

研究種目：特定領域研究
研究期間：2005～2008
課題番号：17068007
研究課題名（和文） 全光ラベル処理および光バッファリングを用いたパケットルーティング
研究課題名（英文） Packet Routing with All-Optical Label Processing and Optical Buffering
研究代表者
小林 功郎 (KOBAYASHI KOHROH)
東京工業大学・精密工学研究所・教授
研究者番号：80345363

研究成果の概要：

近年のインターネットの急激な成長に伴うデータの急増に対応し、電子回路の処理負荷と消費電力増大を解決する光パケットルーティング技術の実現を目標として、超高速動作が可能な全光信号処理によるラベル処理技術と光バッファリング回路の制御手法・光スイッチ技術の確立、それらを導入した全光パケットスイッチの創成を目指した。

光パケットのラベル情報の全光処理手法（先頭ビット検出、ラベル・ペイロード分離、シリアル・パラレル変換によるラベル各ビットの分離、ラベル識別、経路制御部）に関しては、40Gbpsでの低偏波依存性の全光動作が可能なSOA-MZI型スイッチを基本構成として、各機能ブロックの構成検討を行い、動作可能性を実証した。また経路制御部に必要なパルス幅変換機能（全光フリップ・フロップ）について、SOA-MZI型全光スイッチの出力をSOAの制御光としてフィードバックするフリップ・フロップ構成の動作を実証し、動作安定性の原理、動作速度を決定するフィードバックループ長の短尺化のための構成部品の削減と半導体集積素子の試作を行った。

光バッファに関しては、電子回路によるスケジューラの処理遅延のためのアルゴリズム実装、高速動作可能なSSG-DBR-LDのns波長切替時のチャープ特性、SOA1個で構成可能なDISC型波長変換器のパルス駆動による動作、AWGRの組合せによる波長スイッチのSSG-DBR-LDチャープの影響と、遅延干渉計の位相オフセット・BPF離調による波形整形・伝送特性改善効果を実証し、アドレス認識およびスケジューリングとの連動による遅延動作を実現した。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-------------|------|-------------|
| 2005年度 | 30,000,000 | 0 | 30,000,000 |
| 2006年度 | 36,400,000 | 0 | 36,400,000 |
| 2007年度 | 30,000,000 | 0 | 30,000,000 |
| 2008年度 | 24,500,000 | 0 | 24,500,000 |
| 年度 | | | |
| 総計 | 120,900,000 | 0 | 120,900,000 |

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 電子デバイス・電子機器

キーワード：光信号処理、光パケットスイッチ、全光スイッチ、光バッファ

1. 研究開始当初の背景

研究を開始した平成17年当初は、インターネットの急激な成長によりデータトラフ

イックが年率 1.4 倍程度で増加し、日本全体のインターネットデータ量が 300Gbps を超えていたため、5 年で 1Tbps を超えることが予想された。また高速処理を実現する電子回路の微細化には、リーク電流の増加による消費電力増大の課題が顕在化していた。そのため、高速・大容量のデータを低遅延で処理するために、従来の電子回路での解決がいずれ困難になり、光信号を高速な光回路で処理する光パケットスイッチの実現が急務とされていた。

2. 研究の目的

近年のインターネットの急激な成長に伴うデータの急増に対応し、電子回路の処理負荷と消費電力増大を解決する光パケットルーティング技術の実現を目標として、超高速動作が可能な全光信号処理によるラベル処理技術と光バッファリング回路の制御手法・光スイッチ技術の確立、それらを導入した全光パケットスイッチの創成を目指した。

3. 研究の方法

以下に示す手法にて目的実現を目指した。

(1) 先頭ビット検出

SOA-MZI と 1 ビット遅延信号による自己スイッチング法を用いて、入力光パケットの先頭ビットのみを打ち抜く。

(2) ラベル・ペイロード分離

(1)と手法は同一であるが、遅延時間をラベル長とした自己スイッチング法を用い、SOA-MZI によって実現する。別の手法として、SOA-MZI の制御光信号として、ラベルビット数分の制御光とキャンセル用の 1 ビット制御光を用いる非対称制御光方式と、SOA-MZI をラベルビット数分用い、SOA-MZI のプッシュプル動作により、1 ビットずつラベルを打ち抜く方式についても検討した。

(3) シリアル・パラレル変換

(1)で検出された先頭ビットを用い、ラベル信号の N ビット目に同期して SOA-MZI を動かし、目的のビットのみを分離する。

(4) ラベル識別

(1)で検出された先頭ビットをラベル識別用の識別信号とし、樹(ツリー)状に多段接続された SOA-MZI の各段に(3)のシリアル・パラレル変換で分離された各ビットを制御信号として入力すると、ラベルのパターンに対応した特定出力のみに識別信号が出力され、識別可能となる。

(5)経路制御部

(4)で転送された識別信号をパケット長に変換する全光動作のフリップ・フロップを、SOA-MZI の出力を制御ポートにフィードバ

ックする構成で実現を目指した。

(6)光バッファ

パケット長以上の遅延が必要であることから遅延部には光ファイバ遅延線を、パケット競合率の低減が期待されることから波長変換スイッチを用いた光バッファ回路の構成・スケジューリングアルゴリズム・波長変換型スイッチの動作特性評価を行った。

4. 研究成果

研究内容の各項目に関して、以下の成果を得た。

(1)先頭ビット検出

2 段 SOA-MZI の 1 段目を SOA 利得の過渡応答を利用して 1 ビット目の強度を強調する用途に用いる構成の効果と、自己スイッチング法に適する SOA のキャリア回復時間の電流条件を明らかにした。その上で、2 段目 SOA-MZI で自己スイッチング法を用いた先頭ビット検出を行う構成により、40Gbps での動作を実現した。

(2)ラベル・ペイロード分離

1 段 SOA-MZI を用い、40Gbps 信号に対して 1 ビット時間内での高速なラベル・ペイロード分離動作を実現した。また、4 ビットと 1 ビットの制御光を SOA-MZI の別々の制御ポートに入力することにより、40Gbps の入力パルス列から 4 ビットのラベル分離を実現した。

(3)シリアル・パラレル変換

SOA-MZI の 2 出力に 2 ビットラベルの 1 ビット目・2 ビット目をスイッチする動作を利用し、2 ビットラベルに対するシリアル・パラレル動作を 40Gbps の信号に対して示した。

(4)ラベル識別

2 段 SOA-MZI 構成による 2 ビットラベルの識別動作を、10Gbps 信号を用いて実証した。また、1 回目にラベル識別されたプローブパルスを、波長変換して元の樹状全光スイッチ網に戻すことにより、全光スイッチ等の光部品の削減が可能なループバック法を案出し、2 ビットラベルについてその可能性を実証した。

(5)経路制御部

SOA-MZI の出力を制御ポートにフィードバックする構成により、ループバック長 6m に相当する動作速度 30ns の入力パルスに対してフリップ・フロップ動作と保持時間の可変動作を実現した。

この光フリップ・フロップ出力を SOA-MZI 波長変換器に接続し、アドレステーブルからの信号を経路に対応した波長と見なした想定で、パケットのスイッチ動作を実証した。

SOA-MZI 全光スイッチを 4 個用いて、①の

先頭ビット検出、②のラベル・ペイロード分離、および④のラベル識別の各動作ブロックを接続し、最小の1ビットラベルではあるが、40Gbpsでの連係動作を実現した。

(6) 光バッファ

光バッファの処理情報としてアドレス・パケット長を用いるアルゴリズムをスケジューラに実装し、所望のアドレス識別・スケジューリング動作ができる結果を得た。

波長スイッチに用いる高速波長可変レーザとしてSSG-DBR-LDを対象とし、その波長切替動作時のチャープ特性について評価し、チャープを低減するために全入力電力の変化の少ない電流駆動が有効であることを示した。

また波長変換器としてSOA1個と遅延干渉計(MZDI)から構成できるDISC型波長変換器を用い、低消費電力化を目的としたSOA電流のパルス駆動によるエラーフリー動作、MZDI位相オフセットと後段に接続する波長フィルタの離調による波形品質改善結果を示した。

最後にスケジューラ・SSG-DBR-LD・DISC型波長変換器・波長フィルタを連動させ、2波長スイッチ時の動的波長スイッチ動作のエラーフリー特性と、25km SMF伝送特性、2入力光パケットの衝突回避動作を実現した。

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 6 件) (すべて査読付)

① 高梨雄介, 来見田淳也, 植之原裕行, 小林功郎 “半導体光増幅器の相互位相変調特性を用いたタイミング制御型光信号再生器に関する研究”, 電子情報通信学会誌和文論文誌C, vol.J92-C, No.6, pp.191-203 (2009).

② J. Kurumida, H. Uenohara, and K. Kobayashi, “A New Loopback Method of All-optical Label Processing for Label Bit Scalability”, IEEE Photon. Technol. Lett., , vol.20, No.9, pp.745-747 (2008).

③ 来見田 淳也, 植之原 裕行, 小林 功郎, “SOA-MZI 自己スイッチングを用いた光パケット信号の全光先頭ビット抽出およびラベル分離” 電子情報通信学会誌和文論文誌C, vol.J90-C, No.7, pp.528-535 (July, 2007).

④S. Shimizu, K. Kobayashi, and H. Uenohara, "Start-bit detection and gate-pulse generation using phase-modulated preamble for asynchronous packet processing", IEEE Photon.

Technol. Lett., Vol.19, No.4 pp.236-238 (2007).

⑤J. Kurumida, H. Uenohara, and K. Kobayashi, “All-optical label recognition for time-domain signal using multistage switching scheme based on SOA-MZIs,” Electronics Letters, Vol.42, Issue 23, pp.1362-1363, 2006.

⑥H. Uenohara, S. Shimizu, and K. Kobayashi, "Demonstration of an Optical Label Switch using an Optical Digital-to-Analog Conversion-Type Label Processor with a Self-Gate-Pulse Generator and a Power Equalizer", IEEE Photon. Technol. Lett., vol.18, No.3 pp.236-238 (2006).

[学会発表] (計 3 3 件)

(1) 国際学会 (1 4 件)

①T. Mori, H. Uenohara, and K. Kobayashi, “Behavior of carrier plasma effect and thermal drift of a SSG-DBR-LD in wavelength switching”, Conference on Optical Internet 2008 (COIN2008), C-16-AM2-2-1), Akihabara, Oct.16 (2008).

②Y. Takanashi, J. Kurumida, H. Uenohara, and K. Kobayashi, “A Study on the Timing Adjustable Optical Regenerator using Cross Phase Modulation based on Semiconductor Optical Amplifiers”, Photonics in Switching 2007, San Francisco, WB4.4 (Aug.22, 2007).

③J. Kurumida, T. Morita, Y. Tatara, H. Uenohara, and K. Kobayashi, “Fast All-Optical Switching for Label-Payload Separation with a 1x2 SOA-MZI Switch by Asymmetric Control Light”, Photonics in Switching 2007, San Francisco, WB1.2 (Aug.22, 2007).

④*K. Kobayashi, “Photonic device breakthrough for new generation optical communications”, 12th Optoelectronics and Communications Conference/16th International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication (OECC/IOOC2007)(Invited), Yokohama, 10E1-1 (Jul.10, 2007).

⑤ *K. Kobayashi, “Innovation for New-Generation Optical Communication Based on Photonic Device Breakthrough, “ 13th European Conf. on Integrated Optics (ECIO2007)(Invited), Copenhagen, ThB0 (April 26, 2007).

⑥ *H. Uenohara, “Optical label processing scheme using optical digital-to-analog converters and self-gate pulse generator with phase modulated preamble”, Joint workshop on OPS

and OCDMA, Beijing, Invited, China (Dec.5, 2006).

⑦S. Shimizu, H. Uenohara, and K. Kobayashi, "A novel scheme of start bit detection and single pulse generation for high-speed optical signal processing", 32th European Conference on Optical Communication (ECOC2006), Cannes, France, Th2.4.2 (Sep. 28, 2006).

⑧J. Kurumida, H. Uenohara, and K. Kobayashi, "All-optical Label and Payload Separation using a Self-switching Technique of a SOA-MZI," the 32nd European Conference on Optical Communication (ECOC2006), Cannes, France, We2.4.6 (Sept. 27, 2006).

⑨*K. Kobayashi, "R&D on Next-Generation Optical Communications and Broadband Access in Japan," the 32nd European Conference on Optical Communication (ECOC2006), Speical Symposium, Invited, Cannes, France, We1.1.1 (Sept.27, 2006).

⑩J. Kurumida, H. Uenohara, and K. Kobayashi, "All-optical Time Domain Label Separation by SOA-MZI Self-switching Scheme," the 11th OptoElectronics and Communication Conference (OECC2006), Kaohsiung, Taiwan, 5E4-3-1 (Jul.5, 2006).

⑪J. Kurumida, H. Uenohara, and K. Kobayashi, "All-Optical Label Recognition with SOA-MZI Multistage Switching Scheme", OFC/NFOEC2006, Anaheim, USA, JThB51 (Mar.23, 2006).

⑫H. Uenohara, S. Shimizu, and K. Kobayashi, "Switching Performance of an Optical Label Switch using Optical Digital-to-Analog Conversion-based Header Processor with Self-Gate-Pulse-Generator and Power Equalizer", 31th European Conference on Optical Communication(ECOC2005), Glasgow, UK, Th3.4.1 (Sep. 29, 2005).

⑬J. Kurumida, Y. Tatara, H. Uenohara, and K. Kobayashi, "All-optical header recognition sub-system based on SOA-MZI switches", IQEC and CLEO-PR2005, Tokyo, Japan, CFJ4-5 (Jul.15, 2005).

⑭H. Uenohara, S. Shimizu, and K. Kobayashi, "Operation performance of an optical digital-to-analog converter with regeneration-type power equalization", 10th Opto-Electronics and Communication

Conference(OECC2005), Seoul, Korea, 6B3-4 (Jul.6, 2005).

(2) 国内学会 (19件)

①森 崇嘉, 植之原裕行, 小林功郎, "SSG-DBR-LD と SOA-DISC 型波長変換器による波長スイッチング動作特性向上の検討", 2009年電子情報通信学会総合大会, B-12-23, 愛媛, 2009年3月18日.

②並木雅俊, 森 崇嘉, 植之原裕行, 小林功郎, "SOA-DISC 型波長変換器出力のMZDI位相オフセット及びBPF離調による波形改善の検討", 2009年電子情報通信学会総合大会, B-12-22, 愛媛, 2009年3月18日.

③森 崇嘉, 植之原裕行, 小林功郎, "波長スイッチ時におけるSSG-DBRレーザのキャリアプラズマ効果および熱ドリフトの検討", 電子情報通信学会LQE研究会, 東京. LQE2008-108, pp.143-148, 2008年10月24日.

④森 崇嘉, 植之原裕行, 小林功郎, "低消費電力化に向けたパルス駆動DISC型波長変換器の動作検討", 2008年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-12-11, 神奈川, 2008年9月17日.

⑤森 崇嘉, 植之原裕行, 小林功郎, "SSG-DBRレーザの波長スイッチング時の波長チャープ特性検討", 2008年電子情報通信学会総合大会, C-4-19, 北九州 (2008年3月19日).

⑥多々良裕基, 後藤研司, 加藤智行, 来見田淳也, 植之原裕行, 小林功郎, "波長変換を用いた全光パケット経路スイッチ網のための基礎検討", 2008年電子情報通信学会総合大会, B-12-8, 北九州 (2008年3月19日).

⑦森 崇嘉, 岩崎清隆, 植之原裕行, 小林功郎, "光ファイバ遅延線型バッファシステム構成に関する検討", 2007年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-12-9, 鳥取 (2007年9月10日).

⑧多々良裕基, 加藤智行, 来見田淳也, 植之原裕行, 小林功郎, "波長変換を用いた全光パケット経路スイッチ網用制御光生成", 2007年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-12-6, 鳥取 (2007年9月10日).

⑨高梨雄介, 来見田淳也, 植之原裕行, 小林功郎, "半導体光増幅器の相互位相変調特性を用いたタイミング制御型光信号再生器用

光ゲートの 40Gb/s 動作検討”，2007 年電子情報通信学会総合大会，C-4-5，名城大（2007 年 3 月 22 日）。

⑩来見田 淳也，植之原 裕行，小林 功郎，“SOA-MZI 自己スイッチングによる光パケットの先頭ビット検出”，電子情報通信学会通信総合大会，B-12-11，名城大（2007 年 3 月 21 日）。

⑪来見田 淳也，盛田 琢也，植之原 裕行，小林功郎，“SOA-MZI 全光スイッチへの非対称パルス制御光による 40Gb/s 時系列ラベル分離検討”，電子情報通信学会総合大会，B-12-8，名城大（2007 年 3 月 20 日）。

⑫高梨雄介，来見田淳也，植之原裕行，小林功郎，“半導体光増幅器の相互位相変調特性を用いたタイミング制御型光信号再生器に関する基礎検討”，2006 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，C-4-14，金沢大（2006 年 9 月 22 日）。

⑬清水 智，植之原裕行，小林功郎，“位相変調を利用した光信号処理用自動ゲートパルス生成器の基本動作”，2006 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，B-12-6，金沢大（2006 年 9 月 22 日）。

⑭来見田 淳也，植之原 裕行，小林 功郎，“SOA-MZI セルフスイッチングによる全光時系列ラベル分離”，電子情報通信学会通信ソサイエティ大会，金沢大，B-12-7（2006 年 9 月 22 日）。

⑮来見田淳也，多々良裕基，植之原裕行，小林功郎，“SOA-MZI による全光 S/P 変換とラベル認識”，2006 年電子情報通信学会総合大会，東京（2006 年 3 月 26 日）。

⑯来見田淳也，多々良裕基，植之原裕行，小林功郎，“SOA-MZI 型光スイッチの多段化による全光ラベル認識”，2005 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，C-4-39，札幌（2005 年 9 月 23 日）。

⑰多々良裕基，来見田淳也，小林功郎，“SOA-MZI 全光 1×2 スイッチ速度の信号光波長依存性検討” 2005 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，C-4-38，札幌（2005 年 9 月 23 日）。

⑱*植之原裕行，来見田淳也，小林功郎，“光信号処理を用いた光パケットスイッチ用ラベル処理技術”，第 66 回応用物理学会学術講演会，8p-ZE-6，徳島（2005 年 9 月 8 日）。

⑲*小林功郎，“イントロダクトリートーク：新世代光通信へのイノベーション II”，第 66 回応用物理学会学術講演会，8a-ZE-1，徳島（2005 年 9 月 8 日）。

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

○取得状況（計 0 件）

6. 研究組織
(1) 研究代表者

小林 功郎 (KOBAYASHI KOHROH)
東京工業大学・精密工学研究所・教授
研究者番号：80345363

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者

植之原 裕行 (UENOHARA HIROYUKI)
東京工業大学・精密工学研究所・准教授
研究者番号：20334526

加藤 智行 (KATO TOMOYUKI)
東京工業大学・精密工学研究所・助教
研究者番号：20431984