

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700071

研究課題名(和文)省電力機能を有するネットワークにおけるトランスポートプロトコルの通信特性調査

研究課題名(英文)Performance Evaluation of the TCP Under Energy Aware Network

研究代表者

福田 豊 (Fukuda, Yutaka)

九州工業大学・情報科学センター・助教

研究者番号：90372763

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：近年，消費電力削減のためトラヒック特性に応じてネットワークの転送性能を動的に制御する手法の研究開発が進められている．しかしこれらの手法が端末間のフロー制御を担うトランスポートプロトコルの通信性能に与える影響については明らかにされていない．そこで本課題では，実施者が先行研究で開発した，負荷に応じてスイッチ間の通信速度を動的に制御可能な実験システムを用い，既存のTCPを含む様々なトランスポートプロトコルの通信性能をシミュレーション実験により検証して動的な転送性能制御が端末間のフロー制御に及ぼす影響を調査し，良好な通信特性を獲得するために必要な要件を検討した．

研究成果の概要(英文)：Energy saving technologies are currently of significant concern in the Internet with the ever increasing traffic demand. Many studies have been conducted, but in general, they share one basic idea: dynamically controlling the transmission capacity to save power in response to the amount of arriving traffic. Thus, a flow will be transferred with a power-aware switch equipped with a dynamic transmission control scheme in the future Internet. We investigate how this dynamic transmission control affects the performance of the transmission control protocol by using our dynamic LACP scheme. In this scheme, the number of active links between switches is dynamically changed in order to reduce power consumption on the basis of changes in traffic volume. From simulation result, we concluded that the loss and delay-based congestion control approach can effectively adapt to the dynamic transmission control in a network, which results in high throughput performance.

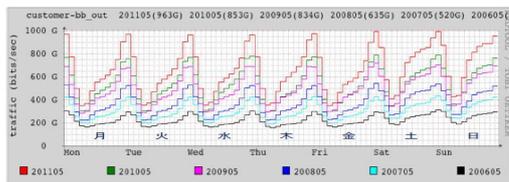
研究分野：総合領域

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：グリーン 省電力

## 1. 研究開始当初の背景

インターネットに接続する手段はこれまで ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) や FTTH (Fiber To The Home) などの有線が中心であったが、近年では無線 LAN や 3G/4G 携帯電話網を利用した無線通信が広く普及し、提供されるサービスも生活により密着して多様化、深層化している。その結果多種多様な情報がインターネット上で提供されつつあり、その流通トラフィックは増加し続けている。例えば総務省が 2011 年 9 月に発表した「我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算」では、2011 年 5 月時点の総ダウンロードトラフィックは推定で約 1.5 Tb/s であり、2006 年 5 月からの 3 年で約 1.9 倍 (89.6 %増) 増加したと報告している[1]。特に、この報告に協力した ISP 6 社のダウンロードトラフィックの時間帯別の変化を下図で見てみると、2006 年 5 月ではダウンロードトラフィックの底値とピーク値の比は 1.875 (約 160 Gb/s から約 300 Gb/s) であったのが、2011 年 5 月には 2.4 倍までに拡大している (約 400 Gb/s から約 960 Gb/s) ことがわかる (アップロードトラフィックも同様の傾向を示す)。このようにインターネットが社会基盤としての重要性を増すにつれ、そのトラフィックは増大し続けており、特に社会生活との関連性が高まっているため一日の中でのトラフィックの変化が大きく、状況によってはごく短い間に大きく変動する可能性があることがわかる。



一方、通信網を維持する ISP 各社は顧客満足度を高めるために、このピーク値を考慮に入れて自社ネットワークを構築・運用しなければならないが、導入したネットワーク機器が常にピーク時の転送性能を維持するように稼働すると、トラフィック流量が少ない底値付近では電力を無駄に消費することになる。底値とピーク値の差は今後も拡大していくと予想されるため、こうしたトラフィックの変化を考慮に入れた省電力化のためのネットワーク機構が必要となっている。そのための取り組みとして、トラフィック特性に応じてネットワーク内の経路や中継機器の転送性能などを制御することで消費電力を削減する手法の検討が進められている。例えば Earth Project (EU FP7 project, 2010 年 ~ 2012 年, 総額 16.6 億円)[2]では、有線網側でトラフィック特性に応じた制御手法を導入することで、次世代携帯電話網の省電力化を図ることを検討している。ほかにも LAN 規格に関する標準化を行う IEEE 802.3 委員会は、Energy Efficient Ethernet Task Force を設置し、

LAN カードでトラフィックに応じて通信速度を変更する機構の標準化を議論している[3]。

応募者もネットワークの省電力機能として、比較的安価なスイッチにおける省電力化手法について検討を行い、トラフィックが流れない期間にネットワークインターフェースを一定の待機時間後にスリープ状態に遷移させることで、過度な状態遷移を防ぎながらも省電力化を達成できることを解析的に明らかにした[4]。また、リンク集約技術により転送容量が増強されたスイッチ間において、変化するトラフィック流量に応じて動的に転送性能を制御することで、省電力化が可能であることを明らかにしている[5]。同様に、国内外の研究者や様々なネットワーク機器ベンダーも機器の転送性能を動的に制御し、低負荷時の消費電力を削減する手法の研究開発を行っている。このようにネットワークの省電力化に向けた研究開発は活発化しており、今後のインターネットではトラフィック特性に応じて転送性能を動的に制御するネットワーク機器が利用されるようになると思われる。しかしながら、こうしたネットワーク内部における動的な転送性能制御が端末間のフロー制御を担うトランスポートプロトコルの通信性能に与える影響については明らかにされていない。

## 参考文献

- [1] 我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算 (総務省 報道資料) [http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01kiban04\\_01000026.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban04_01000026.html), 2011 年 9 月 30 日
- [2] Earth (Energy Aware Radio and neTwork tecHnologies) Project, <http://www.ict-earth.eu/>
- [3] IEEE 802.3az Energy Efficient Ethernet Task Force <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/az/public/index.html>
- [4] H. Tamura, R. Tomihara, Y. Fukuda, K. Kawahara, and Y. Oie, "Energy Saving Scheme with an Extra Active Period for LAN Switches," IEICE Transactions on Communications, Vol.E93-B, No.12, pp. 3542-3554, Dec. 2010.
- [5] Y. Fukuda, T. Ikenaga, and Y. Oie, "Dynamic Transmission Capacity Control Schemes for Power Saving using a Mixture of the History and the Latest Information," 3rd International Workshop on Green Communications In conjunction with the IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM 2010)

## 2. 研究の目的

本課題では、実施者が有する先行研究で開発した負荷に応じてスイッチ間の通信速度

が動的に変化する実験システムを用い、既存の TCP を含む様々なトランスポートプロトコルの通信性能をシミュレーション実験により検証して、動的な転送性能制御が端末間のフロー制御に及ぼす影響を調査し、良好な通信特性を得るために必要な要件を検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 各トランスポートプロトコルのフロー制御手法の調査

初めに Windows や Linux 等、各 OS のトランスポートプロトコルがどのようなフロー制御アルゴリズムを用いているのかを調査した。各 TCP のフロー制御は、ネットワーク内部の推定にセグメント廃棄情報のみを用いるロスベースと、遅延情報のみを用いる遅延ベース、セグメントロス情報と遅延情報の両方を用いるロス+遅延ベースの 3 種類に大きく分類される。本シミュレーションでは、ロスベースのフロー制御手法としては NewReno と Linux で実装されている CUBIC、さらに NewReno をベースに無線環境を考慮して帯域推定を行う Westwood+、また、遅延ベースの TCP Vegas、および、遅延とロスベース双方の情報を用いる CTCP (Compound TCP, Microsoft Windows Vista 以降で採用) を調査対象とした。

#### (2) シミュレーション環境

実施者は LACP (Link Aggregation Control Protocol) を拡張し、負荷に応じてスイッチ間のリンク本数を制御して動的に転送性能を変更できるシミュレーション環境を有している。図 1 にその動作概要を示す。リンク本数を変更する手順としては、まずスイッチが到着トラフィックを計測し、トラフィックの転送に必要なリンク本数を推定する。続いて、スイッチは新たに設定されたリンク本数を LACP DU (Data Unit) パケットにより対向スイッチに通知し、通知に従って、新しいリンク本数で集約リンクを構成する。

この手法では、適切なリンク本数を決定し、適用するために、スループットのピーク値の経験分布を利用している。図 2 に動的転送性能制御手法の到着トラフィック計測、および転送容量の推定方法を示す。まず、1 ミリ秒単位のようなごく短い区間ごとにスループットを計測し、区間ごとにその内のピークスループットを記録する。各制御区間内で記録されたピークスループットから経験分布を作成し、分布の x パーセント値に基づき、次の制御区間におけるパケット転送性能を決定する。決定された転送性能はリンク本数に変換され、LACP DU パケットにより対向スイッチに通知される。その後、新たに決まったリンク本数によりスイッチは論理リンクを再構成し、通信を行う。

実験を行ったシミュレーション環境を図 3

に示す。各端末と動的なリンク本数制御を実施するスイッチ間の接続は 1 Gb/s とし、遅延は 5 msec. とした。スイッチ間の集約リンク本数は 100Mb/s のリンク 8 本とし、動的転送性能制御が有効である場合は、トラフィックに応じて 1 ~ 8 本、つまり 100 Mb/s ~ 800 Mb/s まで転送性能が変化するとした。

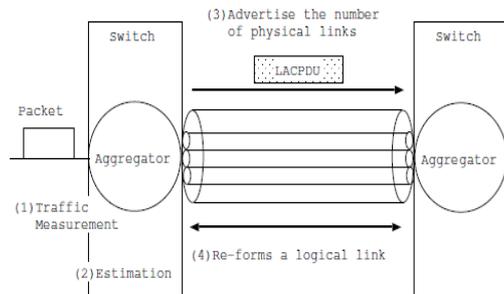


図 1 動的転送制御手法

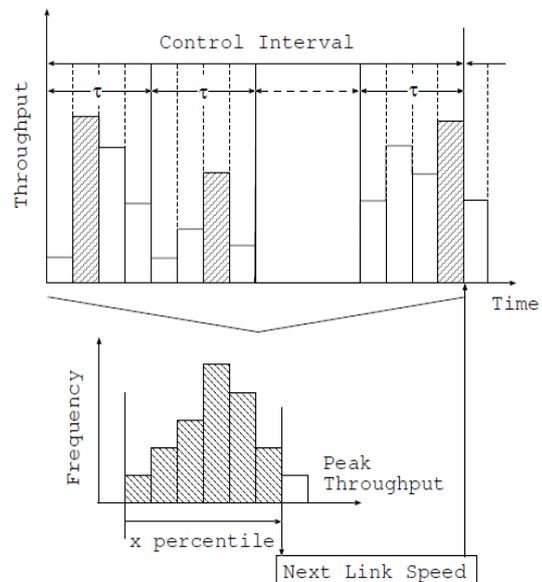


図 2 推定手法

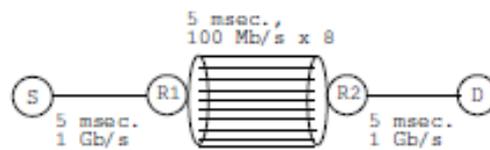


図 3 シミュレーション環境

### 4. 研究成果

初めに動的な転送性能制御を無効にした場合と有効にした場合のスループット特性を評価した。図 4, 5 と表 1 に各 TCP のグッドプットを示す。図 4 と表 1 より、動的な転送性能制御を無効 (集約リンク数が変化せず、常に 8 本) にした場合、CTCP と CUBIC は集約リンクの帯域を効率良く利用して高いグッドプットを得ていることが分かる。その

一方で、動的な転送性能制御を有効（集約リンク数がトラフィックに応じて変化）にした場合、図5と表1から、CTCPのみが高いスループットを達成しており、その他のTCPは転送性能制御が無効である場合と比較してグッドプットが低下していることが分かる。

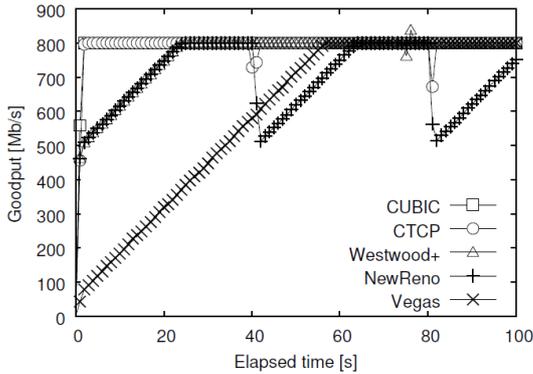


図4 動的制御無

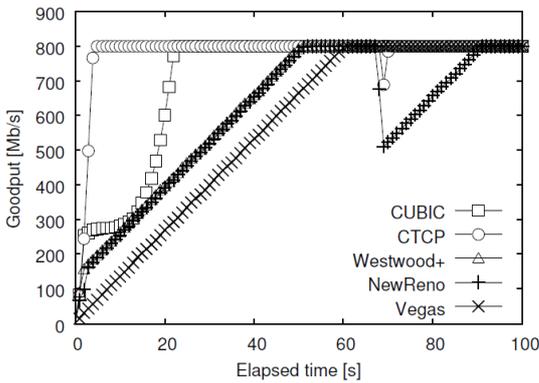


図5 動的制御有

表1 グッドプット

	動的制御無 [Mb/s]	動的制御有 [Mb/s]
CTCP	793.9	782.6
CUBIC	797.6	703.3
Westwood+	763.2	633.4
NewReno	694.9	595.0
Vegas	592.1	564.1

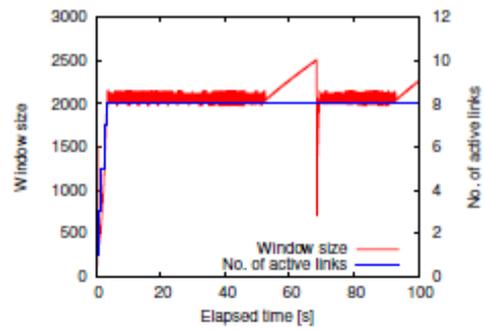
動的な転送性能制御方式が有効である場合に、CTCP以外のトランスポートプロトコルが十分な通信性能を得ることができない理由を調べるため、各フロー制御アルゴリズムの挙動を調査した。CTCP, CUBIC, Westwood+の congestion window size と、集約リンク本数の変化を図6に示す。

図6(a)より、CTCPは稼働リンク本数の増加に応じて直ちにウインドウサイズを増加させていることが分かる。CTCPは遅延とパケット廃棄の情報を用いてフロー制御を行うので、遅延計測より輻輳が生じていないと

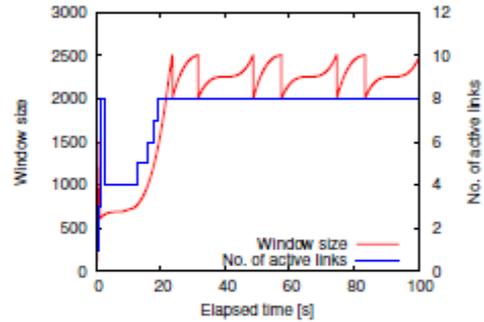
判断した場合はリンク本数の増加に応じて congestion window size を増加させることができ、高いスループットを達成している。

一方、CUBICとWestwood+はパケット廃棄情報を用いたフロー制御を行う。そのため、スロースタートにより通信開始直後に大量のパケット廃棄が生じると、図6(b),(c)から分かるように congestion window size の増加は緩やかになってしまい、高いスループットが得られないことが分かった。

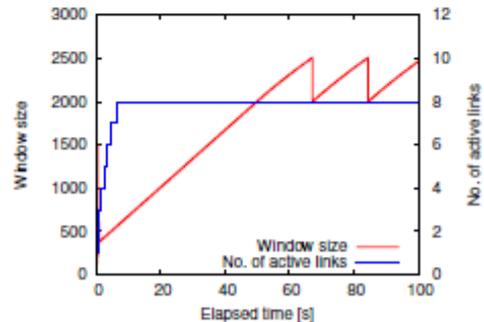
これらの結果より、省電力化を実現するために動的に転送性能が制御されるネットワークでは、従来のパケット廃棄情報だけを活用するフロー制御ではなく、遅延計測による輻輳も検討し、総合的に判断して動的に変化する転送速度に対応するフロー制御手法が必要であることが分かった。



(a) CTCP



(b) CUBIC



(c) Westwood+

図6 congestion window size とリンク本数

## 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)

[学会発表](計 6 件)

Yutaka Fukuda, Yasuaki Yamashita, and Takeshi Ikenaga, Dynamic Transmission Control to Save Power while Considering Communication Quality, The International Conference On Information Networking (ICOIN) 2014, 2014年2月12日、Phuket, Thailand、査読有

福田 豊、坪田慎也、池永全志、省電力化のための動的リンク本数制御機構の実装、電子情報通信学会 2013年総合大会, BS-3-7, 2013年3月21日、岐阜県岐阜市、査読無

山下 泰明、福田 豊、池永 全志、尾家 祐二、長短の履歴情報を用いた省電力化のための動的リンク数制御手法の検討、電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 112, no. 463, NS2012-196, pp. 179-184, 2013年3月7日、沖縄県中頭郡読谷村、査読無

山下 泰明、福田 豊、池永 全志、尾家 祐二、遅延を考慮した省電力化のための動的リンク数制御手法の検討、電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 112, No. 353, IA2012-70, pp. 67-72, 2012年12月14日、広島県広島市、査読無

Yutaka Fukuda, Shigeo Kawamata, Takeshi Ikenaga, and Yuji Oie, Performance Evaluation of the Transmission Control Protocols with the Dynamic Link Control Scheme for Power Saving, The IEEE International Conference on Green Computing and Communications (GreenCom 2012), 2012年11月23日、Besançon, France、査読有

山下 泰明、福田 豊、池永全志、尾家祐二、動的リンク数制御におけるピークトラヒックの偏りを考慮した推定手法の改善、電子情報通信学会 2012年ソサイエティ大会, B-6-61, 2012年9月13日、富山県富山市、査読無

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

福田 豊 (FUKUDA YUTAKA)

九州工業大学・情報科学センター・助教

研究者番号：90372763