

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22300022

研究課題名（和文） 光符号分割多重方式を活かした新たな光ネットワーク構成手法に関する研究

研究課題名（英文） Novel Optical Network Architecture utilizing Optical Code Division Multiplexing Technology

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：

光符号分割多重(CDM)方式は、制御が容易で多重度が高く、将来の超高速ネットワークの基盤技術として期待されているが、現在の研究の多くは、低レイヤでの基本特性の評価に留まっている。本研究では、可変長パケットを非同期で扱うことができ、IP ネットワークとも親和性の高い光 CDM 方式の特性を十分に活かして、アプリケーションサービスレベルまでを考慮したネットワークアーキテクチャを提案した。さらに狭帯域、広帯域アプリケーションを効率よく多重するトラフィック制御手法と併せ性能を測ることにより、理論解析、実証実験を通じて提案するネットワークアーキテクチャの評価を行い、その有効性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Optical Code Division Multiplexing (OCDM) technology with easy controllability is expected to become one of fundamental technologies to realize future ultra-high-speed network. Most of current researches in OCDM are done on low-layer technology such as devices. OCDM has IP friendliness because it can treat flexible length packets asynchronously. So in this study we utilize such OCDM features effectively and we proposed novel network architecture considering application layer. We also consider traffic control methods which multiplex flows from each narrowband and broadband application efficiently. We evaluated proposed architecture and methods through theoretical analysis and actual experiments, so that we could show their effectiveness.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2011 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2012 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

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：フォトニックネットワーク、光 CDM、ネットワークアーキテクチャ、
トラフィック収容

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

高度なマルチメディアネットワークサービス提供のために不可欠となる超高速な全光ネットワークに対する期待が高まっている。そのため、現在、光伝送技術を用いた研究が活発に進められているが、光の波長を多重化して利用する WDM (Wavelength Division Multiplexing) 技術が開発の中心であり、この WDM 技術を基盤としてインターネットの高速化を図る、いわゆる IP over WDM ネットワークや、また、それを一歩進めて WDM 技術以外のさまざまなフォトリック技術を下位レイヤの通信技術とした、GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching)、さらには、フォトリックネットワークの真の IP 化を狙って、フォトリック技術に基づいたフォトリックパケットスイッチに関する研究も始められている。しかしながら、WDM 技術のみを用いた伝送では、波長単位の粒度となり、高い多重度が得られない。また、フォトリックパケットスイッチのように、細かい粒度での多重化を目指したとしても、超高速な全光ネットワークにおいて同期をとる必要があるなど、制御が非常に複雑になり、制御コストが大きくなることが懸念されている。

一方、無線分野で実用化されている符号分割多重(CDM; Code Division Multiplexing)方式が、光領域の多重化方式としても注目されつつある。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。さらに、IP ネットワークに光 CDM 方式を用いる場合、送信側ネットワークで IP アドレスや品質情報などが含まれる IP ヘッダを基にラベルを付加し、その後パケットをコード化して全光ネットワークを介し受信側ネットワークに伝送される。従って、光 CDM 網内では、CDM 方式の特徴を活かして、パケットは可変長で、非同期に扱うことができる。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、接続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接続を設定することも可能である。

また、IP ネットワークにおいては、IP 電話 (VoIP)や WEB (HTTP)、電子メール(SMTP)などの比較的利用帯域の小さなアプリケーション(狭帯域アプリケーション)と、IPTV (動画像ストリーミング)や科学技術計算の大規模データ転送などの利用帯域の大きなアプ

リケーション(広帯域アプリケーション)が共存する。特に、後者の広帯域アプリケーションは、UDP によるストリーミングや高速転送のため TCP ではなく UDP ベースの高速転送プロトコルが利用され、両アプリケーションが論理的な同一パス上に混在する場合、前者の狭帯域アプリケーションを圧迫することが知られている。そのため、狭帯域アプリケーションに対する広帯域アプリケーションの影響を抑えつつ、広帯域アプリケーションをネットワークに収容する技術が重要になってくる。特に、全光ネットワークのように超高速ネットワークにおいては、帯域遅延積が大きいため、フィードバック制御である TCP を利用する狭帯域アプリケーションのみで帯域を埋め尽くすことは非常に難しく、帯域を有効に利用するためにも、広帯域アプリケーションとの共生が必須である。

以上をふまえ、IP で扱われる狭帯域アプリケーションと広帯域アプリケーションを積極的に混在させながら、狭帯域アプリケーションに影響を与えないように QoS を確保しつつ、広帯域アプリケーションに適した QoS の提供を行うことにより、狭帯域、広帯域アプリケーション両通信の相互影響を緩和して、それぞれのアプリケーションのサービス品質の劣化を抑制する、新しい広帯域アプリケーションのネットワークへの収容方式を考慮しつつ、多重度が高く、パスの粒度が調整可能で、制御が比較的容易な光 CDM 方式の特性を活かした超高速な全光ネットワークアーキテクチャを提案する。

2. 研究の目的

本研究においては、上記に述べたように、超高速ネットワークである光 CDM 網において、CDM の特徴を活かした柔軟な光 CDM パスによるネットワークを構成し、マルチ粒度パスを設定可能なネットワークアーキテクチャを提案する。さらにマルチ粒度パスのパス上に、IP ネットワークを対象とした狭帯域、広帯域アプリケーションを混在させ、なおかつ狭帯域アプリケーションに影響を与えず、広帯域アプリケーションを収容するためのトラフィック制御方式を併せて提案する。そのため、まず、光 CDM 網において、IP ネットワークで提供されるアプリケーショントラフィックを収容するためのネットワークアーキテクチャ、ならびに光 CDM パスの設定手法を提案する。さらに、それらのネットワークアーキテクチャ上の光 CDM パス上に、狭帯域、広帯域アプリケーションを収容する場合の理論的性能を明らかにする。次に、積

極的にそれらのアプリケーションを混在させた場合のネットワークアーキテクチャ、パス設定、トラフィック制御方式を併せ提案し、性能評価を行う。理論的な検証の後、それぞれの接続実験、ならびに総合実験を行い、提案アーキテクチャならびに手法の有効性を示す。

3. 研究の方法

本研究は、大きく分けて、(1) 光 CDM 網における IP ネットワークで提供されるアプリケーショントラフィックを収容するためのネットワークアーキテクチャ、ならびに光 CDM パスの設定手法の提案、(2) マルチ粒度パスに応じた狭帯域アプリケーショントラフィック、広帯域アプリケーショントラフィックの収容手法の提案、(3) 光 CDM 方式を用いたネットワークでの IP トラフィック収容特性に関する検証、(4) 実験ネットワークの構築と特性評価、の4段階、3 年計画で実施した。前半では、主に理論解析、シミュレーションによる評価、後半では実証実験による評価を行い、その有効性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 光 CDM 網における IP ネットワークで提供されるアプリケーショントラフィックを収容するためのネットワークアーキテクチャ、ならびに光 CDM パスの設定手法の提案

光 CDM 網で MAI の伝搬によってサイクルアタックが生じる問題があり、それらを解決するため、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サイクルアタックを回避してパス設定を行う OSTP 手法を提案した。シミュレーション評価の結果、従来の集中型 CFLDA 手法に比べ、非常に効果があることを明らかにした。

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)。シミュレーションを用いて評価した結果、従来の CFLDA 手法、先に提案した OSTP 手法に比べ、より性能を向上させることができた (図 3)。

(2) マルチ粒度パスに応じた狭帯域アプリケーショントラフィック、広帯域アプリケーショントラフィックの収容手法の提案

広帯域、狭帯域のアプリケーションのそれぞれのユーザのユーザ満足度を同等に考え、それらのトータル満足度を最大にすることを目的としたトラフィック収容方式を提案

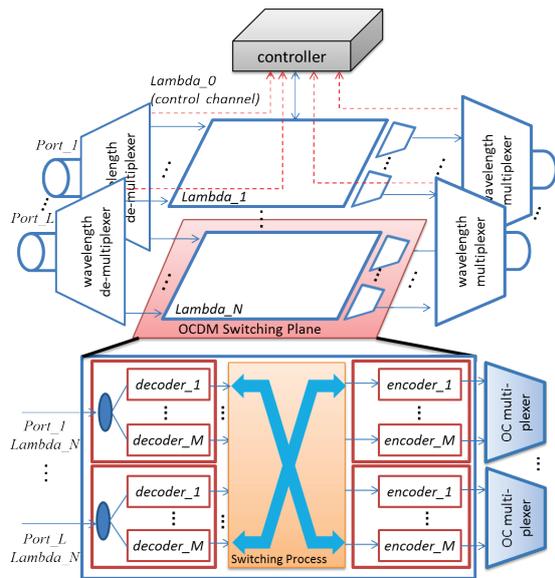


図 1 提案したスイッチアーキテクチャ

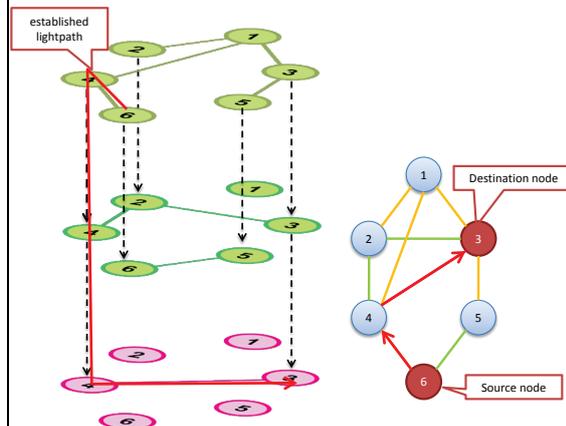


図 2 階層型論理トポロジー構成における BOSTP パス設定手法

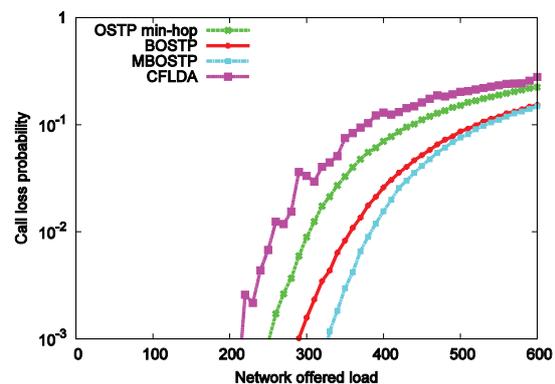


図 3 NSF トポロジーにおける呼損率

し、評価した。残帯域から収容すべきか判断する閾値について評価を行い、適切な値が得られることを明らかにした。

さらに、検証した呼の大きさを2種類固定した環境から、要求帯域幅が振れる呼が混在する環境を対象にトラフィック収容手法の提案を行い、評価した。その結果、提案手法は有効に機能することがわかった。

(3) 光 CDM 方式を用いたネットワークでの IP トラフィック収容特性に関する検証

(1)で提案したパス設定手法の結果、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ため、IP トラフィックのように呼の継続時間が短い場合にパス設定を行わずに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を提案した (図 4)。その結果、小さな呼に対しては呼設定時間を大きく改善できることがわかったが、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がある閾値でわけ、パス設定を行う通信、パス設定を行わない通信を行うことが必要と考えられる。

また、IP トラフィックのように呼の継続時間が短い場合にパス設定を行わずに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、ルートノードからパスを書くノードを接続するようなトポロジーを構成するアーキテクチャを提案し (図 5)、評価した。その結果、負荷の高い場合にはパ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。

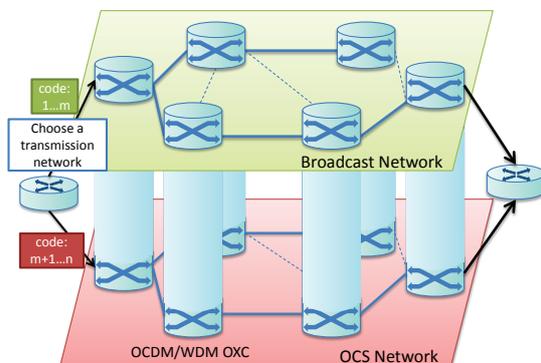


図 4 光ハイブリッドネットワークアーキテクチャ

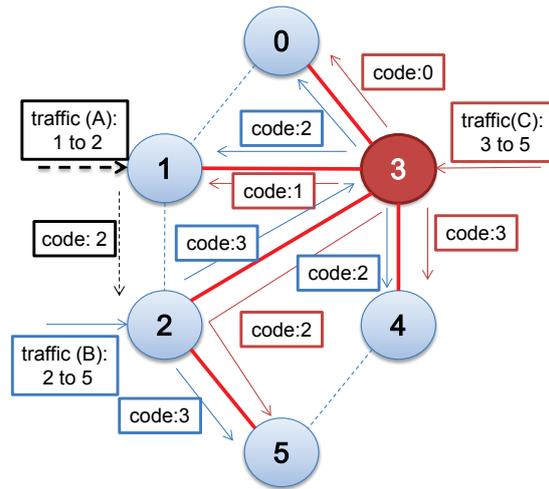


図 5 新たな光ブロードキャストネットワークにおけるデータ転送手法

(4) 実験ネットワークの構築と特性評価

実証実験およびその評価については、ハードウェアの進展がまだ十分ではなく、今後の課題と考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)
すべて査読有

- [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.
- [8] Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, “Flow-admission control based on equality of heterogeneous traffic (two-type flow model)”, IEICE Transactions on Communications, Vol. E93-B, No.12, pp. 3564-3576, December, 2010.
- [9] Tatsuya Fukuda and Ken-ichi Baba, “A path establishment method using autonomous logical tree topology in OCDM networks”, in Proc. of 36th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC2010), vol. 1, pp. 1324-1326, September 2010.
- [10] Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, “A basic study of the flow admission control of mixed loss and delay system based on equality of heterogeneous traffic”, Proc. of NETWORKS2010, pp.29-34, September 2010.
- [11] Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, “Reducing total call-blocking rates by flow admission control based on equality by heterogeneous traffic”, HTE Infocommunications Journal, vol. LXV, pp.27-34, July 2010.
- [学会発表] (計 21 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, 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, 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, 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, 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, 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, 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, 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, March 2012.
- [9] 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, March 2012.
- [10] 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, March 2012.
- [11] 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, March 2012.
- [12] 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, 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, 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, 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, May 2011.
- [16] 木村拓人, 宮田純子, 山岡克式, “要求帯

域のぶれがフロー間対等二元受付制御に及ぼす影響”, 電子情報通信学会 2011 総合大会, March 2011.

- [17] 宮田純子, 山岡克式, “即時待時混合受付制御のトータル呼損率改善効果とその適用範囲”, 電子情報通信学会 2011 総合大会, March 2011.
- [18] 木村拓人, 宮田純子, 山岡克式, “要求帯域が分布に従う環境でのフロー間対等二元受付制御特性”, 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 110, no. 449, pp. 79-84, March 2011.
- [19] 宮田純子, 山岡克式, “即時待時混合二元受付制御のトータル呼損率特性解析”, 電子情報通信学会 技術研究報告 (IN2010-109), pp. 69-74, December 2010.
- [20] 宮田純子, 山岡克式, “短い待機を許容する受付制御におけるトータル呼損率改善効果”, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 2010, September 2010.
- [21] 宮田純子, 山岡克式, “少量のバッファ導入による二元受付制御のトータル呼損率改善効果”, 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 110, no. 116, pp. 1-6, July 2010.

6. 研究組織

(1)研究代表者

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

(2)研究分担者

山岡 克式 (YAMAOKA KATSUNORI)
東京工業大学・理工学研究科・准教授
研究者番号 : 90262279