

「情報システムの超低消費電力化を目指した技術革新と統合化技術」
平成 17 年度採択研究代表者

佐藤 健一

名古屋大学大学院工学研究科・教授

超低消費電力光ルーティングネットワーク構成技術

1. 研究実施の概要

情報システムの低消費電力化は次世代ネットワーク構築における焦眉の課題となっている。この課題の解決に向けたブレークスルーをもたらす技術として、光ルーティング技術(フォトニックネットワーク技術)が有る。本技術では光のパッシブデバイスによるルーティングを用いる事により、通信ノードにおける電気レイヤの処理を大幅に削減し、通信ネットワーク全体の抜本的な低消費電力化を達成することができる。本研究では低消費電力化をネットワーク全体でとらえ、リンクとノードを構成要素とし、HAN/LAN から WAN(コア並びにメロネットワーク)までのネットワーク全体をあたかも一つのサーキットボードとして、低消費電力化の観点から最適化を図る。フォトニックネットワーク技術における各種の通信方式(光ストリーム、光バースト等)が有する超低消費電力のポテンシャルを最大限に活かした新しいネットワークアーキテクチャ、ネットワーク設計概念を明らかにするとともに、それを構成する超低消費電力ノードシステムの構成並びに究極の低消費電力性能を明らかにする。パッシブデバイスによる光領域でのルーティングを最大限に活かしつつ、スケラブルに拡張出来るネットワークアーキテクチャ、ネットワーク設計手法を明らかにするとともに、ノードの構成法、キーとなる光デバイスに関する研究を推進している。H19 年度はネットワークアーキテクチャ・運用法に関して主にメロ領域における接続リングネットワークへの波長群の適合性を明らかにするとともに、2リング接続網に関して、効率的なネットワーク設計法を明らかにした。また、光バーストを用いるネットワークに関して、集中制御による効率的な経路制御法の基礎を確立した。ノード技術に関しては、集積型光デバイスを用いたノードの開発に重点をおき、波長ルーティングの効率的運用のための帯域幅を不均一にできる AWG 型波長ルータの特性向上を図るとともに、光スイッチと AWG を組み合わせて方路ごとの帯域を随時変更できる波長ルータの提案および動作原理確認に成功した。また、波長群クロスコネクタノードの構築に必要な光スイッチ、光フィルタなどのキーデバイスを作製した。さらに、熱光学効果の代わりに消費電力の極めて少ない電気光学効果型の光スイッチの実用化にむけ、実績のある石英系導波路と電気光学定数の大きなニオブ酸リチウム

(LiNbO₃) 導波路を組み合わせた光スイッチの検討を行い動作確認に成功した。

H20 年度は、これまでの研究を発展させ、経済的でフレキシブルな波長ルーティングネットワーク設計の詳細化・高度化を推進するとともに、それまでに開発したデバイスを組み合わせて波長群クロスコネクタ装置を構築し伝送実験による機能の実証、電気光学効果型の光スイッチの検討および光信号処理を用いた光信号ルーティングの低消費電力化を実現するためのデバイス研究を引き続き推進する。

2. 研究実施内容

(文中にある参照番号は 4. (1)に対応する)

①超低消費電力光ネットワークアーキテクチャ

超低消費電力光ネットワークアーキテクチャとして、これ迄フォトニックネットワーク技術における波長ルーティングを最大限に活かした新しいネットワークアーキテクチャの検討を進めて来た。本年度は、ネットワークのスループット拡大の観点からストリームとして波長パスに加えてウェーブバンドパス(波長群パス)を利用するネットワークを構築する上でキーとなる波長群合分波器に関する研究、接続リング網における新考案ノードの有効性の実証、光バーストネットワーク経路制御法の研究を行った。主要な成果を以下に示す。

ア. 新提案波長群合分波器

複数ファイバを収容可能な新しい分散配置チャンネル型波長群合分波器を提案した。提案合分波器は、これ迄に我々が提案してきた波長群合分波器の2つの課題、AWG 間の導波路の交差、2つのAWGの特性一致の必要性を同時に解消し、モノリシック製作に有効である。新考案合分波器の一例を図1に示す。

従来提案分散配置型波長群合分波器

新提案折り返し導波路型波長群合分波器

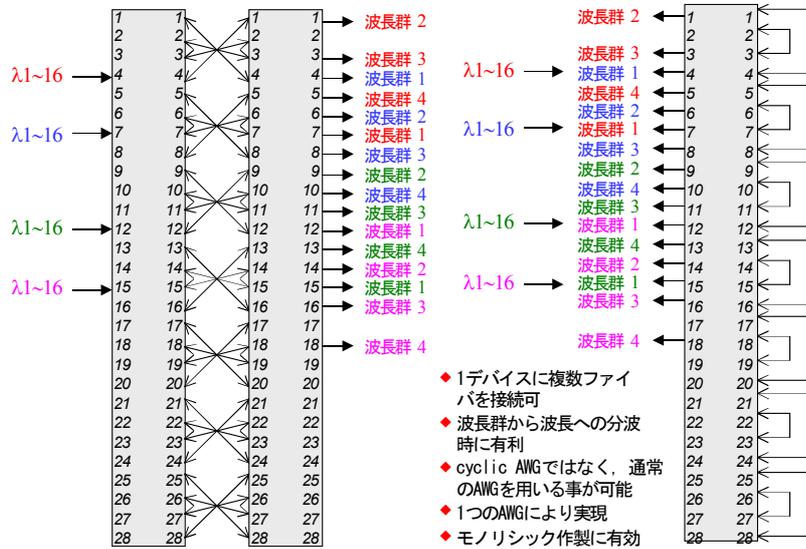


図1 新提案波長群合分波器

イ. 接続リング網における新考案ノードの有効性

接続リングの接続ノードはファイバ選択機能が要求されるため、光クロスコネクタとして構成される。このため接続ノード規模は波長多重数に対して増大し、多重数増加の大きな制約となる。本研究では接続光リングネットワークにおける、接続ノードにおけるボトルネックを解消する新たなアーキテクチャを提案した。リング内トラフィックとリング間トラフィックの処理を分離することで大幅な規模削減が可能であること、また、リング間トラフィックにおけるファイバ選択を波長群の導入により集約することでノード規模をさらに削減できることを実証した。図2にファイバ中の波長多重数96、2階層時の波長群中の波長数4とした場合の提案ノード構成におけるスイッチ規模削減効果を示す。接続ノードのスイッチ規模が大幅に削減できる事が確認される。

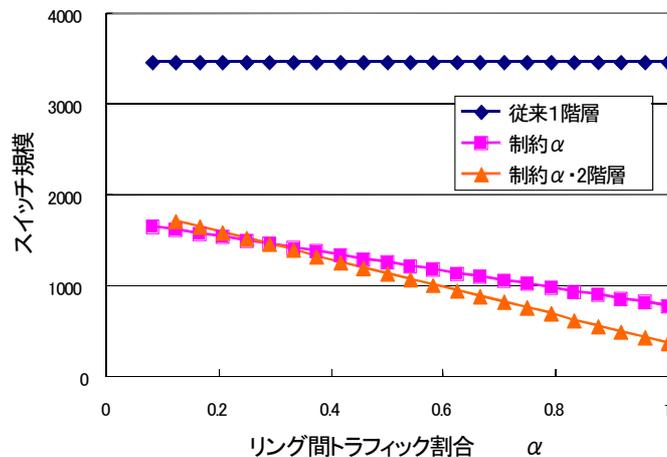


図2 新提案リング接続ノードにおけるスイッチ規模削減効果

ウ. 光バーストネットワーク経路制御法

光バーストネットワークでは、同一リンク・波長で複数のバーストが競合すると、先行バースト以外はすべて破棄される。これを回避するための波長経路割当法として集中制御型光バーストネットワークに対して、平均総ブロッキング時間に基づいた波長経路割当手法を提案し、数値実験により提案手法の有効性を示した。

②超低消費電力光ネットワーク構成技術

超低消費電力光ネットワークアーキテクチャを実現するため、H17 年度から引き続き、ルートごとに伝送信号帯域が異なり効率的な運用が可能な非対称ルーチングデバイスの研究として、石英系導波路平面光波回路技術(以下石英系 PLC と略す)を用いた AWG 波長合分波器と光スイッチを組み合わせた新しい光ルータを提案し、動作確認に成功した。これは波長多重信号をルーティングする際に、ルートごとに割り当てる波長数を需要に応じて変更できるものである(図3)。32 波長の信号光を扱う8入力8出力の波長ルータで図に示す一例のように、途中にある光スイッチの接続状態を選択することで様々な波長数(=伝送帯域)を各出力に割当が可能である。

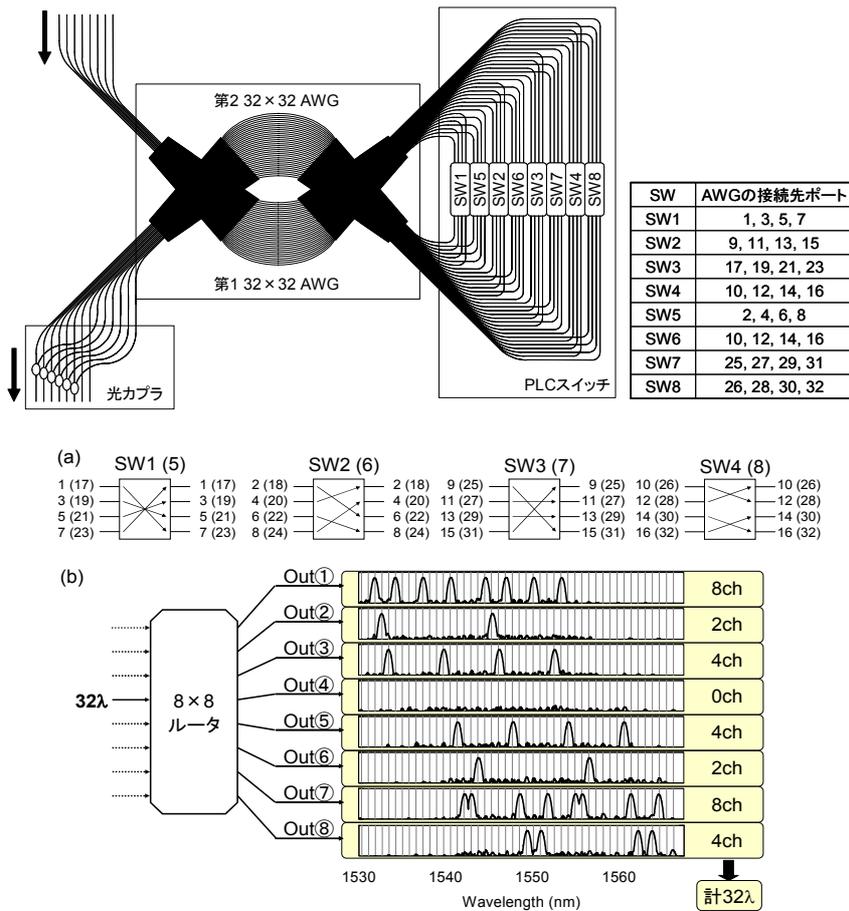


図3 波長割当が変更可能な波長ルータの構成と割当実験結果の一例

また、H18 年度から取り組んでいる光信号処理技術と組み合わせて、低消費電力なバーストネットワークを実現するため、研究テーマ③と連携して高速かつ超低消費電力のスイッチ開発に取り組んだ。スイッチングに使用する材料の LiNbO_3 には偏光依存性があり、そのままでは伝送路の途中にあり入射偏光状態が未確定なクロスコネクトノードでの利用は困難であるため、石英 PLC で偏光ダイバーシティを実現し偏光依存性を解消したのが特長である[1]。

③超低消費電力光ルーティングネットワーク用 PLC 光デバイス

ネットワークの超低消費電力化を目指し研究開発中の各種通信システムの実現に必要な不可欠で最先端な専用光デバイスを、今年度も引き続き、高度な PLC 技術を用いて開発した。光信号を群に束ねて取り扱うことでネットワークの効率化と光スイッチ数の削減を図り低消費電力化を目指す“波長群クロスコネクトノード”システムに関して、研究テーマ②との連携の下で機能や仕様の検討を行い、大規模集積型光スイッチ 2 種類と高性能・高集積型波長群フィルタ及び波長フィルタ 3 種類の計 5 種類のデバイスを開発した。H20 年度に研究テーマ②の一環として、H18 年度で実現した光スイッチや光フィルタと合わせてノード装置の完成を目指し、ノードとしての機能確認実験を行う予定である。また、光信号を光レイヤで処理することで低消費電力化を目指す“光信号処理光ルーティングネットワーク”やノード間の通信帯域を最適化することにより低消費電力化を図る“最適化トランスペアレントネットワーク”の研究開発用にも高度で最先端な光デバイスを 3 種類開発し、システムの有効性の実証に貢献した。

一方、デバイス自身の低消費電力化を図る超低消費電力基盤技術も重要なテーマであり、引き続き研究開発を進めている。今年度は、初年度から開発を進めてきた石英基板を用いた PLC スイッチと平行して、更なる超低消費電力化を実現するための 2 つの検討を開始した。一つは PLC スイッチの抜本的な構造の見直しによる低消費電力化であり、加工技術を中心とした基礎技術の開発を進めた。もう一つは、研究テーマ②と連携して、光ファイバとの接続性に優れ低損失な石英系 PLC に電気光学効果により電界のみ(≒消費電力なし)で駆動が可能な LiNbO_3 導波路位相シフタを組み合わせることで、極限的な低消費電力化を目指す技術で、今年度にプロトタイプを試作し光スイッチとして動作することを確認した[1]。今後、特性の更なる向上と集積化を進め、その技術の有効性や適用範囲(規模や適用先)を明らかにする検討を行う。

3. 研究実施体制

(1) 名古屋大学グループ

①研究分担グループ長:佐藤 健一 (名古屋大学大学院、教授)

②研究項目

- ・フレキシブル光クロスコネクトノード構成
- ・フレキシブル光ネットワーク設計法の開発

- ・ラベルスイッチネットワーク実現法
- ・アダプティブ光ネットワークの設計法の開発
- ・ネットワーク実験

(2)「NTTフォトニクス研究所」グループ

①研究分担グループ長:高橋 浩 (NTTフォトニクス研究所、研究グループリーダー)

②研究項目

- ・波長ルーティング装置及びネットワークノード装置の開発
- ・光ラベル処理装置の開発
- ・アダプティブネットワークインタフェースの開発
- ・ネットワーク実験

(3)「NTT エレクトロニクス」グループ

①研究分担グループ長:大森 保治 (NTT エレクトロニクス、プロジェクトリーダー)

②研究項目

- ・超低消費電力光ルーティングネットワークに必要不可欠な専用 PLC デバイスの開発
- ・PLC 光スイッチの抜本的低消費電力化を実現する基盤技術の開発

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

(1) K. Takiguchi, M. Okuno, H. Takahashi, O. Moriwaki, “Integrated photonic decoder with complementary code processing and balanced detection for two-dimensional optical code division multiple access,” Optics Letters, Vol. 32, No.7, pp.784-786, 2007

(2) 佐藤, “光ネットワーク技術の進展,” 電子情報通信学通信ソサイエティマガジン, No. 1, 夏号、2007 年 6 月、pp. 76-88.

(3) K. Sato and H. Hasegawa, “Prospects and challenges of multi-layer optical networks,” IEICE Trans. Commun., Vol. E90-B, No. 8, pp. 1890-1902, 2007.

(4) S. Kakehashi, H. Hasegawa, K. Sato, O. Moriwaki, S. Kamei, Y. Jinnouchi, and M. Okuno, “Performance of Waveband MUX/DEMUX Using Concatenated AWGs, ” IEEE Photonic Technology Letters, vol. 19, No. 16, August 2007, pp. 1197-1199.

(5) O. Moriwaki, K. Suzuki, H. Takahashi, Y. Sakai, K.-I. Sato, S. Kakehashi, “Loop-Back AWG Router With Nonuniform Transmission Capacity,” IEEE Photonics Technology Letters, Volume 19, Issue 17, pp. 1319 - 1321, 2007.

(6) S. Kakehashi, H. Hasegawa, K. Sato and O. Moriwaki, “Formulation of waveguide

connection for waveband MUX/DEMUX using concatenated Arrayed-Waveguide Gratings,"
IEICE Trans. Commun. Letter, vol. E90-B, No. 10, October 2007, pp. 2950-2952.

2で引用した原著論文の書誌事項

[1] K. Suzuki , T. Yamada, H. Takahashi, M. Okuno, "Polarization-insensitive operation of Lithium Niobate Mach-Zehnder interferometer with silica PLC-based polarization diversity circuit", Photonics Technology Letter, to be published.

(2) 特許出願

平成 19 年度国内特許出願件数： 4件(CREST 研究期間累積件数： 8件)