

超低消費電力光 IP ルータ基本技術の研究開発 (105101002)

Prototype Demonstration of A Buffer-less Optical IP Router

研究代表者

山林 由明 千歳科学技術大学

Yoshiaki Yamabayashi, Chitose Institute of Science and Technology

研究分担者

行松 健一[†] 小林 壮一^{††} 福田 誠^{††} 小田 久哉^{††} 及川 陽一^{†††} 岩井 英法^{†††}
藤井 雄介^{††††}、須田 俊央^{††††}、梶川 泰典^{††††}

Ken-ichi Yukimatsu[†] Soichi Kobayashi^{††} Makoto Fukuda^{††} Hisaya Oda^{††} Yoichi Oikawa^{†††}
Hidenori Iwai^{†††} Yusuke Fujii^{††††} Toshihiro Suda^{††††} Yasunori Kajikawa^{††††}

[†]秋田大学大学院 ^{††}千歳科学技術大学 ^{†††}(株)トリマティス
^{†††}フォトニックサイエンステクノロジー(株)

[†]Akita University, Graduate School ^{††}Chitose Institute of Science and Technology
^{†††}Trimatiz Ltd. ^{††††}Photonic Science Technology, Inc.

研究期間 平成 22 年度～平成 24 年度

概要

迂回ルーチングに関する研究成果を受け、IP ヘッダとペイロードの物理層での実装形態を見直すと共に、超低消費電力化が可能な自己保持型光スイッチを用いて、メモリを持たないバッファレス光 IP ノードを実現することを目指した。結果として、自己保持型光スイッチに関しては原理提案にとどまった。一方、プロトタイプ(2×5)は試作でき、切替実験にも成功した。現状の商用ルータと比較して約 1/10 の低消費電力化を示すことができた。

1. まえがき

動画配信サービスなどのブロードバンドサービスが拡大普及する現在、国内インターネット・トラフィック総量は、この数年緩和傾向にあるとはいえ、依然として年率 20% で増加し続け、電力供給にたいする脅威となりつつある。回避のためには LSI の低電圧化が必須であるが、たとえそれが達成されても 2015 年頃には総発電量(9200 億 kWh、2006 年)の 1% をルータだけで消費する事態となることが予測される。それに対して切替時以外電力を消費しない自己保持型光スイッチを開発することを目標とした。また、高速の光メモリが実用化されていない現状を踏まえ、パケット同士の衝突を防止するため、「迂回ルーチング」を採用することとした。これにより光メモリを必要としない光ルータのプロトタイプの製作をこの研究開発の目標とした。これらにより、迂回 IP ルータの消費電力、CO₂ 排出量ともに 1/50 に低減することを目標とした。

2. 研究開発内容及び成果

上記の目的を達するため、IP パケットの論理的な定義は維持しつつ、物理的な実装を見直すこととした。従来の実装では、行き先などを示すヘッダと運ぶべきデータを同一のビットレートとして、時系列的に多重していた。このため、各ルータでは行き先を知るために超高速のインタフェースが必要となり、消費電力やコストを引き上げる原因となっている。そこで、本研究開発では図 1 に示すようにヘッダは CMOS-LSI など処理できる程度の低速とする

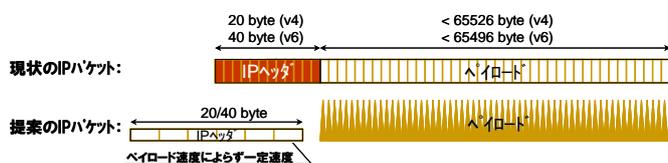


図 1 現状の IP パケットと本提案のパケット形態

が、ペイロードは任意速度のパルス列とする実装を提案する。伝送速度に応じてヘッダのパルスは長くなるので、逆にピーク電力は低くてもよい。光学的にこれらを多重分離し、ヘッダのみを電子処理することとし、ペイロードは光スイッチによって迂回ルーチングを行う。この分離が光カプラによる場合には、ペイロード側ではヘッダを消去する必要があるため、非線形リミッタ光回路についても検討を行った。また、この考え方に基づいた光 IP ルータのプロトタイプを試作し、この動作確認までを全体の目標とした。

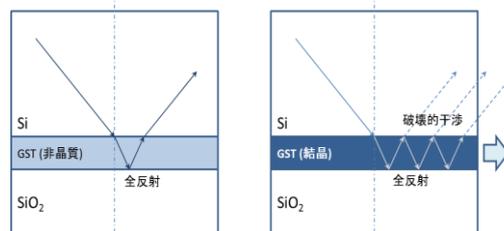


図 2 全反射を利用した光スイッチの原理図

自己保持型光スイッチ

書き換え可能な DVD (Digital Versatile Disc) に用いられている Ge₂Sb₂Te₅ に代表される相変化材料を利用して自己保持型光スイッチを実現すべく検討を進めた。しかしながら、その相変化 GST 膜の製膜ノウハウの蓄積から行わねばならなかったため、実現に手間取り、材料レベルの検討が遅れた。最終年度に至り、一定の性能を持っていることが確認できたので、その膜を実験対象として、自作の光パルス発生回路による波長 650 nm の光パルスを制御パルスとして相変化確認を行った。このパルス発生回路に関しても、実験系に合わせるべく最適化を重ねて改良した。わずかではあるが、相変化膜の応答特性も nsec オーダーで変化することを確認できたことから、スイッチデバイスとしての可能性を見出すことができていたが、スイッチ素子の実現はできなかった。ただ、この原理を利用して

図2に示すような光スイッチ原理を考案した。

ヘッダ・ペイロード分離技術

検討の結果、光増幅器と非線形光ファイバ、およびそれに続くバンドパス光フィルタで構成できる Mamyshev 型の非線形光リミタを選択し、この動作を実験的に確認した。

その結果、パルスレーザの中心波長が 1560 nm の時に分離比が 307 と最大となり、短波長になるに従い小さくなる結果を得た。原因として使用している光源とした半導体モードロックレーザの初期チャープの影響であると推測した。そこで、スペクトル幅とパルス幅の測定からレーザのチャープ量を求めたところ分離比が大きかった 1560 nm ではチャープ量が小さかったが、短波長になるにつれて大きくなった。さらに、得られた実験値を基にスプリット・ステップ・フーリエ法によるシミュレーションを行った結果、実験値と定性的ながら良く一致した。これらより、分離比の波長依存性は多少残るものの、光リミタの基本動作は確認できた。



図3 バッファレス 光ルータ プロトタイプ

バッファレス ルータ試作

光リミタ回路を除く 2 入力 5 出力の入出力ポートを持つ光 IP ルータプロトタイプを設計・試作した(図3参照)。電気制御系は、ヘッダ受信・送信用モジュール (O/E, E/O)、SW ドライバ、FPGA ボードで構成した。FPGA では、バッファレス ルーティング アルゴリズムをベリログ言語で回路記述することで実装し、ルーティング制御を行った。入力には図4の模擬パケットを用い、光リミタでヘッダとペイロードを分離した。ペイロードは 10 GHz の幅 2 ps の RZ パルスとしている。図5に分離後のペイロードを示す。一方、ヘッダで得られる制御信号に基づいて SW ドライバを駆動、光パケット信号の切替を行なった。ただし、光スイッチは自己保持型ではないが低消費電力の市販のものを用いた。また、光の入出力間の損失は約 5 dB であった。

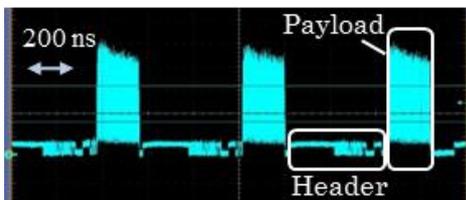


図4 生成した模擬パケット

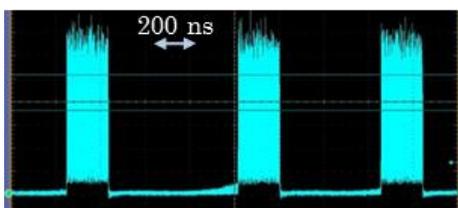


図5 ヘッダを消去したパケット

低速のヘッダ信号処理用に市販の 1 Gbps-Ethernet

トランシーバ(SFP)を使用した。この小型モジュールにより、電気回路ボードへの実装面積の縮小化が図れ、多チャンネル化においてもボードサイズの小型化・拡張性が得られる上、低消費電力化も実現できる。40 G トランスポンダに比べ 1/40 以下の 1 W 未満の消費電力が得られる。装置全体の消費電力は、FPGA ボード部; 24 W、ドライバ部; 74 W、合計 98 W である。これに、光リミタなどで使用する光増幅器の消費電力(50 W/装置)を加算しても、既存の電気処理型 IP ルータの消費電力の約 1/10 と見込まれる。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発で対象としたバッファレス光ルータは、電気型 IP ルータの機能はできるだけ損なわずに光技術で置き換え可能な部分は置き換えて低消費電力化を図ろうとしているものの、光バッファメモリは現在入手不能として考慮せず、迂回ルーティング方式を想定した。しかし、この方式はリンク使用率が低いことを要求することから、本期間に検討を進めた結果、数パケット分のバッファメモリが有効であることもまた明らかになった。今後、光バッファメモリやより低消費電力で低損失、高信頼な光スイッチなどの関連部品分野の研究開発が活発化することが期待できる。また、光ネットワークノード方式研究の分野では、現在のルータが持つ高機能性をいかに光ルータで実現するかという課題に向けた研究開発が広がると期待される。

4. むすび

結果として、書き換え可能型 DVD で利用されている相変化媒質を利用した自己保持型光スイッチに関しては、原理提案にとどまり、実現には至らなかった。一方、ほぼ同等の低電力特性をもつ市販の光スイッチを用いたプロトタイプ(2×5)は試作に成功し、ヘッダ(1 Gbp)とペイロード(10 Gbps)の分離、ヘッダ情報に基づく切替実験にも成功した。現状の商用ルータとの比較では、1/10 の低消費電力化は示すことができたが、パケットを 40 Gbps 以上にすることで同じ消費電力で 4 倍の処理容量も実現できる。

【誌上发表リスト】

- [1] 山林由明、小林壮一、浜中宏一、福田誠、小田久哉、及川陽一、須田俊央、[招待講演]超低消費電力 IP ルータ基本技術の提案”、光エレクトロニクス、マイクロ波、マイクロ波・ミリ波フォトニクス、電磁界理論、エレクトロニクスシミュレーション、電磁界理論技術委員会 共催研究会、電気学会：電磁界理論技術委員会 連催(北見市)(H23.07.22)
- [2] 及川陽一、岩井英法、佐藤典彦、志賀代康、山林由明、“バッファレス光 IP ルータ構成の基礎検討”、2012 年電子情報通信学会総合大会(岡山市、B-10-124、H24.03.20)
- [3] 斉藤佑太、小田久哉、福田誠、小林壮一、山林由明、“自己位相変調効果を利用した光リミッタ回路の開発”、2013 年電子情報通信学会総合大会(岐阜市、B-10-36、H25.03.19)

【申請特許リスト】

- [1] 山林由明、小林壮一、特願 2011-111190「光伝送装置および光伝送方法」、日本、H230518
- [2] 山林由明、小林壮一、「光スイッチ」、日本、出願準備中