

「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

(名古屋大学工学研究科電子情報システム専攻 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

インターネットの急速な普及、さらにブロードバンドアクセス環境の急速な進展により、ネットワークを流れるトラフィック量は指数関数的に増加し続けている。また将来のブロードバンドサービス、ユビキタスサービス、超高精細映像サービス、グリッドコンピューティング、グリッドネットワークキングなどの膨大な帯域を必要とする新たなサービスの実現に向け、ネットワークスループットの大幅な増強が必要となっている。一方、通信に必要な電力は増加の一途を辿り、国内大手の通信キャリアにおける電力使用量は年間 74 億 kWh(2003 年度)程度と見積もられている。この値はブロードバンド化の進展により今後大幅に増大する事が予測され、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(フォトリ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期待される。これ迄低消費電力化については、例えば装置のサーキットボードの低消費電力化(ひいては装置単体の低消費電力化)と言う視点で行われてきたが、本研究ではこれ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(コア並びにメトロネットワーク)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。フォトリ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、光バス等)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、スケーラブルに拡張出来るネットワーク構成、ネットワーク設計手法を明らかにする。

本研究は昨年 10 月に開始され、17 年度ではネットワークに関して、需要に応じてフレキシブルに拡大することができる新しい光ルーティングノード構成の提案、並びにノードペ

ア間の距離とトラフィック需要を表現する「S-D(Source-Destination)直積空間」の概念を用いたマルチレイヤフォトニックネットワークの効率的な設計法の基礎を確立した。また、システムに関連して、超低消費電力となる非対称フルメッシュ波長ルーティングシステム基本技術、アダプティブネットワークインタフェース基本技術の研究開発を進めた。さらに、各種システムで必要となる高度な専用デバイスとデバイス自体の超低消費電力化を図る基盤技術の開発を行い、非対称フルメッシュ波長ルーティング用デバイスと超低消費電力基盤技術として石英基板熱光学スイッチの開発を進め、システムに必要なデバイス供給や目標とした低消費電力化が達成出来る見込みを得た。

18年度ではこれらの検討を踏まえ、アダプタビリティの高いネットワーク構成、それに必要な設計技術、新しい構成のデバイスの試作を含む提案ノード基本機能の検証、非対称波長ルーティングデバイスの試作、光ラベル処理デバイス、超低消費電力光処理機能の実現に必要な不可欠なキーデバイスである PLC(Planar Lightwave Circuit)型の光スイッチ、光フィルタ、光信号処理回路の研究開発を行う。

2. 研究実施内容

① 超低消費電力光ネットワークアーキテクチャ

①ー1 フレキシブル光クロスコネクトノード構成

需要に応じてフレキシブルに波長群／波長パス単位でクロスコネクトが行えるこれ迄には無い新しい光クロスコネクトスイッチノード構成の提案と評価を行った。また、波長群を用いる2階層ノードに関して、1階層光パスノードとSW規模を比較し、波長群を用いたノード構成が有用となる範囲・パラメータ依存性を明らかにした(図1参照)。本技術は、コア／メトロなどの比較的大規模なネットワークへの適合性が高い技術である。

①ー2 フレキシブル光ネットワーク設計法の開発

複雑な制約を有し設計の難易度が高い、波長群パスを用いるマルチレイヤフォトニックネットワークの効率的な設計法として、ノードペア間の距離とトラフィック需要を表現する「S-D 直積空間」の概念を導入し(図2参照)、S-D 直積空間探索を用いた波長群パス設定法を開発しその有効性を確認した。本設計法を用いることにより、従来法と比較して、ネットワークコストは最大 50% 削減、ファイバの収容効率 は最大 50% 向上する事を明らかにした。

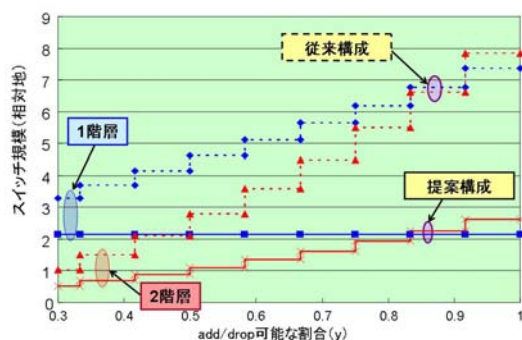


図1 提案ノード構成のスイッチ規模の評価

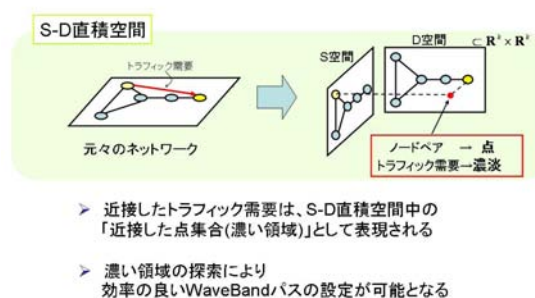


図2 S-D 直積空間探索法の概要

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の部品技術として、本年度はまず非対称な波長ルーティングデバイスの研究に取り組んだ。本技術は、LAN/HANなどの比較的小規模のネットワークに適合性が高い技術である。本方式では、光信号の経路制御にアレイ導波路回折格子(AWG)と呼ばれる、プリズムの機能を有する平面導波回路(PLC)を適用する。AWGは電力供給を必要としないため、原理的に超低消費電力なネットワークの構築に適したデバイスである。また、AWGルータは、ノード間にフルメッシュの接続性を提供することができるため、信号の取捨選択によって、自在な論理トポロジのネットワークを形成することが可能である。(物理トポロジはスター型。) しかしながら従来方式では、ノード間に割り当てられる透過波長帯域幅、すなわちノード間の通信に使用可能な光信号数が均一な値となるように設計されてきた点に問題があった。例えば、AWGルータの透過波長帯域幅を狭く設計すれば、トラフィックの大きなノード間の需要を満たすことができず、逆に透過波長帯域幅を広く設計してしまうと、トラフィックの小さなノード間にも無駄に波長を割り当てることとなり、有限な波長資源を効率的に利用できなかった。本研究期間では、従来の常識と異なり、透過波長帯域幅が不均一な値をとることができるデバイスを設計し、需要に応じて適切な透過波長帯域幅を選択して使用することができるAWGルータの開発に取り組んだ。具体的には、透過波長帯域幅と入力・出力導波路の幅に相関があることから、デバイス中の入力・出力導波路の幅を不均一にすることで、上記の機能を実現している。本AWGルータの設計・製造・評価にいたる一連の検討の結果、期待する透過波長帯域幅の不均一なAWGルータの動作を確認した。今後引き続き、波長利用効率などの観点から性能向上に努めると共に、挿入損失等のパラメータについても均一性を前提としないデバイスについて検討を進め、対称性を崩すことによるAWGルータの高機能化に取り組む。

また、比較的大規模なネットワークに適合性の高い前記のフレキシブル波長群/波長パ

スネットワーク研究に使用する光デバイスの要求条件について検討を進めた。同ネットワークを実現するために不可欠なキーデバイスとして、光マトリクススイッチ及び波長合分波デバイスが挙げられる。これらを用いた実証実験用の装置製作に向けて、特に複数の機能を PLC 上へ集積化するという観点から、低消費電力化に向けて検討を行った。今後は、前記波長群パスを利用するネットワークの実証に向けた取り組みを加速する。

さらに、上記の AWG ルータ並びにフレキシブル波長群ネットワークで使用する、ネットワークインタフェースの試作を行った。本インタフェースは、ITLA(Integratable Tunable Laser Assembly)規格の波長可変光源を搭載することで、光源の低消費電力化の進展に伴って、随時光源を差し替え可能な形態としている。10Gbit/s の信号速度に対応する本インタフェースを用い、AWG ルータ・フレキシブル波長群ネットワークの性能を有効に引き出す条件の検討を行う。さらに、本インタフェースはバースト信号の生成機能も備えており、バーストネットワーク研究の進展に応じて、実証実験用の装置としても使用予定である。

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

新しいネットワークアーキテクチャやノード構成を適用し抜本的な低消費電力化を図る超低消費電力光ルーティングネットワークシステムの実現を目指し、それらのシステムに必要な不可欠なキーデバイスの研究開発を進めた。超低消費電力光処理機能を実現する各種光デバイスを PLC 技術を用いて開発している。開発するデバイスや技術は、次の二つのフェーズに大別して進めている。一つは各種システムの実現に必要な不可欠な先進的且つ高度な専用デバイスの開発であり、もう一つはデバイス自体の抜本的な低消費電力化を目的とした超低消費電力基盤技術の開発である。

H17 年度は、前記の各項目について以下の研究開発を行った。

(1) 非対称波長ルーティングネットワーク用非対称 AWG ルータの開発

ノード間のトラヒックに応じて最適な透過帯域を割り当てる、つまりノードごとに透過帯域が不均一となるネットワークを実現するために、通常は均一な透過帯域を有する AWG ルータにおいて透過帯域の非対称化を試みた。事前検討を十分行った結果、細かい設計上の修正はあるものの理論計算やシミュレーションに沿った特性が確認でき、所望の特性が実現出来る目処を得た。現在、これらのルータを用いてシステム実験を実施している。

(2) 超低消費電力基盤技術：石英基板熱光学スイッチの開発

超低消費電力基盤技術として、導波路の基板を従来の Si 基板から熱伝導率が 2 桁小さな石英基板とすることで低消費電力化を目指す石英基板熱光学スイッチの研究を進めている。このスイッチを実現するためには、石英基板を用いたスイッチ回路作製プロセスの確立と極めて特殊な低消費電力用深溝形成加工技術がキーポイントである。H17 年度は作製プロセスや深溝加工技術に対する課題が明確となり、新しい作製方法や加工技術の検討を開始している。初期検討において問題を解決出来る目処が立っており、目標とした低消費電力化が達成出来る見込みである。

H18 年度は上記の検討を更に進めるとともに、新たにフレキシブル波長群ネットワーク用光フィルタや大規模マトリクススイッチ，そして光信号処理用光 CDM 回路や高速・低消費電力スイッチ，更に新しい機構や材料の探索にも着手し，ネットワークシステム全体で低消費電力化が達成出来るように研究開発を進める。

3. 研究実施体制

名古屋大学グループ

- ① 研究分担グループ長：佐藤 健一（大学院工学研究科電子情報システム専攻、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

NTTフォトニクス研究所グループ

- ① 研究分担グループ長：界 義久（複合光デバイス研究部、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

「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（技術開発本部、プロジェクトリーダー）
- ② 研究項目：
 - I. 各種システムの実現に必要な不可欠な先進的且つ高度な専用デバイスの開発
 - 非対称波長ルーティング用非対称 AWG ルータ
 - フレキシブル WB 用 AWG 光フィルタと大規模マトリクス光スイッチ
 - 光信号処理用光 CDM 回路と高速・低消費電力スイッチ
 - II. デバイス自体の抜本的な低消費電力化を目的とした超低消費電力基盤技術の開発
 - 新しい素子構造の開発とその最適化～石英基板熱光学スイッチの開発
 - 新しい機構や材料の探索