

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19700067
 研究課題名(和文) トラヒック特性を考慮したネットワークスイッチ間連携による省電力化手法に関する研究
 研究課題名(英文) Study of Dynamic Transmission Control Scheme for Power Saving on Network Switches
 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：ネットワークのトラヒック量は継続的に増加しており、通信機器で消費される電力も増加している。このようなトラヒック増加に伴う電力消費量の増大に対応するためには、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。そこで本研究では、スイッチ間のトラヒック特性に応じて適切な通信速度を設定することで、ネットワーク機器における省電力化を達成する機構について検討し、必要な機能の研究開発を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	450,000	3,750,000

研究分野：情報通信工学

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：情報ネットワーク、省電力化、グリーン

1. 研究開始当初の背景

近年のインターネットの利用に関する顕著な傾向としては、FTTHやDSLなどによるアクセスネットワークのブロードバンド化がある。平成18年度版情報通信白書は、2005年度末時点でのインターネットの世帯利用人口普及率は66.8%、インターネットの利用人口はおよそ8,529万人(対前年581万人増)、またそのうちブロードバンド回線の契約数は約2,330万件(対前年度比19.1%増)と報告しており、インターネットの利用者の増加と高速なアクセス回線の普及が統計的にも明らかとなっている。このように我々の社

会生活への浸透が進むインターネットでは、従来までの文字情報を中心とした比較的通信量が少ないコンテンツに加えて、音楽・映像配信といったリッチコンテンツの本格的な提供が始まっており、これらの多様なコンテンツのインターネット上での展開は、そのサービスを快適に利用するための高速回線のさらなる普及を促している。結果としてインターネット上の通信トラヒックは著しく増加しており、日本国内の主要IXにおけるトラヒック量は、2002年12月では40 Gb/sであったが、2005年11月に158.4 Gb/sにまで増大している(平成18年度版情報通信白

書より)。

この利用者とトラヒックの増加に対応するために、ネットワークの幹線では大容量通信が可能な高性能なネットワーク機器の、また利用者に近い家庭やオフィスでは膨大な数の比較的安価なネットワーク機器の導入が進んでいる。そのため、これらのネットワーク機器で消費される電力量も飛躍的に伸びており、インターネットの普及に伴って今後さらに増大すると予想される電力需要に対する対策は重要な課題となっている。そのため、総務省が将来的なトラヒック急増への対応について検討するために開催した次世代 IP インフラ研究会はその報告書の中で、膨大なトラヒックを処理することができるネットワーク機器の開発とともに、今後の消費電力増大への対応が必要であることを指摘している。また、関連して米国ポートランド州立大の M. Gupta らは、2003 年に発表した "Greening of the Internet" (ACM SIGCOMM 2003) の中で、2000 年のアメリカでのネットワーク機器の電力消費量は 6.05 TW-h に上り、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。地球環境への配慮の点から発電所の新規建設は容易ではなく電力供給の大幅な向上が望めない現在において、このように拡大する電力需要に対応するためには、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、また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だけでなく、ネットワークのトラヒック特性に適応した省電力化手法を検討する必要があると考えられる。

2. 研究の目的

1 に記した背景をうけて、本課題ではトラヒック特性を利用したネットワーク機器間の連携による消費電力の削減を目標として、関連する技術の研究開発を行った。ネットワークトラヒックに着目した省電力の実現については全世界的に見ても数件しか取り組みがないが、1 で紹介した M. Gupta らはトラヒックが流れない期間はネットワークインターフェースをスリープする機能を提案しており、シミュレーションにより省電力化効果を検証している。研究代表者も、ネットワークのエッジ側に注目し、利用台数が多い比較的安価なスイッチにおける省電力化手法についてこれまで検討を行ってきた。そして M. Gupta らが提案している手法では、スリープ状態とオン状態を頻繁に遷移してし

まい電氣的な負荷を高める可能性があることを指摘し、スリープ状態への遷移に待機時間を設けることで、過度な状態の遷移を防ぎながら省電力化を達成できることを解析的に明らかにした(八尋 豊, 田村 瞳, 福田 豊, 川原 憲治, 尾家 祐二, "LAN スイッチにおける省電力効果の解析評価," 電子情報通信学会 技術研究報告, IN2005-230, pp.437-442, 2006 年 3 月)。この研究成果を踏まえ、本テーマではより高い電力を消費するネットワークの幹線部分に視点を移し、トラヒックの取り扱いが大きい高性能なスイッチにおける省電力化手法の検討を行った。特に、スイッチ間の連携によってトラヒック特性に応じた通信速度の段階的な変更や、論理的なリンク数の制御を行うことで、電力消費量の削減を目指した。

3. 研究の方法

(1) 代表的なネットワーク機器における消費電力計測の実施

提案する省電力化手法の効果を確認するために、代表的な L2, L3 スイッチの消費電力計測を実施した。価格や機能が異なる機種を複数台準備し、通信状態によって消費電力がどのように変化するかについて、複数台の計算機を利用して実際にトラヒック流量を変化させながら調査を行った。

(2) トラヒック計測

トラヒック特性に応じた通信速度を設定するアルゴリズムを設計するためには、トラヒック特性の解析が必要となるため、ネットワーク幹線におけるトラヒック計測を実施した。計測箇所については複数の候補箇所を検討したが、本課題はネットワーク幹線部分に注目した取り組みであるため、トラヒックがもっとも多重化されている大学の幹線部分を対象とした。

(3) トラヒック特性に応じた通信速度制御方法の検討

省電力化のためにトラヒック特性に応じてスイッチ間で適切な通信速度を設定するためには、動的な通信速度制御機構が必要となる。本課題ではこの動的な制御を行うために、スイッチ間の速度増強のために用いられ

るリンク集約技術(LACP, Link Aggregation Control Protocol)に着目し, 図 1 に示すように LACP を拡張してトラフィック転送に必要な物理リンク数だけをスイッチ間でアップさせ, その他のリンクをスリープ状態にする機構を検討した. その動作は以下の通りである. (i) リンク集約/管理を行う Aggregator に, ある時間間隔毎にバッファのキュー長を取得する機能を追加する. (ii) 各スイッチは取得したキュー長を基に, 提案手法に従って適切な物理リンク本数を決定する. (iii) 物理リンク本数決定後, LACP DU を用いて対向の Aggregator に設定物理リンク本数を通知する. (iv) LACP DU を受け取ったスイッチは同期処理を行い, 通知された物理リンク数でリンク集約し, 論理リンクを再構成する.

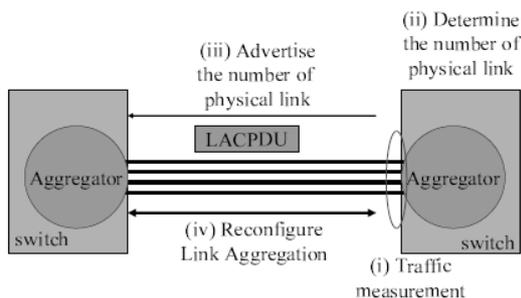


図 1 LACP への機能追加

(4) 予測に基づく通信速度制御アルゴリズムの検討

省電力化を達成するために, 動的に変化するトラフィックに応じて通信速度を設定するアルゴリズムを検討した. 省電力化のためにスイッチ間で適切な通信速度を設定できた場合でも, スループットやパケットの廃棄率, 遅延といった通信品質特性の低下は避ける必要があるため, 通信品質の低下を防ぐことができるよう安全側に重きを置いたアルゴリズムとなるよう配慮した.

(5) 提案手法の実現性に関する調査

提案手法を実際のネットワーク機器上に実装することができるかどうかを調査するため, 実際にスイッチを作成しているベンダーの技術者に提案手法を紹介し, 予測手法で考慮すべき要素や実装の可能性について議論を行った.

4. 研究成果

(1) 消費電力計測

トラフィックと消費電力量について, 代表的な L2, L3 スイッチの消費電力測定を実施した.

①リンク本数による消費電力の差

提案手法ではリンク集約技術(LACP, Link Aggregation Control Protocol)を利用してリンク本数の増減を動的に制御することで, 消費電力の削減を目指している. そこでまず初めにリンク本数と消費電力の関係を調査した. その結果, あるベンダーのスイッチでは, 図 1 に示すように 1 Gb/s のトラフィックを送信するリンクを増やすにつれ, 総消費電力が 2 W 増加することが分かった. よって, トラフィックに応じて適切なリンク本数を設定することで, 消費電力を削減することが可能であることを確認できた.

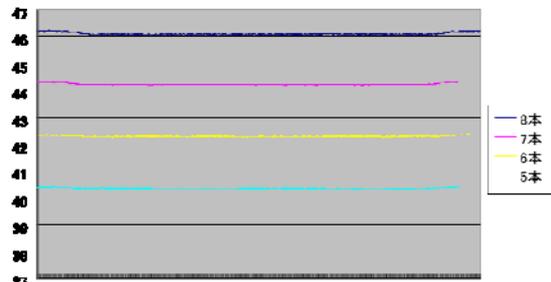


図 2 消費電力量[w]

②通信速度による消費電力の差

代表的な L2, L3 スイッチについて, 通信速度と消費電力の関係を調査した. その結果, 通信速度が上昇すると消費電力量は増加すること, 特に 100 Mb/s から 1 Gb/s 間の消費電力量の差が大きいことが分かった.

(2) 予測に基づくリンク制御アルゴリズムの検討

通信特性への影響を考慮してスイッチのバッファの使用率からリンク数を算定する TURN UP 手法と, さらにバッファ使用率の増減情報を加味してリンク本数を決定する MIAD (Multiple Increase Additive Decrease) 手法を検討した. 各種方における平均使用リンク本数を図 3 に, 平均パケット廃棄数を図 4 に示す. 両図ともに, 横軸はリンク数制御を実施する間隔である. 両図より, ある瞬間のバッファ使用量のみでリンク本数を設定する TURN UP 手法よりも, トラフィックの傾向を考慮する MIAD 手法のほうが良好な特性を示すことが分かった.

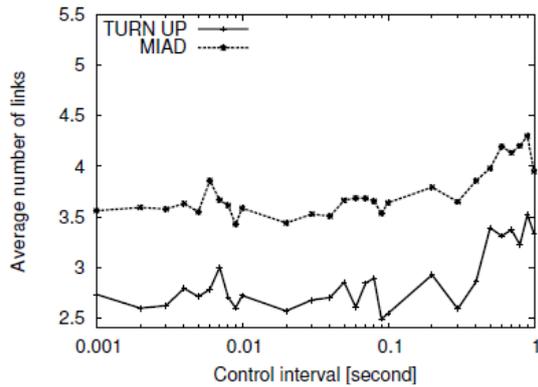


図3 平均使用リンク数

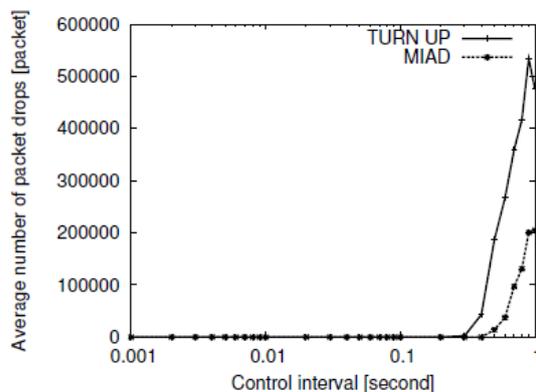


図4 平均パケット廃棄数

得られた成果より、提案手法を用いたスイッチ間においてトラヒックに応じて通信速度を制御することで、省電力化が可能であることがわかった。また提案手法を利用する際には、通信品質特性を低下させないために、速度制御を実施する間隔を十分短く設定し、トラヒックの変化に対応できるようにする必要のあることを明らかにした。

省電力化実現のために LACP を拡張して通信速度を動的に制御する本提案手法は国内外で初めての取り組みであり、本手法を参考文献に引用した研究も発表されている。

今後はトラヒック特性の予測精度の向上や、実トラヒックに対応できるか調査していく。また、提案手法を実機への実装に向けた検討を行い、必要な改良を実施する。

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 田村瞳、池永全志、福田豊、尾家祐二、経路集約によるネットワーク機器の消費電力削減効果の基礎評価、電子情報通信学会 技術研究報告、NS2008-221、pp. 439-444、2009年、査読無
- ② 河野義幸、福田豊、田村瞳、川原憲治、尾家祐二、動的な物理リンク数制御によるスイッチ省電力化手法、電子情報通信学会 技術研究報告、IN2007-216、pp. 343-348、2008年、査読無
- ③ 田村瞳、富原理津子、福田豊、川原憲治、尾家祐二、省電力 LAN スイッチにおける Extra Active 期間の動的制御、電子情報通信学会 技術研究報告、IN2007-217、pp. 349-354、2008年、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