

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24年 5月 1日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700073

研究課題名（和文） 新世代全光網における経路・メディアアクセス制御技術の確立

研究課題名（英文） Routing and medium access control technologies in new generation all-optical networks

研究代表者

福島 行信（FUKUSHIMA YUKINOBU）

岡山大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号：00432625

研究成果の概要（和文）：

本研究では、新世代全光網を対象として、(1)トラフィック変動に対する高い柔軟性および上位層プロトコルとの高い親和性を実現する経路制御技術の確立、および、(2)通信容量を最大化するメディアアクセス制御技術の確立を試みる。数値計算および計算機シミュレーションによる評価の結果、(1)考案した経路制御方式はトラフィック変動に対する柔軟性を確保しつつ従来方式と比較してTCPスループットを最大で27%程度改善すること、および、(2)考案したメディアアクセス制御方式は従来方式と比較して最大で1.94倍程度のスループットを実現することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

In this research, I try to develop (1) a routing technology that is equipped with high robustness against traffic changes and high friendliness with an upper layer protocol, and (2) a medium access control technology that maximizes communication capacity. Numerical calculations and computer simulations clarify that (1) our proposed routing method achieves at a maximum of 27% higher TCP throughput than a conventional method while keeping the robustness against traffic changes, and (2) our proposed medium access control method achieves at a maximum of 1.94 times higher throughput than a conventional method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

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：全光網，経路制御，メディアアクセス制御，柔軟性，TCP親和性

1. 研究開始当初の背景

近年のアクセス網の高速化およびユビキタスネットワーク社会の到来に伴うトラフィックの増加により、インターネット基幹網の大容量

量化が求められている。また、P2P (Peer-to-Peer) ファイル共有やP2Pライブストリーミング等のスケラビリティに優れたP2P型アプ

リケーションの登場に伴い網内の対地間トラフィックの変動量は増大しており、このトラフィック変動に対する柔軟性もまた基幹網に求められている。現在、インターネット基幹網として、データ交換をすべて光領域で実施する全光網の導入が進んでいるが、この全光網におけるトラフィック変動への高い柔軟性および大容量通信を実現するための要素技術はそれぞれ経路制御技術およびメディアアクセス制御技術である。以下、従来技術の現状および問題点を示す。

(1) 経路制御技術の現状および問題点

トラフィック変動に対する高い柔軟性を達成するための従来の経路制御技術として、マルチパスルーチングを採用した経路制御方式 [Kodialam]がある。この方式は最適な分配比率に基づいて対地間トラフィックを複数の経路へ割り当て、各経路の負荷分散を実現することによりトラフィック変動に対する高い柔軟性を実現する。しかし、この方式は各経路の遅延差を考慮していないため、上位層プロトコル(特にTCP)の性能劣化につながると考えられる。これは、TCP は経路間遅延差に起因するパケットの到着順序逆転を輻輳の発生と誤認識し、データ転送レートを低減するためである。TCP スループットは各種アプリケーションのスループットに直接影響を及ぼすため、これを向上させることは必要不可欠である。

(2) メディアアクセス制御技術の現状および問題点

大容量通信を実現するための従来のメディアアクセス制御技術として、トークンパッシング型のメディアアクセス制御方式[Tran]が提案されている。この方式は通信チャンネル上の帯域の公平な割当を実現できる一方で、通信チャンネルがトークン保持ノードにより占有

され、その結果、通信容量が制限されるという問題を抱えていることを代表者は過去の研究において明らかにした。代表者は、通信チャンネル上でトークン保持ノードの上流に位置する各リンクが遊休状態であることに着目し、トークン保持ノードで動的に通信チャンネルを二つに分割し、それぞれの通信チャンネルでデータの並列転送を行うことにより通信容量が向上することを期待している。また、データの並列転送時間が最大化されるように各ノードのトークン保持時間を最適化することでさらなる通信容量の向上が期待できる。

[Kodialam] M. Kodialam, T. V. Lakshman, and S. Sengupta, “Maximum Throughput Routing of Traffic in the Hose Model,” in Proceedings of IEEE INFOCOM 2006, April 2006.

[Tran] N. Tran, N. Vu. D. Tran, and J. Park, “ART: A Dynamic Medium Access Protocol for Closed Light Trail Network,” in Proceedings of ICCE 2008, June 2008.

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の二つである。

- (1) トラフィック変動に対する高い柔軟性および上位層プロトコルとの高い親和性を実現する経路制御技術の確立
- (2) 通信容量を最大化するメディアアクセス制御技術の確立

3. 研究の方法

- (1) トラフィック変動に対する高い柔軟性および上位層プロトコルとの高い親和性を実現する経路制御技術に関する研究

- ① マルチパスルーチングを実施することによりトラフィック変動に対する高い柔軟性を示すロバスターティング方式を対象として、その TCP に対する親和性を調査

する。具体的には、単一送受信ホスト間で用いられる複数経路の間での遅延差および低遅延経路の割合が TCP スループットに及ぼす影響を、ns-2を用いた計算機シミュレーションにより調査する。

- ② 上述した調査の結果に基づき、マルチパスルーティング実施時に同一送受信ホスト間で用いられる候補経路集合として、互いの遅延の差が極力小さい経路を選択することによりパケットの到着順序逆転の発生頻度を低減するような経路制御方式を提案し、その有効性を ns-2 を用いた計算機シミュレーションにより評価する。

(2) 通信容量を最大化するメディアアクセス制御技術の確立に関する研究

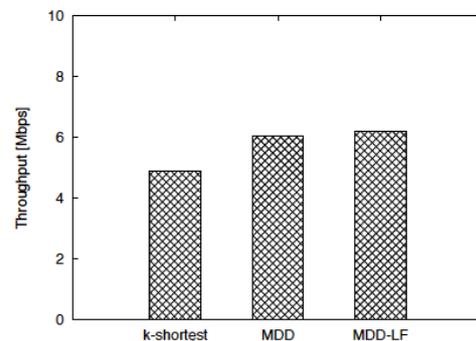
- ① トークンパッシング型メディアアクセス制御方式を採用した光トレイルネットワークを対象として、そのスループットの向上のために、トークン保持ノードにおいて通信チャンネルの分割を実施することにより上流/下流チャンネルでの並列データ転送を可能とするメディアアクセス制御方式を提案する。
- ② 提案方式のスループットを最大化するために、提案方式を採用した際のトレイル上の各ノードのトークン保持時間を最適化する問題(トークン保持時間設定問題)を線形計画問題として定式化し、それを解くことにより最適なトークン保持時間およびスループットを導出する。
- ③ さらにスループットの向上のため、提案方式に対して、下流トークン保持ノードだけでなく上流トークン保持ノードにおいてもトレイル分割を実施するように拡張を施す。拡張した提案方式(以下、拡張方式)の有効性を数値計算により評価する。

4. 研究成果

- (1) トラフィック変動に対する高い柔軟性および上位層プロトコルとの高い親和性を実現する経路制御技術に関する研究

ns-2を用いた計算機シミュレーションにより提案方式(MDDおよびMDD-LF)と従来方式(k-shortest)のTCPスループットを比較した結果を以下に示す。MDDは各ノードペアの候補経路集合として互いの伝搬遅延の差が極

力小さい経路を選択した上で、最悪時リンク利用率が最小化されるように各候補経路へのトラフィック分配比率を決定する。MDD-LFはMDDと同様の手順で各ノードペアの候補経路集合を選択後、パケットの到着順序逆転をさらに抑制するために、伝搬遅延が最小である候補経路へのトラフィック分配比率に対して上限を設定した上で、最悪時リンク利用率が最小化されるように各候補経路へのトラフィック分配比率を決定する。k-shortestは各ノードペアの候補経路としてホップ数昇順に上位k本の経路を選択した上で、最悪時リンク利用率が最小化されるように各候補経路への分配比率を決定する。ここではネットワークモデルとしてNSFNETを用い、各ノードペアに対して1本のTCPコネクションを実施した上で、各コネクション上で10 Mbpsのデータ転送を試みている。

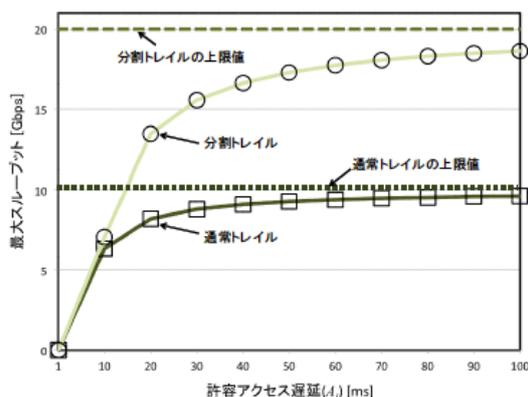


図より、k-shortestと比較して、MDDおよびMDD-LFはそれぞれ22%および27%高いTCPスループットを実現しており、これらの提案方式はTCPに対する親和性が高いといえる。

- (2) 通信容量を最大化するメディアアクセス制御技術に関する研究

提案方式を用いたトレイル(分割トレイル)と通常トレイルの最大スループットを以下に示す。これらの最大スループットは、線形計

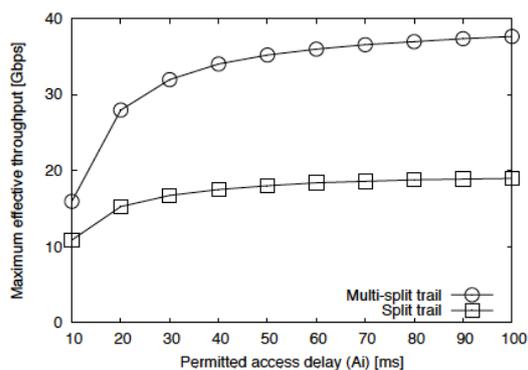
画問題として定式化されたトークン保持時間設定問題を解くことにより導出する。いずれの問題に対しても数理計画ソフトウェア NUOPTに含まれるシンプレックス法を適用し、解を導出した。トラフィックパターンとしては、隣接ノード間のみで通信を行うようなパターンを用いた。



分割トレイル、通常トレイルともに各送信ノードの許容アクセス遅延 (A_i) が増加するにつれて最大スループットが向上する。これは、 A_i の増加に伴い1ラウンド時間における各送信ノードの第1トークン保持時間が増加し、その結果、1ラウンド時間においてトークン受け渡しオーバーヘッド時間が占める割合が減少するためである。

A_i が100ms のときの分割トレイル、通常トレイルの最大スループットはそれぞれ18.6 Gbps, 9.6 Gbps であり、前者は後者のおよそ1.94 倍の性能を示す。このことから、提案方式はスループットを向上できていることがわかる。

次に、さらなるスループットの向上のため、提案方式に対して、下流トークン保持ノードだけでなく上流トークン保持ノードにおいてもトレイル分割を実施するように拡張を施した方式(Multi-split trail)と従来の提案方式(Split trail)とを比較した結果を以下に示す。



従来の提案方式ではトレイルの分割数が2に限定されているのに対して、拡張方式ではその数が最大で4に増えており、より多数のトレイルを用いてデータを並列転送できることから、拡張方式は従来の提案方式と比較して最大で1.98倍程度のスループットを実現できることがわかる。

今後は、インターネットの重要課題の一つとして挙げられている省電力化を実現できるようにトラフィックエンジニアリング技術の確立に取り組む予定である。

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1件)

- ① Wenjie Chen, Yukinobu Fukushima and Tokumi Yokohira, "An Architecture and a MAC Protocol for Throughput Improvement in Light Trail Networks," 査読有, to be published at IEICE Transactions on Communications, 2012.

[学会発表] (計5件)

- ① 松村隆史, 福島行信, 西田裕一, 横平徳美, マルチパスルーチングにおけるTCPの性能評価, 電子情報通信学会2010年ソサイエティ大会, 2010年9月, 大阪府立大学.
- ② 陳文傑, 福島行信, 横平徳美, 分割型光トレイルネットワークにおけるトークン

保持時間の最適化, 電子情報通信学会技術研究報告(NS2010-138), 2010年12月, 岡山大学.

- ③ Wenjie Chen, Yukinobu Fukushima, Takashi Matsumura, Yuichi Nishida and Tokumi Yokohira, "Performance Evaluation of TCP over Multiple Paths in Fixed Robust Routing," IEEE CQR Workshop, 2011年5月, アメリカ ネーブ ルズ.
- ④ Wenjie Chen, Yukinobu Fukushima and Tokumi Yokohira, "Optimization of Token Holding Times in Split Light Trail Networks," IEEE Globecom, 2011年12月, アメリカ ヒューストン.
- ⑤ 福島行信, 菊本大志, 陳文傑, 横平徳美, 光トレイルネットワークにおけるトレイル多重分割方式, 電子情報通信学会技術研究報告(NS2011-261), 2012年3月, 宮崎シーガイア.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福島 行信 (FUKUSHIMA YUKINOBU)
岡山大学・大学院自然科学研究科・助教
研究者番号: 00432625

(2) 研究分担者

該当無し

(3) 連携研究者

該当無し