

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19760260  
 研究課題名 (和文) 有線回線と無線回線を考慮した超高速ネットワークに対する通信制御技術の開発  
 研究課題名 (英文) A study on congestion control for high speed networks using wired links and wireless links  
 研究代表者  
 小畑 博靖 (OBATA HIROYASU)  
 広島市立大学・大学院情報科学研究科・助教  
 研究者番号：30364110

## 研究成果の概要：

ギガビットを超える高速な有線回線および無線回線を利用したネットワークにおいて、大容量データを高速に送信する基礎技術の検討を行った。特に本研究では、インターネットにおいてデータ送信速度を制御する TCP (Transmission Control Protocol) 技術に着目し、高速な有線回線および無線回線に対応できる高速 TCP 技術の提案を行い、その効果を確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	800,000	0	800,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,700,000	270,000	1,970,000

## 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：超高速ネットワーク、TCP 輻輳制御、有線回線、無線回線、コネクション分割、スループット確保

## 1. 研究開始当初の背景

WDM (波長分割多重) に代表される光伝送技術の発展により、広域 IP ネットワークの高速化が急激に進んでいる。また、スイッチやパソコン用のネットワークインタフェースカードも 10Gbps に対応したものが登場しており、エンドツーエンドにおいてもギガビットを超える高速データ通信が可能となりつつある。

さらに、衛星回線などの無線回線の高速化も有線ネットワークと同様に進んでいる。例えば、JAXA (宇宙航空開発研究機構) と NICT

(情報通信研究機構) により開発された、最大 1.2Gbps の帯域を持つ超高速インターネット衛星 WINDS (Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite) がある (この WINDS は、平成 20 年 2 月に打ち上げられた)。特に衛星回線は近年多発する大規模な災害に対する頑強性や、上空の衛星が見えさえすればどんな所からでも通信できる広域性等の特徴を持つため、「誰でも、いつでも、どこからでも」情報を入手できるユビキタスネットワークを構築するための重要な要素として認識され

ている。

以上に挙げた高速な有線回線と無線回線を利用することで、今までの回線速度では実現できなかったエンドツーエンドでの高度な通信サービスが可能となると予想される。例えば、無圧縮のハイビジョン動画データの双方向伝送や、災害情報やトレーディング情報等の緊急・重要データ送信のためのスループット保証等が考えられる。また、無線回線を利用するため、どのような場所からでもこのような高度通信サービスを受けることができる予想される。

しかしながら、現在、データ転送で利用される一般的なトランスポートプロトコル（TCP 輻輳制御方式）はギガビットを超える有線、無線ネットワークにおいて十分な性能を発揮できないことが報告されている。そのため、近年、ギガビットを超える高速ネットワークに対応した TCP 輻輳制御方式の開発が国内外において盛んに行われている。しかしながら、これらのほとんどが有線ネットワークを対象としており、衛星回線のような高速無線ネットワークについての検討はあまり行われていない。

一方、申請者はこれまでに、高速衛星回線に適した TCP 輻輳制御方式（TCP-STAR）を開発し、得られた成果を学術論文誌で発表している。また、TCP-STAR は特許出願済みである。そこで、申請者が開発した高速衛星回線用の TCP 輻輳制御方式を高速有線ネットワークにも適用できるように改良することで、高速有線ネットワークと高速無線ネットワークが混在するネットワーク環境において非常に高速なデータ転送が可能になると考えられる。さらに、ニーズの異種性と状況変動に対する適応性を満たし異種システムを共存させる技術であるアシュアランス技術を輻輳制御方式へ導入することで、トランスポートプロトコルによる緊急・重要データ転送に必要なスループット保証が可能になると予想される。

## 2. 研究の目的

先ず、有線回線と無線回線が混在する高速ネットワークにおいて、ハイビジョン動画データなどの大容量データを高速に送信可能にする新たなネットワーク制御技術の開発を行う。特に、ネットワークアーキテクチャのトランスポート層に注目して、ギガビットを超える高速ネットワークに対する通信制御方式の開発を目指す。次に、確実な緊急・重要データの送信を保証する新たなネットワーク制御技術の開発を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) ギガビットを超える高速有線回線に適した TCP 輻輳制御方式の検討

申請者は衛星回線に適した TCP 輻輳制御方式として TCP-STAR を提案している。TCP-STAR の機能を利用するとともに、現有の高速有線回線向けの輻輳制御方式を応用することで、ギガビットを超える高速な有線回線に対応可能な TCP 輻輳制御方式の検討を行う。

### (2) コネクション分割ゲートウェイの検討

(1) で検討した技術と TCP-STAR の技術を利用して、ギガビットを超える高速有線回線と高速無線回線が混在するネットワークにおいて、高速かつ効率的なデータ通信を可能にするコネクション分割ゲートウェイの導入を検討する。また、提案方式の評価はネットワークシミュレータ ns2 を利用して行う。

### (3) スループット保証を可能にするデータ転送制御技術の検討

(1) に組み合わせる技術として、緊急・重要データの送信で必要となるスループット保証をトランスポート層の制御で実現する技術の検討を行う。具体的に、ある限られた時間内でスループットを確保するために、受信側におけるデータ受信状況を送信側にフィードバックさせ、これを基に送出レートを決定することを検討する。また、ns2 を利用して提案方式の評価を行う。

### (4) 緊急・重要通信との共存を考慮した実時間アプリケーション用輻輳制御方式の検討

有線回線と無線回線が存在するような環境において、緊急・重要通信のフローとの共存が可能な実時間アプリケーション用の輻輳制御方式の検討を行う。具体的に、実時間アプリケーション向け輻輳制御方式として提案されている DCCP と、TCP 輻輳制御方式だけで QoS 制御を実現する TCP-MB や TCP-LP の機構を組み合わせることを検討する。また、提案方式をネットワークシミュレータ ns2 上に実装し、性能評価実験を行う。

### (5) 実機を用いた提案方式の評価試験

実世界のネットワークではシミュレーションのような理想的な環境で通信を行えることは少なく、実装による性能評価は不可欠である。そこで、提案方式の UNIX 系 OS への実装を行う。提案方式の実装後、テストベット環境を構築し提案方式の動作確認を行う。テストベットはより実ネットワークに近い環境を考慮するため、現有するネットワークエミュレータを用いて構築する。

(6) 超高速インターネット衛星WINDSを利用した実験

研究代表者らが提案した実験計画がWINDSのアプリケーション利用実験計画プロジェクトの一つとして採択されているため、WINDSを用いた提案技術の評価実験の準備を行う。また、平成20年度から実際にWINDSを利用した実験が可能となるため、実験が可能になり次第実施する。

#### 4. 研究成果

(1) 研究代表者が提案した衛星回線に適したTCP-STARと現有の高速有線回線向けの輻輳制御方式を応用して、ギガビットを超える高速有線回線に対応可能なTCP輻輳制御方式の検討を行った。その結果、ロスベースの制御と遅延ベースの制御を組み合わせることで効果的に高速転送ができる可能性があることが分かった。

(2) 上記の(1)で検討した結果とTCP-STARの技術を利用して、ギガビットを超える高速有線回線と高速衛星回線が混在するネットワークにおいて、高速かつ効率的なデータ通信を可能にするコネクション分割機構を提案した。さらに、提案方式では効率的なデータ転送を行うために、パケットロス率に応じてパケット長と再送方法を変更する新たな機能を導入した。提案方式をネットワークシミュレータns2により評価した結果、従来方式よりもスループットが向上することを確認した。さらに、提案方式は従来方式よりも冗長データ量を大幅に減少できることが分かった。本技術は、送受信端末を変更する必要が無く、有線回線と衛星回線の境界に本技術を適用した機器を設置するだけで高速通信が可能となる。従って、本技術を利用すれば、WINDSのような高速衛星回線を用いて、高速回線の設置が困難な地域において高速インターネットサービスを提供できる可能性がある。

(3) 緊急・重要データの送信で必要となる安定したスループットの確保をTCPの輻輳制御で実現する技術を提案した。提案方式では、重度の輻輳を回避するために、スループットの確保が難しい場合には目標帯域を一時的に減らすことで、安定したスループットの確保を行っている。ns2を利用して提案方式の評価を行った結果、有線ネットワークにおいて、従来方式よりも安定したスループットが得られることが分かった。

(4) DCCP輻輳制御方式を利用して、リアルタイムアプリケーションのためのスループット確保技術の検討を行った。提案方式は、

DCCP輻輳制御と従来の帯域確保TCPの制御を組み合わせることで実現した。ns2によるシミュレーション評価を行った結果、Webトラフィックのような生存期間が短いTCPフローが混在する環境において、提案方式はアプリケーションが要求するスループットを確保しつつ、UDPよりもTCPとの親和性が高いことを確認した。

(5) 有線回線と無線回線の1つである無線LANを利用したネットワークにおいて帯域確保を目指したTCP輻輳制御方式の検討を行った。無線LANは有線LANとは異なり往復遅延時間の変動が激しい。この点を考慮して無線LANを含むネットワークにおいて帯域確保が可能となる新たなスロースタートしきい値設定方式を提案した。ns2を利用してシミュレーションによる評価を行った結果、従来方式よりもある一定の帯域が確保できることが明らかとなった。

(6) 研究代表者が提案した衛星回線に適したTCP輻輳制御方式TCP-STARは衛星回線において高速通信が可能であるが、従来TCPとの親和性に問題があることがこれまでの研究で明らかとなっていた。そこで、衛星回線と地上回線が混在する高速ネットワークにおいて、高速性を保ちつつ、従来TCPとの親和性を向上するTCP輻輳制御方式の提案を行った。提案方式は、TCP-STARと有線回線において高いTCP親和性が得られるTCP-Fusionの制御を応用することで実現した。ns2を利用してシミュレーション評価を行った結果、提案方式はTCP-STARよりも大幅にTCP親和性が向上していることが分かった。

(6) 研究代表者が提案しているTCP-STARをLinux OSに導入し、ハードウェアネットワークエミュレータを利用した実験ネットワークにおいて、TCP-STARの動作を確認した。次に、超高速インターネット衛星WINDSを利用して、TCP-STARの基本的性能の評価を行った。その結果、従来TCPと比べ高いスループットが得られることを確認した。しかし、データ送出方法に関して課題があることが明らかとなった。

#### 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 4 件)

- ① 赤瀬 謙太郎, 小畑 博靖, 石田 賢治, "安定したスループットの確保を目指すTCP輻輳制御方式," 電子情報通信学会論文誌(B), Vol.J92-B, No.4, pp.624-632,

April 2009.

- ② 平 和弘, 小畑 博靖, 石田 賢治, "高速衛星インターネットに適したコネクション分割機構TCP-gSTAR," 電子情報通信学会 論文誌 (B), Vol.J91-B, No.12, pp.1587-1599, December 2008.
- ③ 花崎 翔太, 小畑 博靖, 石田 賢治, "アドホックネットワークにおけるTCPのスループット向上を目指したホップ数分割方式," 電子情報通信学会 論文誌(B), Vol.J91-B, No.1, pp.118-122, January 2008.
- ④ Hiroyasu Obata, Kentaro Akase, and Kenji Ishida, "A TCP Congestion Control Method for Securing Stable Throughput," Proc. 7th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT2008), pp. 220-225, April 2008.

[学会発表] (計 8 件)

- ① 小畑 博靖, 石田 賢治, "スループットの確保を考慮したDCCP輻輳制御方式," 信学技報, NS2009-19, pp. 13-18, May 2009.
- ② 西本 慎吾, 小畑 博靖, 石田 賢治, "衛星回線における親和性の向上を目指したTCP輻輳制御方式の提案," 電子情報通信学会 2009 年総合大会, BS-5-5, March 2009.
- ③ 赤瀬 謙太郎, 村瀬 勉, 平野由美, 石田 賢治, 小畑 博靖, "無線LAN環境における帯域確保を目指したTCP輻輳制御方式," 信学技報, IN2008-86, pp. 1-6, December 2008.
- ④ 赤瀬 謙太郎, 小畑 博靖, 石田 賢治, "TCP輻輳制御方式を利用したスループット確保方式," 第10回 IEEE 広島支部学生シンポジウム 論文集, pp. 5-8, November 2008.
- ⑤ 石田 賢治, 小畑 博靖, "超高速インターネット衛星WINDSおよび高速TCP技術," 日本学術振興会 光ネットワークシステム技術第171委員会 第30回研究会, pp. 1-6, January 2008.
- ⑥ 平 和弘, 小畑 博靖, 石田 賢治, "高速衛星回線に適したTCP-STARを利用したコネクション分割機構," 信学技報, IN2007-128, pp. 53-58, January 2008.

- ⑦ Hiroyasu Obata and Kenji Ishida "Performance Evaluation of TCP Congestion Control Method for High-speed Satellite Internet," Expert's Meeting for the smooth Enforcement of the Satellite Application Experiment using WINDS, pp. 71-75, December 2007.
- ⑧ 小畑 博靖, 赤瀬 謙太郎, 石田 賢治, "安定したスループットの確保を目指したTCP輻輳制御方式," 信学技報, IN2007-41, pp. 85-90, July 2007.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小畑 博靖 (OBATA HIROYASU)  
広島市立大学・大学院・情報科学研究科・助教  
研究者番号：30364110

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし