

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：12608  
 研究種目：挑戦的萌芽研究  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23650027  
 研究課題名（和文）全光ネットワークのための新しい交換制御方式「符号交換」に関する研究  
 研究課題名（英文）A Study of “Code Switching” for all-optical switching network  
 研究代表者  
 山岡 克式（Yamaoka Katsunori）  
 東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授  
 研究者番号：90262279

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、「符号交換」の概念を基に、光 CDM 技術により多重化された同一のデータをネットワーク全域にブロードキャストして、各ノードで各自に割り当てられた符号に対応するデータのみを取り出すことにより、データグラム単位での経路制御を行い、効率的な全光交換を実現する、「符号交換に基づく全光交換ネットワークの実現」に挑戦するための萌芽的な研究として、アーキテクチャ設計、及びそれを構成する交換ノードおよびプロトコル設計を行った。

## 研究成果の概要（英文）：

A novel exchange concept “Code Switching” is proposed, and based on this concept, an all-optical code switching network is proposed. Same data blocks are broadcasted on all of network which are multiplexed by optical CDM method. Then, every node can receive same broadcasted data, however, each nodes can only extract each data which is coded by code of each node. Architecture, node configuration, and switching protocol are basically studied in this research for realizing efficient all optical switching network.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ネットワークアーキテクチャ

## 1. 研究開始当初の背景

増大が続く通信への需要に今後に対応していくためには、超高速な全光ネットワークの構築が必要不可欠である。これに対し、光の波長を多重化して利用する WDM(Wavelength Division Multiplexing) 技術により伝送路の高速化が既に実現されており、今後更に多重度を向上させるために、無線分野で実用化されている CDM(Code Division Multiplexing)を光領域の多重化に

応用する光 CDM 技術の研究が進められている。光領域における CDM 方式は、多重度が高く、制御が比較的容易である点が高く評価され、将来の光ネットワークの基盤技術として期待されている。光 CDM 網内では、CDM 方式の特徴を活かして、非同期の可変長パケットを扱うことができる。さらに、CDM を用いることによって、WDM のように波長単位でなく、コード長によって粒度を調整することが可能であるため、コネクションの要求に応じた柔軟なマルチ粒度のパスやそのパ

ス上に論理コネクションを設定することも可能である。

一方、光信号のまま交換制御を行う「全光交換技術」に関しては、現時点で期待されている、パケット交換技術によるフォトニックパケットスイッチは、パケット多重のための光バッファや光遅延回路が未だに研究レベルであり、また制御が非常に複雑であるため制御コストがかさむなど、実用化までにまだ多くの課題が存在する。そのため現状では、回線交換技術による、パスの設定処理や多重度の点で効率が悪い、パス単位での経路設定しか、実現していない。

## 2. 研究の目的

通信網の交換技術は、これまでに、1870年代に発明された電話の交換技術である「回線交換」(Circuit Switching), 1960年代に発明されたデータ通信網の交換技術である「パケット交換」(Packet Switching), の大きく2種類が存在してきた。現在の様々なネットワークの交換技術はいずれも、これらのいずれか一方、もしくは両者の組み合わせにより、実現されてきている。

これに対し、本研究で提案する、符号による交換技術の基本的な概念は、次の通りである。

- ・送信側: データグラムに何らかの符号化を施しブロードキャスト
- ・受信側: 符号化されたデータグラムをブロードキャストにより受信した各ノードは、各自の保持する符号に対応するデータグラムを抽出

この手順により、回線交換のように通信に先立ち事前に回線をセットアップする必要もなく、また、パケット交換のようにデータ以外にヘッダを持つ必要もなく、送信側は自分の望むノードにデータを送信することが可能となる。

本研究の最終目標は、この「符号交換」の概念を基に、光 CDM 技術により多重化された同一のデータをネットワーク全域にブロードキャストして、各ノードで各自に割り当てられた符号に対応するデータのみを取り出すことにより、データグラム単位での経路制御を行い、効率的な全光交換を実現する、「符号交換に基づく全光交換ネットワークの実現」である。

そこで本研究では、その目標に挑戦するための萌芽的な研究として、研究期間内に、アーキテクチャ設計、及びそれを構成する交換ノードおよびプロトコル設計をおこない、理論解析及び計算機シミュレーションにより特性解析を行った。

## 3. 研究の方法

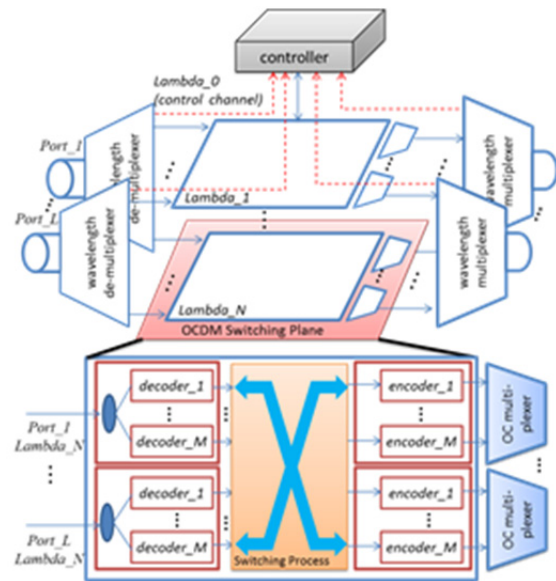


図1 提案スイッチアーキテクチャ

本研究で実現する、符号交換に基づく全光交換ネットワークの基本的なアイデアは、ネットワークの構成単位に含まれる全ノードにブロードキャストされた同一データを、受信した各ノードが自身の符号に対応するデータグラムを抽出することによる、交換制御の実現である。そこでまず、光領域でのフラッディング方式およびネットワーク構成など、本研究で実現する全光ネットワークに適したネットワークアーキテクチャの基本設計検討を行った。続いて、本研究で提案する新たな概念である光 CDM によるデータグラム交換に適した光 CDM 交換ノードの設計を行うとともに、交換制御に必要なとなる光符号の設定や交換および網全体での符号体系、送信データの符号化方針など、プロトコル設計を行った。

## 4. 研究成果

まず、光 CDM による全光網構成法に関して検討を行い、自律型論理ツリー構成によるネットワークアーキテクチャ (図1), ならびにそのツリー状アーキテクチャ上でパス設定を行う OSTP 手法を提案した。さらに、OSTP 手法のみでは利用されないリンクがあるため、階層型論理ツリーを構成し、より効率よくパス設定を行う BOSTP 手法を提案した (図2)。

提案したパス設定手法に関して特性を検討した結果、呼の継続時間とパス設定の時間のバランスにより、性能差が生じることが分かった。そこで、呼の継続時間が短い場合にパス設定を行わずブロードキャスト転送する手法ならびにネットワークアーキテクチ

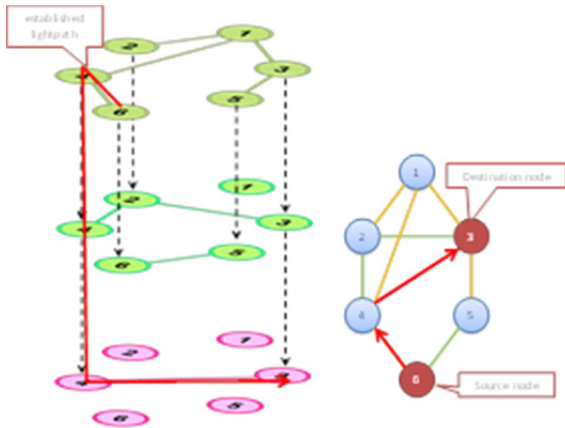


図2 階層型論理トポロジ構成

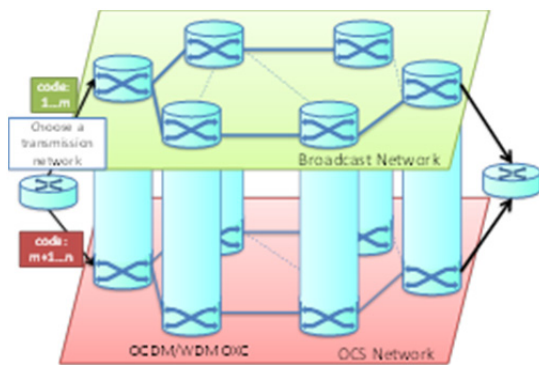


図3 光ハイブリッドアーキテクチャ

を提案した(図3)。結果、小さな呼に対しては呼設定時間を大きく改善できるが、負荷増加や呼の継続時間に対し呼損率が上昇する傾向が顕著であることがわかった。したがって、要求帯域の大きな呼と要求帯域の小さな呼をある閾値でわけ、パス設定を行う通信、もしくはパス設定を行わずにブロードキャストに收容する通信に、適切に振り分けを行うことが必要と考えられる。

また、呼の継続時間が短い場合に、本研究の最終目標である、パス設定を行わずに OCDM で多重化されたデータをブロードキャスト転送する手法ならびにネットワークアーキテクチャにおいては、負荷が低い場合でも呼損率が小さくならない問題があった。これは、ブロードキャストを行うため、途中ノードにおいて衝突を起こす確率が大きいためである。そこで、途中ノードで衝突を生じないように、最も次数の高いノードをルートノードとし、ルートノードからバスで各ノードを接続するようなトポロジを構成するアーキテクチャを提案した(図4)。特性評価の結果、負荷の高い場合にはバス型の影響を受け呼損率は小さくならないが、負荷の低い場合には呼損率を小さくすることができ、その有効性を確認した。

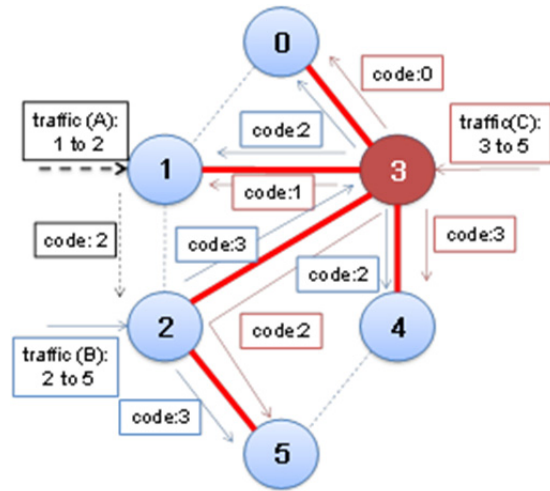


図4 光ブロードキャストネットワークにおける符号割当

### 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)

全て査読有

- [1] Tatsuya Hashimoto, Ken-ichi Baba, and Shinji Shimojo, "A study on Routing, Modulation Level, and Spectrum Allocation algorithms for elastic optical path networks", in Proc. of IEEE PS 3rd International Conference on Photonics 2012 (ICP2012), pp. 395-399, October 2012.
- [2] Tatsuya Fukuda, Ken-ichi Baba, and Shinji Shimojo, "Network design for contention avoidance in optical broadcast network", in Proc. of Photonics in Switching (PS2012), no. We-S31-O04, September 2012.
- [3] Tatsuya Fukuda, Ken-ichi Baba, and Shinji Shimojo, "A study on hybrid optical network architecture with OCDM technology", in Proc. of IEEE International Conference on Communications (ICC2012), pp. 3183-3187, June 2012.
- [4] Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, "Equality based flow-admission control by using mixed loss and delay system", IEICE Transactions on Communications, Vol. E95-B, No. 3, pp. 832-844, March 2012.
- [5] Takuto Kimura, Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, "Characteristic analysis of flow admission control based on equality when requested bandwidth follows different distributions", Proc. of IEEE PACRIM2011, pp. 54-59, August 2011.
- [6] Tatsuya Fukuda and Ken-ichi Baba, "Establishing paths on hierarchical logical

topologies in OCDM networks”, in Proc. of Eighth International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN2011), May 2011.

- [7] Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, “Characteristic analysis of individual call blocking rate and resource utilization by using our mixed delay and loss system”, Proc. of IEEE CQR2011 (by CDROM) May 2011.

〔学会発表〕 (計 15 件)

- [1] 福田達也, 馬場健一, 下條真司, “光 CDM を用いた光ブロードキャストネットワークの構成および通信手法”, 電子情報通信学会 技術研究報告(PN2012-84), vol. 112, no. 471, pp. 37-42, 沖縄県青年会館(那覇市), 11 March 2013.
- [2] 福田達也, 馬場健一, 下條真司, “光 CDM を用いた光ブロードキャストネットワークの構成手法”, 電子情報通信学会 技術研究報告(PN2012-18), vol. 112, no. 195, pp. 23-28, 北見工業大学(北見市), 30 August 2012.
- [3] 宮田純子, 山岡克式, “ユーザ間対等を考慮した二元受付制御方式の提案と解析”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会待ち行列研究部会, 東京工業大学(目黒区), 21 July 2012.
- [4] 宮田純子, 山岡克式, 木下宏揚, “協力的ユーザを考慮した即時待時混合受付制御方式の提案”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 112, no. 87, pp. 85-90, 山形大学(米沢市), 22 June 2012.
- [5] 橋本竜也, 馬場健一, 下條真司, “エラスティック光バスネットワークにおける RMLSA アルゴリズムの一検討”, 電子情報通信学会 技術研究報告(PN2012-11), vol. 112, no. 87, pp. 55-60, 山形大学(米沢市), 22 June 2012.
- [6] 片桐大典, 宮田純子, 馬場健一, 山岡克式, “緊急時における一般電話通話時間短縮による収容数増大効果に関する一検討”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp. B.7.81, 岡山大学(岡山市), 21 March 2012.
- [7] 宮田純子, 山岡克式, “ユーザ間対等即時受付制御の協力的ユーザが存在する場合への適用法”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 岡山大学(岡山市), 21 March 2012.
- [8] 松岡史朗, 宮田純子, 山岡克式, “二元トラヒック環境におけるパケットのバースト継続時間とパケットロス率の関係”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 岡山大学(岡山市), 21 March 2012.
- [9] 福田達也, 馬場健一, 下條真司, “光 CDM

を用いたハイブリッドネットワークの性能評価”, 電子情報通信学会 技術研究報告(PN2011-82), vol. 111, no. 475, pp. 1-6, 五島市 IT 振興センター(五島市), 12 March 2012.

- [10] 松岡史朗, 宮田純子, 山岡克式, “二元トラヒック環境におけるパケットロス率の特性解析”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 111, no. 469, pp. 205-210, 宮崎シーガイア(宮崎市), 9 March 2012.
- [11] 片桐大典, 宮田純子, 馬場健一, 山岡克式, “一般電話収容数向上を目的とした緊急時通信制御”, 電子情報通信学会技術研究報告(IN2011-167), vol. 111, no. 469, pp. 181-186, 宮崎シーガイア(宮崎市), 9 March 2012.
- [12] 宮田純子, 山岡克式, “協力的ユーザを考慮したユーザ間対等即時受付制御の呼損率改善”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 111, no. 469, pp. 175-180, 宮崎シーガイア(宮崎市), 9 March 2012.
- [13] 宮田純子, 山岡克式, “即時待時混合受付制御の呼種別呼損率と資源効率の改善効果”, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 北海道大学(札幌市), 14 September 2011.
- [14] 福田達也, 馬場健一, “光 CDM を用いたハイブリッドネットワーク構成手法の一検討”, 電子情報通信学会 技術研究報告(PN2011-13), vol. 111, no. 171, pp. 7-12, 函館市勤労者総合福祉センター(函館市), 1 August 2011.
- [15] 福田達也, 馬場健一, “光 CDM ネットワークにおける階層型ツリー構成によるパス設定手法”, 電子情報通信学会技術研究報告(NS2011-39), vol. 111, no. 43, pp. 127-132, 上智大学(千代田区), 20 May 2011.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山岡 克式 (Yamaoka Katsunori)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：90262279

### (2) 研究分担者

馬場 健一 (Baba ken-ichi)  
大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授  
研究者番号：60252722

宮田 高道 (Miyata Takamichi)  
千葉工業大学・工学部・准教授  
研究者番号：90431999