

1 はじめに

近年、通信技術の急速な発達により大容量データの高速通信が可能となった。そのためインターネットは企業・民間問わず広く普及し、利用者数は現在も増加傾向にある。これに伴いネットワーク機器の設置台数、消費電力も急増しており、その中でも多くの割合を占めるスイッチ/ルータの省電力化は急務の課題となっている。これまでにスイッチ/ルータの省電力化手法として、ポート転送速度が低いほどポートあたりの消費電力量が少ないという特徴から転送トラヒックに応じたポート転送速度の動的制御手法があげられている。しかし、上位レイヤプロトコルである TCP 通信を考慮した場合、通信性能が劣化してしまう可能性がある。先行研究では TCP トラヒックの転送性能と帯域制限の関係についてシミュレーションにより評価し、TCP 通信におけるポート転送速度制御の影響が示されたが、実環境における性能は不明であるため、本研究では先行研究におけるシミュレーション環境に基づき、実験ネットワークを構築し、帯域制限の有用性を調査する。

2 研究対象

図 1 にポート転送速度と消費電力の関係を示す。この図より設定帯域が小さいほど電力消費量が少なく、省電力効果が得られることがわかる。本研究ではこの傾向に着目し、TCP トラヒックにおけるルータ間のポート転送速度切り替えが転送性能に及ぼす影響から、TCP における帯域制限の有用性を調査する。今回の実験では帯域 100[Mbps] のネットワークを想定しており、帯域を 100[Mbps] 以下に制限した場合の通信性能、省電力効果への影響から帯域制限可能である環境の調査を行う。

3 実験概要

実験機器として送信端末仕様を表 1、ルータ・受信端末仕様を表 2、ネットワークポロジを図 2 に示す。図 2 の S は送信端末、D は受信端末、R はルータを示す（今後、 S_1-D_1 を経路 1、 S_2-D_2 を経路 2 と呼ぶ）。この実験ネットワークで次の 2 通りの実験を行う。

3.1 1 対 1 ノード間通信

実機における有用性を示すため、1 対 1 ノード間通信を行い、シミュレーションより得られた省電力性能と比較を行う。TCP は Linux のデフォルト実装である CUBIC を用い、送信間隔、ファイルサイズは固定とした平均トラヒック量 10[Mbps] のファイル転送を行う。

3.2 2 対 2 ノード間通信

実環境における有用性を示すため、リンク遅延が異なる 2 対 2 ノード間通信（経路 1、2）において、送信間隔が指数分布、ファイルサイズがパレート分布に従う間欠的なファイル転送を行う。実環境においては様々な TCP バージョンが存在し、各バージョン毎に輻輳制御方式が異なり、転送速度制限の影響も異なると考えられるため、TCP バージョンの影響調査も行う。ネットワーク状況の推定方法は大きく 3 種類あり、パケット破棄情報を用いるロスベース、遅延情報を用いる遅延ベース、両者を兼ね備えたロス + 遅延ベースに分類される。これらの比較を行うため、ロスベースの CUBIC、NewReno、遅延ベースの Vegas、ロス + 遅延ベースの CTCP を適用する。

3.3 評価指標

双方の実験において、平均トラヒック量を 10[Mbps]、ルータ間リンク遅延を 1, 10, 100[msec]、帯域を 10~100[Mbps] の場合に以下を評価する。

- 転送性能：平均ファイル転送時間 \bar{D}_e [sec]
送信ファイルが宛先ノードに到着するまでの平均時間。

$$\bar{D}_e = \frac{1 \text{ ファイル送受信時間の総和 [sec]}}{\text{送受信終了ファイル数}} \quad (1)$$

- 省電力性能：必要最小帯域 W_{min} [Mbps]
ルータ間帯域が 100[Mbps] の平均ファイル転送時間を $\bar{D}_{e,100}$ とし、帯域制限時の \bar{D}_e が $1.1\bar{D}_{e,100}$ 以下となる帯域の最小値を W_{min} と定義する。

表 1: 送信端末仕様

OS	Linux Debian lenny
CPU	Intel(R)Pentium(R) Dual CPU 1.6[GHz]
メモリ	1[Gbyte]
TCP	CUBIC, NewReno, Vegas, CTCP
バッファサイズ	3.4[Mbyte]

表 2: ルータ・受信端末仕様

OS	Linux Debian lenny
CPU	Intel(R)Core(TM) i3 3.07[GHz]
メモリ	3[Gbyte]
バッファサイズ	15[Mbyte]

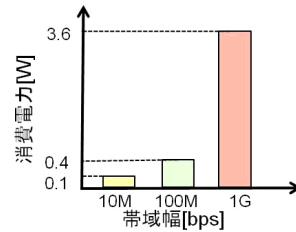


図 1: 帯域と消費電力の関係

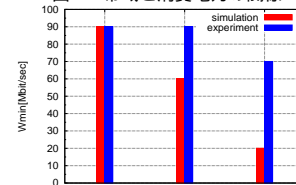


図 3: 必要最小帯域

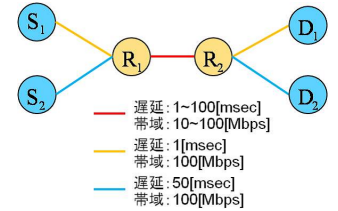


図 2: ネットワークポロジ

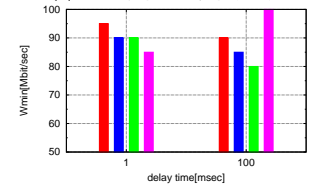


図 4: TCP 毎の必要最小帯域

4 結果と考察

4.1 1 対 1 ノード間通信

実機とシミュレーションによる必要最小帯域を図 3 に示す。横軸をルータ間遅延、縦軸を必要最小帯域とする。この図から実機とシミュレーションともにルータ間リンク遅延が増加するほど、省電力性能が向上することが明らかとなった。これはリンク遅延の増加に伴い、セグメントの連続転送可能数を表すウィンドウサイズの増加が抑制されるため転送時間が大きくなり、評価指標である $1.1\bar{D}_{e,100}$ を満たす範囲が増加することに起因する。しかし、実機においてはシミュレーションほどの省電力性能は得られなかった。これは、シミュレーションでは輻輳回避モードに移行するウィンドウサイズに関する閾値が固定であるのに対し、実機では送信側端末のメモリ、輻輳状況に応じて閾値が動的に変化するためである。今回は、実機の閾値がシミュレーションの閾値よりも総じて高く、設定帯域を十分に利用するため、無制御時の転送時間の減少により、相対的に省電力性能が低下することになる。

4.2 2 対 2 ノード間通信

図 4 に各 TCP 毎の必要最小帯域を示す。横軸をルータ間リンク遅延、縦軸を必要最小帯域とする。まず、ルータ間リンク遅延が 1[msec] の場合、Vegas の省電力性能が最も高く、CUBIC が最も低くなる。遅延ベースである Vegas はパケットロスが発生しないようウィンドウサイズを微調整することにより、他の TCP と比較し無制御時の転送時間が長くなるため、省電力性能が高くなる。一方 CUBIC は ACK の到着毎に急激にウィンドウサイズを増加することから、転送時間が短く、通信性能の劣化の影響が大きいため、帯域制限が困難となる。ルータ間リンク遅延が 100[msec] の場合、CTCP の省電力性能が最も高く、Vegas が最も低くなっている。すなわち、ルータ間遅延が大きい場合は遅延ベースでウィンドウサイズを調整する Vegas より急激に増加する CTCP の方が適していることになる。以上より、ルータ間リンク遅延が小さい場合 Vegas が、大きい場合 CTCP が省電力化に有用であることが明らかとなった。

5 まとめ

TCP トラヒックにおけるルータ間帯域制限の影響に関して、実装実験とシミュレーションにおけるウィンドウサイズ閾値が省電力性能に大きく影響することが明らかとなった。そのためシミュレーションより省電力性能は低下するが、帯域制限の有効性については示された。また、実環境を想定した 2 対 2 ノード間においては、ルータ間リンク遅延が大きい場合は CTCP、小さい場合は Vegas が最も省電力効果が得られることを明らかにした。