

平成22年 5月26日現在

研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2007～2009
課題番号：19560383
研究課題名（和文） 光パケット交換網のブロッキング性能を向上させるネットワーク制御技術
研究課題名（英文） Network Control Technologies to Improve Packet Blocking Performance in Optical Packet Switching Network
研究代表者 戸出 英樹, (TODE HIDEKI)
大阪府立大学・工学研究科・教授
研究者番号：20243181

研究成果の概要（和文）：

本研究では、次世代の光パケット交換網において、光バッファや光波長変換などのデバイス制約を考慮に入れつつ、パケットロス性能の向上を実現するという最終目標に対し、まず、光パケット交換機のロス性能を改善する波長変換器・光バッファ連携制御を確立した。次に、光パケット交換網に適したコネクションレベル優先波長選択方式を確立した。最後に、優先波長集合（優先波長バンドル）のネットワーク・グローバルな決定方法を確立した。

研究成果の概要（英文）：

Our final objective indicates realizing improvement in packet loss performance, in the next-generation optical packet switching network, taking device restrictions of an optical buffer, light wavelength conversion, etc. into consideration. In this study, first of all, we established tightly-cooperated control method between wavelength converters and optical buffers which improves the loss performance of an optical packet switch. Next, the connection-level prioritized wavelength assignment method suitable for an optical packet switching network was established. Finally, the determination method of the priority wavelength set (priority wavelength bundle) to assign to each route on entire network was established.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 通信・ネットワーク工学

キーワード：光パケット交換, 波長割当, 波長変換器, 光バッファ, Suitability Index, 進化型計算, 優先波長バンドル, ハイブリッド網

1. 研究開始当初の背景

すでに国民の社会インフラとなっているインターネットの利用法は、音声、動画像などのマルチメディアサービス、P2Pアプリケーション、さらには、放送形態サービスなど、多種多様であり、伝送されるトラフィックも飛躍的に増大している。一方、ネットワーク構成の面からは、電子回路技術をベースとした現在の情報ネットワーク基盤に対し、光ファイバ上の波長多重伝送技術により光リンクの容量が飛躍的に増大している。しかし、情報交換の機能を有するルータに関しては、電子技術の発展に伴う高速化で対応しているものの、今後の要求性能を実現できるという保証はない。さらに、電子技術の高速化は消費電力の爆発的な増大につながっており、発熱などの抑制面の課題も内包している。この問題に対し、光レベルのまま伝送のみならず交換も行う全光ネットワークの実現が望まれており、光デバイス技術やネットワーク技術の両面から精力的な研究が展開されている。光ネットワークの今後の発展形態としては、光関連技術の成熟度に対応して、光回線交換（OC S）、光バースト交換（OBS）、光パケット交換（OPS）という形態を遂げるものと考えられる。しかし、基本情報単位であるパケット毎に個別に交換を行う光パケット交換においては、実現に向けた基本的な試作システムによる実証実験などの研究発表が、国内ではNICTや東京大学などの研究機関を中心に、海外でも米国UCSB & UCD、欧州e-Photon/Oneなどで行われているが、光バッファなどの光メモリデバイス技術や波長変換技術の未熟性などから、現状では、パケット単位のロス性能の面で十分な改善が図られているとは言えない。将来、光パケット交換網が光デバイスの制約を考慮に入れつつ優れたロス性能を達成するために、ネットワークシステムとしての新たな方策を確立することは必要不可欠である。本研究では、ネットワークワイドな波長利用技術の面からのパケットロス性能の改善と、光パケット交換（OPS）機能の構成面からのパケットロス性能の改善の双方を実現することを目指すものである。

2. 研究の目的

次世代の光パケット交換網において、光バッファや光波長変換などのデバイス制約を考慮に入れつつ、パケットロス性能の向上を実現するという最終目標に対し、次の具体的な目的を設定する。

(1) 【ロス性能を改善する光パケット交換機

構成の解明と波長変換器・光バッファ連携制御の確立】

光パケット交換機におけるパケットロス性能に優れた波長変換器、光バッファの配置構成の実現性能を解析し、パケットブロッキングの発生を極力抑制することができるスイッチアーキテクチャと所要デバイス量、並びに各デバイスの優先使用規律を明らかにすること。

(2) 【光パケット交換網に適したコネクションレベル優先波長選択方式の確立】

光パケット交換網に対しコネクションレベルで継続的に優先波長を選択利用する方式を新たに確立し、ネットワーク全体に亘るパケットブロッキング率を大幅に削減すること。

(3) 【光パケット交換網に適した迂回経路設定方式の確立】

光パケット交換網に対して、光パケット交換の処理速度制約を考慮に入れつつ迂回経路手法を適用し、さらに優れたパケットブロッキング性能を実現すること。

(4) 【光パケット交換網のロス耐性を実現する複数波長並列転送スケジューリング・FEC技術の確立】

光パケット交換網で高信頼な超高速転送を実現するために、複数波長を使用し、かつFEC (Forward Error Correction) 技術と連携してスケジューリングを行う転送方式を提案し、従来のデータ転送のロス率を大幅に低減させること。

3. 研究の方法

【平成 19 年度】

(1) 【ロス性能を改善する光パケット交換機構成の解明と波長変換器・光バッファ連携制御の確立】

使用波長数、使用波長変換器数を状態とするマルコフ過程をベースとした理論解析を展開し、均質なトラフィック負荷環境におけるOPSスイッチのブロッキング率の導出を行う。それと並行して計算機シミュレーションによる評価を行い、所要光バッファ容量・所要光波長変換器数の組合せでどのような条件で性能が最大限引き出されるのか、または、性能劣化にインパクトを与える光デバイス機能についての知見を得る。さらに、波長変換器や光バッファなどを対象とした優先利用規律の基本アイデアの遂行を図る。

(2) 【光パケット交換網に適したコネクションレベル優先波長選択方式の確立】

特定のソースエッジノードからどの波長を用いてパケットを送信すると、中継の光パケ

ット交換機でのパケット廃棄を低減することができるのかを間接的に知るために、過去の履歴情報を元に簡易学習機能を有し、ソース発信用の波長と中継用の波長としての優先度を同時に示すことが可能なSI (Suitability Index) 指標という概念を光パケット交換網に対して導入する。さらに、光伝送を行うコネクショレベルでできる限り排反的に利用することが可能な優先波長集合（優先波長バンドル）という考え方をさらに導入する。

(3) 【光パケット交換網に適した迂回経路設定方式の確立】

本課題では、提案する光反射ルーチングと光迂回ルーチングのハイブリッド的な適用方式を詳細に規定し、さらに、反射・迂回パケットに対する優先处理的な対応を加味した方式を具体的に確立する。また、実際の光パケットの迂回経路探索に必要なテーブル検索の処理時間などの調査を行い、性能評価に向けたパラメータの具体的な抽出を行う。

(4) 【光パケット交換網のロス耐性を実現する複数波長並列転送スケジューリング・FEC技術の確立】

本課題では、上記の3課題の克服によりロスを低減した場合においても、完全には防ぐことができないパケットロスをEnd-Endの知的処理で補償しようというものであり、複数の高優先度の波長を選択的に利用し、かつ、FECにより、ロバスト性を高める転送方式を確立する。

【平成20年度】

(1) 【光パケット交換機のロス性能を改善する波長変換器・光バッファ連携制御の詳細化】

マルコフ過程をベースとした理論解析をさらに進め、誤差の少ないロス率の導出を目指す。さらに、波長変換器や光バッファなどを連携して制御する動的優先利用方式を確立する。具体的な推奨パラメータチューニングも実施する。また、シミュレーション評価を通じて提案方式の有効性を明らかにする。

(2) 【光パケット交換網に適したコネクショレベル優先波長選択方式の詳細化】

(連携研究者の村上孝三、木下和彦と研究代表者が連携して取り組む)

過去の履歴情報に基づく学習によりSI指標を逐次更新する制御機構として、ブロックACK型フィードバックとの組み合わせによる優先波長決定方式を確立しその詳細化を図る。さらに、波長変換処理に対する推奨度の指標もSI指標に組み込むことを試みる。

(3) 【優先波長集合（優先波長バンドル）のグローバルな決定方法の確立】

(連携研究者の村上孝三、木下和彦と研究代表者が連携して取り組む)

光伝送を行うコネクショレベルでできる限り排反的に利用することが可能な優先波長集合（優先波長バンドル）という考え方を導入し、優先波長・経路をグローバルなネットワーク状況把握に基づき決定する方式を確立する。網全体の最適化はNP完全な問題に属することから、ヒューリスティックアプローチを利用したスケーラブルな決定方式を目指す。

【光波長群パス網とOPS網のハイブリッドアーキテクチャの確立と有効性の評価】

新世代ネットワークをターゲットに、波長パスの提供をターゲットとして波長群パス網と光パケット交換網とが共存するシナリオを想定し、波長群パス網の設計過程では避けられない空き波長部分を適切に検索し、光パケット交換網のショートカットパイプとして構成・提供することにより光パケット交換網のブロック率の大幅な改善を図るアーキテクチャを提案し、具体化を目指す。

【平成21年度】

最終年度の平成21年度は、完成形の提案方式確立とその多面的評価を試みる。

(1) 【光パケット交換機のロス性能を改善する波長変換器・光バッファ連携制御】

平成21年度は、昨年度に新たに提案した、Look-aheadバッファとLoop-backバッファの連携制御を組み込んだTwo-stage可変長光パケットスイッチをさらに改良し、最終版の最終性能を計算機シミュレーションによる多面的な評価を通して明らかにする。また、これらの制御方式の実現可能性に関して、ハードウェア仕様記述言語を用いた簡易版のハードウェア実装を行い、制御処理に要する時間制約を定量的に明らかにする。

(2) 【光パケット交換網に適したコネクショレベル優先波長選択方式の詳細化】

交換機内部における波長変換器、ファイバ遅延線(FDL)の優先利用規律に関してもSIベースの指標に基づき優先利用方針を確定するSIC, SIFを提案し最終的な提案方式を確立する。さらに、本提案方式の有効性を様々なネットワーク環境下で詳細に評価を行い、有効性の相乗効果を定量的に明らかにする。

(3) 【優先波長集合（優先波長バンドル）のグローバルな決定方法の確立】

光伝送を行うコネクショレベルでできる限り排反的に利用することが可能な優先波長集合（優先波長バンドル）という考え方を考慮し、優先波長・経路をグローバルなネットワーク状況把握に基づき決定するスケーラブルな制御方式として提案した、ORGAN(Online

Route and Wavelength Design based on Genetic Algorithm for OPS Networks)のさらなる詳細設計を行い、最終決定版における有効性を様々なネットワーク環境下で定量的に明らかにする。

(4) 【光波長群パス網とOPS網のハイブリッドアーキテクチャの有効性評価】

新世代ネットワークをターゲットに、波長群パス網と光パケット交換網とのハイブリッドアーキテクチャとして、波長群パス網の設計過程では避けられない空き波長部分を適切に検索し、光パケット交換網のショートカットパイプとして構成・提供することにより光パケット交換網のブロック率の大幅な改善を図るアーキテクチャを提案し、詳細設計を行うとともに、定量的な評価を行う。

4. 研究成果

【平成 19 年度】

(1) 【ロス性能を改善する光パケット交換機構成の解明と波長変換器・光バッファ連携制御の確立】

所要光バッファ容量・所要光波長変換器数の組合せでどのような条件で性能が最大限引き出されるのかの知見を得た。原則、光波長変換器をある程度優先的に装備する必要があるが、十分な一定量を超えると、光バッファ(FDL)を替わりに装備することが適切な設置であることが確認された。

(2) 【光パケット交換網に適したコネクションレベル優先波長選択方式の確立】

まず、OPS網において、過去の履歴情報を元に簡易学習機能を有し、ソース発信用の波長と中継用の波長としての優先度を同時に示すことが可能なSI(Suitability Index)指標という概念を導入するための基本案を確立した。また、egress ノードの手前ノードで波長変換を行う場合に排反的に優先利用することが可能な優先波長集合(優先波長バンドル)を用いた波長変換方式を提案し、有効性の基本検証を行った。

(3) 【光パケット交換網に適した迂回経路設定方式の確立】

本課題では、提案する光反射ルーチングと光迂回ルーチングのハイブリッド的な適用方式を詳細に規定し、さらに、反射・迂回パケットに対する優先処理的な対応を加味した方式を具体的に確立した。性能評価を通じて、有効性が実証された。

【平成 20 年度】

(1) 【光パケット交換機のロス性能を改善する波長変換器・光バッファ連携制御の詳細化】

本課題に対して、Look-ahead バッファと Loop-back バッファの連携制御を組み込んだ Two-stage 可変長光パケットスイッチを提案し、基本的な有効性を確認した。これにより、本課題の目標である、動的優先利用方式が確立された。

(2) 【光パケット交換網に適したコネクションレベル優先波長選択方式の詳細化】

特定のソースエッジノードからどの波長を用いてどの方向(出力リンク)へパケットを送信すると、中継の光パケット交換機でのパケット廃棄を低減することができるのかを間接的に知ることができる指標として SI(Suitability Index)指標を提案し、過去の履歴情報に基づく学習により SI 指標を逐次更新する制御機構として、ブロック ACK 型フィードバックとの組み合わせによる優先波長決定方式を確立した。また、計算機シミュレーションにより、その有効性を実証した。

(3) 【優先波長集合(優先波長バンドル)のグローバルな決定方法の確立】

光伝送を行うコネクションレベルでできる限り排反的に利用することが可能な優先波長集合(優先波長バンドル)という考え方を導入し、優先波長・経路をグローバルなネットワーク状況把握に基づき決定するスケラブルな制御方式として、ORGAN(Online Route and Wavelength Design based on Genetic Algorithm for OPS Networks)を提案した。本方式は、進化型計算をベースにしておき、効果的な優先波長バンドルの更新が期待される。

(4) 【光波長群パス網と光パケット交換網のハイブリッドアーキテクチャの確立と有効性の評価】

本課題では、波長群パス網と光パケット交換網とが共存する環境で、波長群パス網設計過程における空き波長部分を適切に検索し、光パケット交換網のショートカットパイプとして構成・提供することにより光パケット交換網のブロック率の大幅な改善を図るアーキテクチャの基本提案を行った。

【平成 21 年度】

光パケット交換機のロス性能を改善する波長変換器・光バッファ連携制御の確立に関して、Look-ahead バッファと Loop-back バッファの連携制御を組み込んだ Two-stage 可変長光パケットスイッチの詳細設計をさらに遂行し、計算機シミュレーションを通じて、特に中低負荷域では、3ケタ以上のロス率改善効果が見込めることを明らかにした。また、これらの制御方式の実現可能性に関して、ハードウェア仕様記述言語を用いた簡易版のハードウェア実装を行い、制御処理に要する時間制

約を定量的に検討した。その結果、既存の方式と同等の速度(評価環境では45nsecに1パケット処理)で動作可能であることが確認された。

光パケット交換網に適したコネクションレベル優先波長選択方式の詳細化 に関して、連携研究者とともに、過去の履歴情報に基づく学習によりSI指標を逐次更新する制御機構として、ブロックACK型フィードバックとの組み合わせによる優先波長決定方式、さらには、交換機内部における波長変換器、ファイバ遅延線(FDL)の優先利用規程についてもSIベースの指標に基づき優先利用方針を確定するSIC, SIFを提案し最終的な提案方式を確立した。さらに、様々なネットワーク環境下での評価を通じて本提案方式の有効性を明らかにした。

優先波長集合(優先波長バンドル)のグローバルな決定方法の確立 に関して、優先波長・経路をグローバルなネットワーク状況把握に基づき決定するスケラブルな制御方式として、ORGAN(Online Route and Wavelength Design based on Genetic Algorithm for OPS Networks)のさらなる詳細設計を行い、その有効性を定量的に明らかにした。特にFDLとの併用により、4桁程度のロス率改善効果が得られる負荷領域が存在することを実証した。

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9件)

1. 篠原悠介, 戸出英樹, 村上孝三, “フロー単位バッファ制御における高速かつ柔軟なフロー状態管理機構,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J92-B, no.1, pp.44-53, Jan. 2009 (学生優秀論文賞受賞) (査読有).
2. Y. Hirota, Y. Tanaka, H. Tode and K. Murakami, “A Succeeding Transmission Scheme for Burst Transfer in Optical Burst Switched Networks,” IEICE Trans. Commun., vol.E91-B, no.12, pp.3904-3912, Dec. 2008(査読有).

3. Y. Hirota, H. Tode and K. Murakami, “A Retransmission Management for RWA using Suitability Index in OBS Networks,” OSA Journal of Optical Networking (JON), vol.7, issue 5, pp.410-425, 2008(査読有).
4. M. Morita, H. Tode and K. Murakami, “Reflection-based Deflection Routing in OPS Networks,” IEICE Trans. Commun., vol.E91-B, no.2, pp.409-417, Feb. 2008(査読有).
5. Y. Hirota, H. Tode and K. Murakami, “A Novel Cooperation Method for Routing and Wavelength Assignment in Optical Burst Switched Networks,” IEICE Trans. Commun., vol.E90-B, no.11, pp.3108-3116, Nov. 2007(査読有).

[学会発表] (計25件)

1. Y. Hirota, S. Yatsuo, H. Tode, and K. Murakami, “A Cooperation Control between Look-ahead Buffer and Loop-back Buffer in Two-stage Variable Optical Packet Switch,” Proceedings of 14th Conference on Optical Network Design and Modeling(IFIP ONDM 2010), 6-1, 6 pages, Kyoto, Japan, Feb.3, 2010(査読有).
2. H. Tode, K. Hamada, and K. Murakami, “ORGAN: Online Route and Wavelength Design based on Genetic Algorithm for OPS Networks,” Proceedings of 14th Conference on Optical Network Design and Modeling(IFIP ONDM 2010), P-1, 6 pages, Kyoto, Japan, Feb.2, 2010(査読有).
3. H. Tode, “Design and Empirical Evaluation of a Control Scheme for End-to-End Delay Stabilization and Packet Loss Improvement in Future IP Networks,” Annual Meeting of IEEE Seoul Section, held in Hanyang University, Seoul, Korea, Dec. 9, 2009.(Invited Talk 査読無).

4. Y. Hirota, H. Tode, and K. Murakami, ``Wavelength Assignment Method Smoothing Available Fiber Resources for Multiple Fibers OPS Networks ,'' Proceedings of the 2009 Photonics in Switching (PS2009), Pisa, Italy, Sep. 17, 2009(査読有).
 5. Nguyen Thanh Cong, Y.Hirota, H. Tode, and K. Murakami, ``A Routing Method Considering Physical Impairments in Multi-Fiber WDM Network for Future Multimedia Services ,'' Proceedings of International Conference on Multimedia, Information Technology and its Applications(MITA 2009), Session C-2, pp.69-70, Osaka, Aug. 20, 2009(査読有).
 6. Y. Shinohara, H. Shimonishi, H. Tode, and K. Murakami, ``Programmable and Scalable Per-Flow Traffic Management Scheme using a Control Server, '' Proceedings of IEEE ICC 2009, Session NGN, 5pages, Dresden, Germany, June 15, 2009(査読有).
 7. S. Yatsuo, H.Tode, K. Nishimura, T.Otani, and K.Murakami, ``Prioritized Usage Control of Different Shared Devices for Contention Avoidance in Optical Switching Node ,'' Proceedings of the 2008 Photonics in Switching (PS2008), S-01-2, Sapporo, Japan, Aug. 5, 2008 (査読有).
 8. K. Ichimura, H. Tode, K. Nishimura, T. Otani, and K. Murakami, ``A Method for Reduction of Wavelength Conversions on Egress Node in OPS Networks ,'' Proceedings of the 2008 Photonics in Switching (PS2008), S-05-3, Sapporo, Japan, Aug. 6, 2008 (査読有).
 9. Y. Hirota, H. Tode, and K. Murakami, ``Distributed RWA Method with shared wavelength converters in Optical Packet Switched Networks ,'' Proceedings of the 2008 Photonics in Switching (PS2008), S-05-4, Sapporo, Japan, Aug.6, 2008(査読有).
 10. H. Tode, ``Performance Improvement Approaches for Feasible Optical Packet/Burst Switching Networks ,'' IEICE PN/ PS2007 Joint Workshop, Towards feasible photonic networks II: concepts, testbeds, field trials, and interoperability testing, A., San Francisco, CA, USA, Aug.19, 2007 (Invited Talk 査読無).
 11. S. Yatsuo, H. Tode, K. Nishimura, M. Usami, and K. Murakami, ``Optical Switching Node with Different Shared Devices for Contention Avoidance and Its Performance ,'' Proceedings of the 2007 IEEE/LEOS Photonics in Switching (PS2007), WA3.4, pp.123-124, San Francisco, CA, USA, Aug.21, 2007(査読有).
6. 研究組織
- (1)研究代表者 戸出 英樹
(TODE HIDEKI)
大阪府立大学・
工学研究科・教授
研究者番号：20243181
 - (2)研究分担者 なし
 - (3)連携研究者 村上 孝三
(MURAKAMI KOSO)
大阪大学・
情報科学研究科・教授
研究者番号：10273731
- 連携研究者 木下 和彦
(KINOSHITA KAZUHIKO)
大阪大学・
情報科学研究科・准教授
研究者番号：10273731