Ch)bit/sの波長多重を用いた光パケットに本方式のラベ

ルを付与し、パケットスイッチング実験を行った。その際に、FBG認識素子の性質を利用してラベルの認識部と分離部を一体化する構成を実現した。光スイッチ前後でのBER

(Bit Error Rate)特性を測定した結果、8チャンネルすべてにおいて 10^{-9} 以下の誤り率が得られ、パワーペナルティが1dB以下であることを確認した。さらに、パケットとラベルの間のガードタイムの長さを変えてBER評価を行い、ガードタイムを8bit(約0.8ns)まで短縮可能で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 S. Oshiba, R. Takayama and H. Bessho, Demonstration of optical packet switching using FBG based optical code label processor, Proceedings of Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) and the National Fiber Optic Engineers Conference (NFOEC), CD-ROM, 3 ページ, 2011, 査読有
- ② 高山良太、別所秀起、片岡伸元、和田尚也、大柴小枝子, FBG 光ラベル認識素子を用いた光パケットスイッチング実験, 電子情報通信学会技術報告, vol. 5, PP.5-8, 2011, 査読無
- ③ Masaki Kishi, Renichi Moritomo, Saeko Oshiba, Masahiro Akiyama, Noise Reduction of OCDM Signals by Electrical Time Gating, Proceedings of Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) and the National Fiber Optic Engineers Conference (NFOEC), CD-ROM, 3 ページ, 2010, 査読有
- ④ S. Oshiba, Y. Kotani, Y. Tsubouchi, R. Moritomo, M. Akiyama, Improvement of multiplicity in flexible signal bit rate OCDM system using noise reduction circuits, Proceedings of Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) and the National Fiber Optic Engineers Conference (NFOEC), CD-ROM, 3 ページ, 2009, 査読有
- ⑤ 別所秀起、高山良太、大柴小枝子、秋山正博、光ラベル認識によるパケットスイッチ制御信号生成と誤り率特性改善に関する検討、電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108, No.417, pp.125-130、2009年、査読無

⑥ 別所 秀起, 大柴 小枝子、スペクトル時間変調方式を用いた信号処理モデルに関する検討、電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, No.444, pp.47-51、2008年、査読無

⑦ Y. Tsubouchi, R. Moritomo, M. Akiyama, and S. Oshiba, A peak-voltage-control circuits and its application to noise reduction from high speed RZ signals, Proceedings of 2007 Korea-Japan Micro Wave Conference, pp.153-156, 2007, 査読有

〔学会発表〕(計5件)

① 高山良太、大柴小枝子、片岡伸元、和田尚也、FBG 光ラベル生成/認識素子を用いた WDM 光パケットの切替スイッチング実験、電子情報通信学会、2009年9月16日、新潟大学

② 川北優介・守友連一・大柴小枝子、SC 光のスペクトルスライスによる WDM パケット用短パルス発生実験、電子情報通信学会、2009年9月17日、新潟大学

③ 岸 正樹・守友連一・大柴小枝子・秋山正博、電気領域時間ゲートによる多重化 OCDM 信号の雑音低減、電子情報通信学会、2009年9月18日、新潟大学

④ 坪内雄大・守友連一・大柴小枝子・秋山正博、ピーク電圧制御回路と閾値アンプを用いた高速 RZ 信号からの雑音低減法の検討、電子情報通信学会、2009年3月21日、北九州市立大学

⑤ 高山良太・別所秀起・大柴小枝子・秋山正博、光ラベル認識によるパケットスイッチ制御信号の生成、電子情報通信学会、2008年9月17日、明治大学

〔産業財産権〕

○出願状況(計2件)

名称：光符号ラベルスイッチ方法および光符号ラベルスイッチ装置

発明者：岩村英志、鹿嶋正幸、大柴小枝子

権利者：京都工芸繊維大学

種類：特許

番号：特願 2009-162915

出願年月日：2009年7月9日

国内外の別：国内

名称：時間分割波長ホップ光符号方式による通信方法および通信システム

発明者：岩村英志、鹿嶋正幸、大柴小枝子

権利者：京都工芸繊維大学

種類：特許

番号：特願 2009-156640

出願年月日：2009年7月1日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

大柴 小枝子 (OSHIBA SAEKO)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・教授

研究者番号：90372599

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：