

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4月30日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500066

研究課題名（和文） 広帯域マルチチャンネルシステムにおける多元トラフィックの総合制御に関する研究

研究課題名（英文） Integrative traffic control for broadband communication system with multiple channels

研究代表者

陳 春祥（CHEN CHUN-XIANG）

県立広島大学・経営情報学部・教授

研究者番号：90264944

研究成果の概要（和文）：

本研究では、マルチチャンネルを有する広帯域ネットワークシステムにおいて、マルチメディアによる合成トラフィックおよび TCP の性能に応じて、マルチチャンネルの状態変化および各チャンネルの状態を配慮した効率のよい高精細通信方式を確立することを目指した。研究期間中にマルチチャンネルの状態変化モデルおよびシステムのモデル化を行い、チャンネルの状態を配慮した高精細誤り制御方式を提案した。提案方式に対する理論的解析およびシミュレーションによる性能評価を行い、提案方式の有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

This research aims to propose a framework of the integrative traffic control for broadband communication system with multiple channels. We investigated the integrated traffic of multiple media and the performances of TCP (transmission control protocol) in the communication system with large bandwidth-delay product. Based on the preceding study, we proposed two dynamic error control schemes under the consideration of the states of the channels. The performances of the proposed schemes have been evaluated by the analytic method and computer simulation. We obtained the closed-form expression of the throughput efficiency at the case of two channels. Compared with the existing scheme, the effectiveness of the proposed schemes is shown by the numerical results.

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	700,000	210,000	910,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：トランスポート技術、通信方式

1. 研究開始当初の背景

情報通信技術の発達に伴い、通信事業者の基幹ネットワーク、エンドユーザ側双方にお

いて、通信チャンネルの広帯域化が実現され、マルチチャンネル環境による利用も普及してきている。しかし、広帯域ネットワークに

において、その性能を効率よく活かしきれない場合がある。これまでの TCP スロースタートおよびウィンドウサイズによるトラフィック制御機構では、小さなウィンドウサイズから開始して徐々にウィンドウサイズを拡大していく仕組みであるため、広帯域と遅延の大きい（つまり長距離）ネットワーク（一部の文献では帯域と遅延の積（BDP）として表現している）環境においては、通信回線の帯域上限までのネットワークスループットが得られなかったり、スループットが上昇するまでの時間がかかる場合がある。BDP の大きいネットワークにおいては、トラフィック制御はいまだに 1 つのオープン課題とされている。また、無線マルチチャンネル通信環境においては、マルチチャンネルの一部チャンネルが不安定で品質が悪い場合に、効率のよい通信ができないといった課題が残っている。

2. 研究の目的

本研究は、広帯域マルチチャンネルをもつ通信システムにおいて複数チャンネルのトラフィックを合成した場合を想定し、各チャンネルの安定性が異なるような環境も含め、マルチチャンネルの状態変化及び各チャンネルの状態に応じた適切なトラフィック制御を行う方式を提案することを目的とする。

まず無線ネットワーク環境を対象として実際のマルチチャンネル環境の特性の測定を行い、トラフィックの特性を評価・分析する。続いて有線ネットワーク、無線ネットワーク双方の環境を想定して理論解析およびコンピュータシミュレーションを行う。その知見をもとに、高いスループットを得ながら滑らかな（ジッターの小さい）効率のよい通信方式を提案することを目指す。

3. 研究の方法

本研究の初年度では、インターネットのマルチメディアトラフィックの合成やバックボーンネットワークのトラフィック分布において、ネットワークシミュレータを用いて再確認を行い、ネットワークの往復遅延が長く、およびネットワークの帯域が大きい場合（いわゆる、長距離、広帯域のネットワーク環境）において、TCP のウィンドウサイズが TCP の特性およびネットワークの合成トラフィックに与える影響を調べる。そして、広帯域・マルチチャンネル環境において、トラフィック制御、誤り制御に関する新しい方式を検討する。

2 年度以降では、IEEE 802.11n 規格の高速

無線ネットワーク環境を構築し、実ネットワーク環境での TCP の性能およびトラフィックを実測し、大規模な高速無線ネットワークを構築する際に参考となる基礎データを収集する。

シミュレーション結果および実ネットワーク環境でのトラフィック測定を踏まえ、有線か無線を問わず、広帯域マルチチャンネルシステムにおいて、チャンネルの状態を考慮した高精細のトラフィック制御方式を提案する。提案方式に対してシステムの性能解析を行う。性能解析においてはシステムのモデル化の精度、チャンネルの状態変化モデルおよびチャンネルの本数等に強く依存するため、解析は 2 本のチャンネルに限定して行う。そして、チャンネルの本数を 2 本以上に拡大し、シミュレーションで提案方式の性能評価を行い、提案方式の有効性を示す。

4. 研究成果

研究期間を通して、広帯域・マルチチャンネル通信システムにおいて、多元トラフィックによる TCP の特性を再確認し、ダイナミックな制御方式を提案した。解析およびシミュレーションによりいくつかの結果を得た。

① 広帯域ネットワーク環境を取り巻く TCP の輻輳制御と効率性について考察を行った。最も普及している TCP Reno についてはネットワークシミュレータを利用して TCP のスループットとエンド間の往復遅延、受信バッファサイズの関係を検証した。長距離・広帯域の環境で受信ウィンドウサイズの小さいクライアントにおいて、受信ウィンドウサイズが TCP スループットの足かせになりかねないことがわかった。更に新しい技術の現状とクライアント OS への実装状況について考察した。TCP の効率性と輻輳制御において、様々な新技術が提案されている中、既存方式との互換性、そして TCP コネクション間の公平性などまだ問題が多いが、本研究は今後ネットワークの運用・管理や TCP のパフォーマンスチューニングに寄与するものと考えられる。

② マルチチャンネルを有する通信システムを対象に、複数のチャンネルを組み合わせることで効率的高精細の通信方式の提案および提案方式に対する性能評価を行った。従来のマルチチャンネル通信システムにおいては、実装制御が簡単にできるようにするため、個々のデータブロック（パケットという）がそれぞれのチャンネルに割り当てられ、送信されたら、そのパケットが受信側で正しく受信されるまで、同一チャンネルで再送信される

という方式で動作する（これをスタティックパケット割当法という）。一方、送信側から送出されたパケットがチャンネルを伝搬する際に、データビットエラーが発生する可能性がある。チャンネルの状態がよいときは、エラーが発生する可能性（確率）が低いが、チャンネルの状態が悪いときは、エラーが発生する確率が高くなる。特に無線チャンネルの状態は時間とともに変化する。そこで、チャンネルの状態を考慮し、チャンネルの状態変化を予測しながら、パケットをチャンネルへの割り当て方をダイナミックに行う方式（Dynamic 割当法という）を提案した。チャンネルの状態予測では、チャンネルの状態を2状態のマルコフ連鎖としてモデル化し予測する方法（Dynamic ARQ-I）と単純に受信側からの応答確認を用いて予測する方法（Dynamic ARQ-II）の2つの方法を考案した。そして、数理的な解析およびシミュレーションを用いて提案方式に対する性能評価を行った。

解析においてはチャンネルの数とチャンネルの状態数の増加につれて、解析が急激に困難となるため、2チャンネルとチャンネルの状態を2状態のマルコフ連鎖に限定してシステムのスループットの厳密解析を行った。以下の陽な式が得られた。

$$\rho = \frac{2\pi_{00} + (1 + \delta^{r+1})\pi_{01}}{(r+1) - r\pi_{00}}$$

ただし、 ρ は提案方式のシステムスループットであり、 r は往復遅延で、 δ はディケーフクタである（詳細は研究発表①を参照されたい）。

近年、通信システムの複雑化、高機能化にともない、システムの性能解析が非常に困難になってきており、本研究で導入した手法が1つの解析手法を示した。数値例を用いて提案方式の有効性が確認された。図1に従来の方式に対して、提案方式を用いた場合のシステムスループットの改善率の一例を示す。

② チャンネルの本数 n が3本以上になると、性能解析は非常に困難になる。そこで、本研究では、 $n \geq 3$ の時、シミュレーションを用いて、チャンネルの数、往復伝搬遅延、チャンネルの状態パターン（パケットの誤りパターン）およびチャンネルの状態変化などのパラメータを変化させてシステム特性（システムのスループット、受信側でのパケット順序制御時間、順序制御バッファの長さなど）を調べた。さらにシミュレーションでは、二つの制御方式（Dynamic ARQ-I および

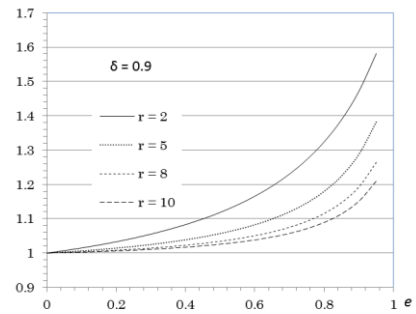


図1 スループット改善率

Dynamic ARQ-II) を実装した。Dynamic ARQ-I では、送信側は複数のチャンネルの過去の状態を学習しながら、チャンネルの将来の状態を予測して、データパケットを小さい番号順に品質のよいチャンネルに割り当てて伝送する。一方、Dynamic ARQ-II 方式では、送信側の負荷を軽減するため、チャンネルの状態予測において、受信側からの応答確認信号をベースにとっても単純な手法を用いた。

Dynamic ARQ-I と Dynamic ARQ-II を選択再送誤り制御方式と組み合わせて応用した場合、システムのスループットが同じであるが、パケットの送信遅延時間や順序制御バッファ長などの特性においては、Dynamic ARQ-I のほうが一番優れていることが分かった。また、Dynamic ARQ-II では単純に応答確認を利用してチャンネルの状態を予測するため、Dynamic ARQ-I に比べてシステムの諸性能が少々劣るものの、チャンネルの状態変化が極端な場合を除けば、従来のスタティック方式に対して良好なシステム特性が得られていることが分かった。図2にその一例を示めす。

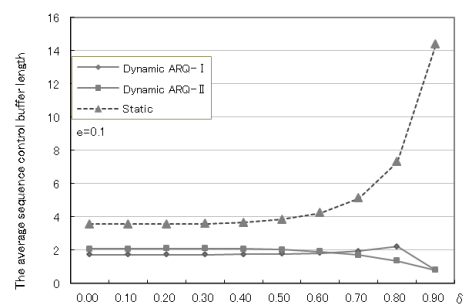


図2 順序制御バッファのキュー長

以上、研究期間中で得られた成果であるが、今後最終年度の成果をまとめて発表する予定である。

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 3 件)

- ① C.-X. Chen, K. Nagaoka and M. Komatsu: "Adaptive Go-Back-N ARQ Protocol over Two Parallel Channels with Slow State Transition," IEICE TRANS. on FUNDAMENTALS, Vol. E94-A, No.12, pp.2866-2873, Dec. 2011 (査読有)
DOI: 10.1587/transfun.E94.A.2866
- ② 陳 春祥, 佐々木 宣介: "広帯域ネットワーク環境におけるTCP性能の一考察", 県立広島大学経営情報学部論集, No. 3, pp.183-194, Feb. 2011。
(<http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/handle/harp/8073>)
- ③ 陳 春祥, 佐々木 宣介: "IEEE802.11n無線LANの電波伝搬特性とスループットの比較", 県立広島大学経営情報学部論集, No. 4, pp.13-22, Feb. 2012。
(<http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/bitstream/harp/10249/5/keijoron04013.pdf>)

[学会発表] (計 1 件)

- ④ 松重 敬直, 陳 春祥: "低消費電力マイクロサーバーの可用性に関する一考察", 2011年度, 電気情報関連学会中国支部連合大会論文集, pp.253-254, 2011年10月。

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

陳 春祥 (CHEN CHUN-XIANG)
県立広島大学・経営情報学部・教授
研究者番号: 90264944

(2) 研究分担者

佐々木 宣介 (SASAKI NOBUSUKE)
県立広島大学・経営情報学部・准教授
研究者番号: 20326424

(3) 連携研究者

該当なし