

研究種目：若手研究 (B)
研究期間：2009～2010
課題番号：21700081
研究課題名 (和文) ネットワークにおける省電力化を考慮したトランスポートプロトコルの開発
研究課題名 (英文) Transport Protocol for considering power saving with a 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

研究成果の概要 (和文)：ネットワークのトラフィック増加に伴う電力消費量の増大に対応するために、本課題では端末間の流量制御を担当するトランスポートプロトコルを対象とし、スイッチの省電力化機能を考慮した通信制御手法の開発を行った。

研究成果の概要 (英文)：With the growing energy consumption of the Internet, power saving technology in the Internet has become a vital issue. Therefore, my major purpose in this study is to develop a transport protocol for considering power saving with a network.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：ネットワークアーキテクチャ、省電力化

1. 研究開始当初の背景

アクセスネットワークのブロードバンド化や、動画像を中心としたリッチコンテンツの提供により、インターネット上を流通するトラフィック量は飛躍的に増加している。例えば平成19年度版情報通信白書は2007年11月時点で平均800 Gb/s規模のトラフィックが日本国内のインターネット上を流通しており、2004年11月の323.6 Gb/sから3年で約2.5倍増加していることを報告している。

このような急激なトラフィック量の増加は、当然のことながらトラフィックを転送するネットワーク機器での消費電力の増大を招く。例えば M. Gupta らが2003年に発表した“Greening of the Internet” (ACM SIGCOMM 2003) では2000年におけるアメリカのネットワーク機器の電力消費量は6.05TWhであり、この消費電力は原子力発電所のリアクター基の年間発電量に相当すると報告しているが、B. Nordman は2008

年に "Networks, Energy, and Energy Efficiency" の中で、2006 年時の米国におけるネットワーク機器の電力消費量は約 3 倍の 20 TWh まで増加していると報告している。

このようなネットワークにおける電力消費量の増加を受けて、ITU-T は地球温暖化対策における ICT の利活用とともに、ICT 分野での電力消費をどのように削減できるかを議論するシンポジウムを 2008 年に京都とロンドンにおいて開催している (ITU-T Symposia on ICTs and Climate Change)。日本国内においても、総務省が地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会を開催し、2012 年の通信分野の電力消費量を 2006 年度の国内総電力使用量 8,890 億 Kwh の 6.4% に相当する 570 億 kWh と推定し、その電力消費量の内訳について、ルータ及び LAN スイッチが合わせて 21% であり、電力消費量の割合が大きい為、省電力化の効果が大きいと指摘している (「地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会」(総務省) 2008 年 4 月)。

よってこのようなトラフィック流量の増加に伴う電力消費量の増大に対応するためには、従来までのネットワークに接続する計算機や周辺機器での待機モードを利用した省電力化や、ネットワーク機器に組み込まれているチップセットの低消費電力化といった取り組みだけでなく、ネットワークそのものを対象とした省電力化手法を検討する必要があると考えられる。ネットワークを対象とした省電力化手法の研究開発は、世界的に見ても緒についたばかりであるが、例えば 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、トラフィック流量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 (IEEE 802.3az Energy Efficient Ethernet Task Force)。実施者も、ネットワークのエッジ側に多数設置されている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。しかしながら、端末間のトラフィックの流量制御を担当しているトランスポートプロトコルについては、その省電力化への対応は十分に研究されていない。例えば、既存の省電力化手法の多くはトラフィック流量に応じてネットワーク機器の転送性能を適切に制御することで電力消費量を削減することを目指しているが、現在主に用いられているトランスポートプロトコルである TCP ではトラフィック流量がそのバースト性のために大きく変動してしまい、既存手法はこの流量の変化に追従

しなければならないことから十分な省電力効果を発揮することができない可能性がある。

2. 研究の目的

そこで本課題では、経由するネットワーク機器における電力消費を低減できるようなトランスポートプロトコルを開発する。具体的には、通信時に急激な転送量の変化が生じないように一定の通信速度を保ちながら送信する流量制御を目指す。この低速での通信は通信品質特性を低下させるため、流量制御アルゴリズムの設計の際には実用的に十分な通信性能を提供できるように配慮する。また、既存の TCP との親和性についても調査し、共存できるよう必要な改良を行う。

3. 研究の方法

(1) 関連研究調査とフロー制御手法の検討

CUBIC, TCP Vegas, Compound TCP などのフロー転送制御手法を調査し、特徴を整理して得られた知見を元に、ネットワーク中継機器での動的な転送制御を考慮に入れた End-to-End 間のフロー制御手法を検討した。

(2) 既存の省電力化手法との連携方法の検討

関連研究で提案している、省電力化のためのトラフィックに応じた動的な転送制御手法との連携方法について検討した。まず図. 1 に関連研究で検討している、リンク集約技術 (LACP, Link Aggregation Control Protocol) に着目して転送容量に応じて動的にリンク本数を制御する手法の概要を示す。

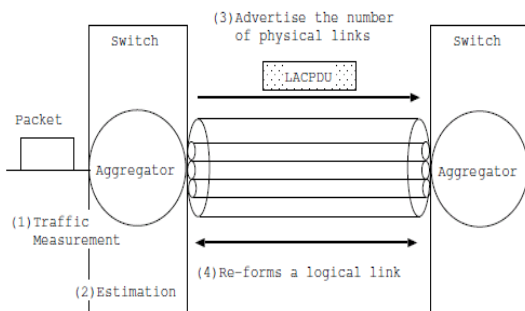


図. 1 動的転送制御手法

動的転送性能制御手法の動作は以下の通りである。(1) スイッチはある時間間隔毎に到着トラフィックを計測。(2) スイッチはトラフィックの転送に必要なリンク本数を推定。(3) 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のスイッチに通知。(4) 通知に従って、新しいリンク本数で集約リンクを構成。

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転送容量計測、および推定方法を示す。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、 τ 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 パーセンタイル値に基づき、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。

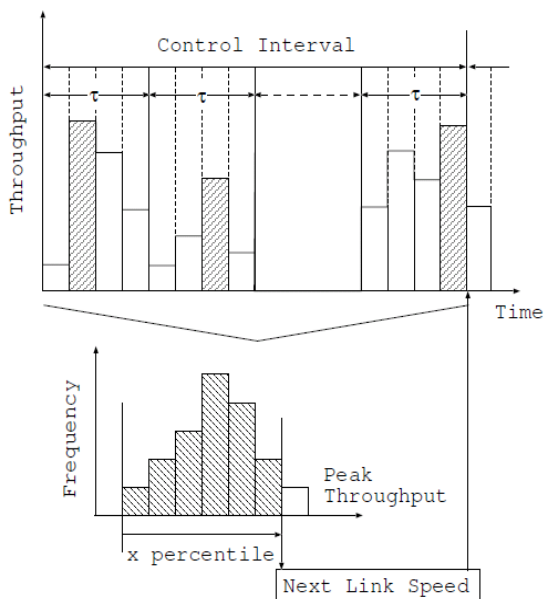


図.2 推定手法

この動的転送制御手法により、ネットワークスイッチの転送容量は動的に変化するため、端末は通信開始時に動的転送制御手法が導入されているスイッチから設定されている転送容量、および到着トラフィックの推定量の情報を得ることにした。これにより、端末はスイッチにおける通信状況を考慮に入れて通信を開始することが可能となる。

(3) トランスポートプロトコルの検討

端末は通信開始時、(2) で述べたようにスイッチから設定されている転送容量、および到着トラフィックの推定量の情報を得る。情報を得る手法としては、three-way handshake時に当該情報を TCP ヘッダに追記することを想定している。端末は得られた情報を元に、転送容量から推定量を引くことで、スイッチにおけるおおよその余剰帯域を知ることが出来る。そこで、slow start から輻輳回避モードへ移行するための閾値である ssthresh をこの余剰帯域に合わせて設定する事を検討した。余剰帯域が十分にある場合は大きめの ssthresh を、少ない場合は小さい ssthresh を設定する事で、ネットワークの利用状況に合わせて通信を開始することが可能となる。

(4) プロトタイプシステム作成の検討

提案フロー制御手法の有効性確認のため、スイッチにおいて転送容量を動的に制御できる実機のプロトタイプを作成した。

4. 研究成果

(1) トランスポートプロトコル

到着するトラフィックに応じて動的に転送容量を制御するネットワーク中継機器をシミュレータ内に実装し、提案するフロー制御を導入したトランスポートプロトコルの性能評価を行った。シミュレーショントポロジは4対のノードが2台の中継ルータを介して通信を行っているダンベルモデルとし、中継ルータ間は到着トラフィックに応じて動的にリンク本数が1本から8本 (100 Mb/s ~ 800 Mb/s) まで変化するとした。そして、通信開始後 20 秒で新規フロー10本 (10対のノード、送信側は 500 packet 送信後通信を終了) を追加しスループットやリンク本数の変化などの挙動を調査した。

図3に全フローが既存のTCPである場合、図4には新規フローが提案するトランスポートプロトコルによって通信を開始した場合の、総スループット、既存フローおよび新規フローのスループット、リンク本数を示す。図3より、既存のTCPでは新規フローの通信開始により全体のスループットは低下している。さらにリンク本数が急激に大きくなっているが、総スループットは低下していることから、スイッチの省電力機能と円滑に連携できていないことがわかる。

一方、図4より、提案手法では既存フロー

に悪影響を与えることなく通信しており、スイッチの省電力機能と連携してリンク本数も転送容量に応じて変化していることが分かる。さらに、図3と図4で新規フローの通信終了時間は殆ど差が無いこともわかる。

これらの結果から、既存のTCPでは中継機器の転送容量制御と協調できないため、パケット廃棄が発生し通信品質が大幅に低下してしまうことが分かった。一方、提案手法では通信品質に悪影響を与えることなく、転送容量を徐々に増減させることができることが分かった。

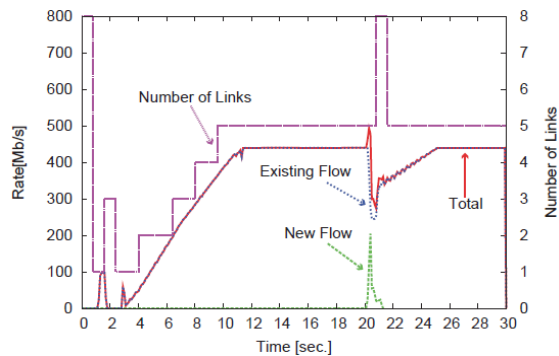


図3 リンク本数とスループット

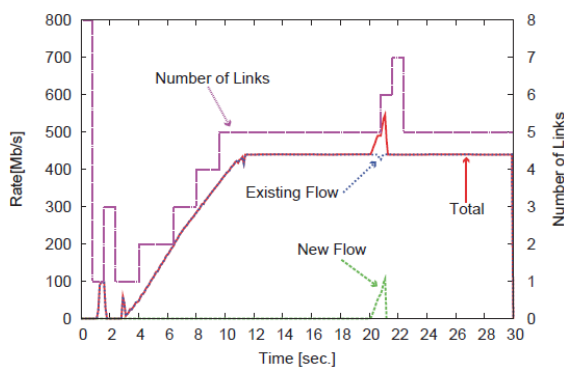


図4 リンク本数とスループット (提案手法)

(2) プロトタイプシステム

転送容量を動的に制御できるプロトタイプシステムを作成し、提案トランスポートプロトコルを評価する環境を構築した。

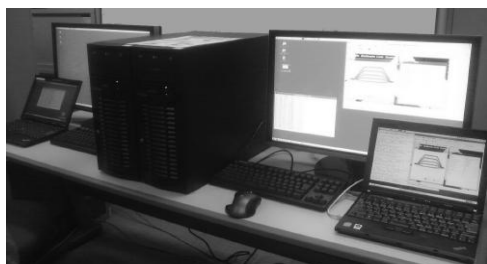


図5 プロトタイプシステム

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5件)

- ① 奥畑 航平、福田 豊、池永 全志、尾家 祐二、ピークトラフィック量推定に基づく省電力化のための動的リンク数制御手法、電子情報通信学会 技術研究報告、IN2009-171、pp. 163-168、2010年、査読無
- ② Yutaka Fukuda、Takeshi Ikenaga、and Yuji 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)、2010年、査読有
- ③ Yutaka Fukuda、Takeshi Ikenaga、Hitomi Tamura、Masato Uchida、Kenji Kawahara、and Yuji Oie、Dynamic Link Control with Changing Traffic for Power Saving、The 34th IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)、2009年、査読有
- ④ 福田 豊、池永 全志、田村 瞳、内田 真人、川原 憲治、尾家 祐二、省電力化のための動的転送性能制御手法の性能評価、電子情報通信学会 技術研究報告、CQ2009-43、pp. 27-32、2009年、査読無
- ⑤ Yutaka Fukuda、Takeshi Ikenaga、Hitomi Tamura、Masato Uchida、Kenji Kawahara、and Yuji Oie、Performance Evaluation of Power Saving Scheme with Dynamic Transmission Capacity Control、2nd International Workshop on Green Communications In conjunction with the IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM 2009)、2009年、査読有

6. 研究組織

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