

所属専門分野	電子情報工学分野 (川原研究室)		
学生番号	09674003	氏名	荒木 遼哉
論文題目	ネットワーク省電力制御に親和性を有する TCP の調査と転送機構改良に関する研究		

## 1 はじめに

近年、情報ネットワークの発展・普及に伴いネットワーク機器の利用台数が増加し、電力消費量が増加している。そのため普及台数、総消費電力に占める割合が大きいスイッチ/ルータの省電力化は極めて重要である。スイッチ/ルータの省電力化手法として、ポート転送速度制御やリンクアグリゲーション機能を利用した集約リンク数制御が提案されている。これらは、LAN スイッチにおける各ポートの設定帯域と電力消費量の関係 (図 1) に着目し、ポート転送速度が低いほど消費電力が小さくなることを利用して、到着トラヒック量に応じて低消費電力を維持する。しかし、到着トラヒックが TCP の場合、そのフロー制御機構により可用帯域を十分に利用してデータ転送を行うため、省電力化のための帯域制限により転送性能が劣化する可能性がある。そこで本研究では、転送帯域制限と TCP トラヒックの転送性能の関係を調査し、転送性能を維持しつつ省電力性能を向上させる TCP の転送機能を調査し、省電力制御に親和性のある TCP について検討する。

## 2 TCP の転送機構

本研究で調査対象とする TCP とその機能を以下説明する。

- TCP NewReno: パケットロスが発生するまでウィンドウサイズ (cwnd) を増加させるロススペースの輻輳制御であり、パケットロスが発生した際に現在の cwnd を半減する AIMD (Additive Increase Multiplication Decrease) アルゴリズムを採用している。
- CUBIC: NewReno と同様にロススペース、AIMD による制御であるが、輻輳増加時は NewReno よりも早期にロス時の cwnd まで回復する高速 TCP である。
- TCP Vegas: 現在の cwnd 値から推定される予測スループットと、実測 RTT に基づく実測スループットとの差分から cwnd の微調整を行うためロス自体の発生を回避する。
- Compound TCP (CTCP): ロス + 遅延ベースの高速 TCP であり、帯域が空いている場合は cwnd を迅速に増加、混雑すると緩やかに減少させる。また遅延ベースのアルゴリズムは、Vegas から派生している。

## 3 シミュレーションモデル

図 2 のトポロジを想定し、2 章で示した 4 種類 TCP バージョンを使用した場合のシミュレーションを行う。\$S\_n\$ は送信ノード、\$D\_n\$ は宛先ノード、\$R\_1, R\_2\$ はスイッチ/ルータを表し、ルータ間のリンク帯域は 10 ~ 100 [Mbit/sec] とする。トラヒックモデルは送信間隔が指数分布に従い、送信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仮定し、各ノードからの平均トラヒック量を 10 ~ 100 [Mbit/sec] と設定する。ルータ間のリンク遅延を 1, 5, 10, 20, 100 [msec] とし、以下の指標を評価する。

- 転送性能指標: 平均ファイル転送時間

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

- 省電力性能指標: 必要最小帯域 \$W\_{min}\$ [Mbit/sec]  
設定帯域 100 [Mbit/sec] の平均ファイル転送時間 \$\bar{D}\_{e,100}\$ を基準値とし、\$1.1\bar{D}\_{e,100}\$ 以下となる最小設定帯域を \$W\_{min}\$ とする。

## 4 シミュレーション結果と考察

### 4.1 必要最小帯域の調査

TCP に NewReno を利用し、送受信ノード 1 対 1、すなわち多重フロー数 1、ルータ間リンク遅延 10 [msec]、平均トラヒック量 10 [Mbit/sec] の場合の設定帯域と平均ファイル転送時間 \$\bar{D}\_e\$ の関係を図 3 に示す。(ファイルサイズ、送信間隔) は図中に示す 6 通りについて調査した。(10 [Mbit/sec], 1 [sec]) の場合、省電力性能指標より必要最小帯域 \$W\_{min}=60\$ [Mbit/sec] となる。また、平均トラヒック量は同じであればファイルサイズによらず、必要最小帯域 \$W\_{min}\$ は同様の値をとることがわかる。

### 4.2 リンク遅延の影響

多重フロー数 5、送信ファイルサイズ 5 [Mbit]、平均トラヒック量 10 [Mbit/sec] の場合の、各 TCP バージョンにおけるルータ間遅延と必要最小帯域の関係を図 4 に示す。図 4 より遅延 10 [msec] 以下では、Vegas と CTCP の省電力効果が高い。これは遅延ベースの輻輳制御によって短い RTT 毎に cwnd を微調整できるためである。遅延が 20 [msec] 以上では、一度の ack 受信で cwnd を迅速に増加する CUBIC や CTCP が、帯域利用効率が高く帯域制限の影響を受けにくい省電力効果が高くなる。

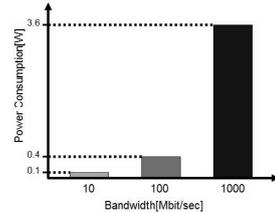


図 1: 物理帯域と電力消費の関係

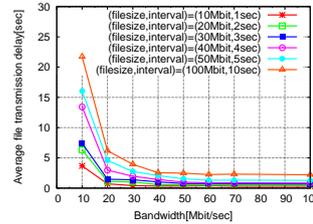


図 3: 平均ファイル転送時間 \$\bar{D}\_e\$ [sec]

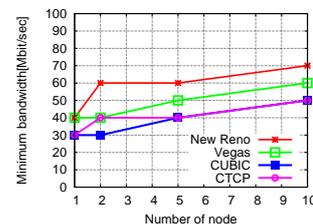


図 5: 多重フロー数の影響

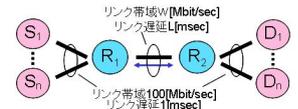


図 2: ネットワークトポロジ

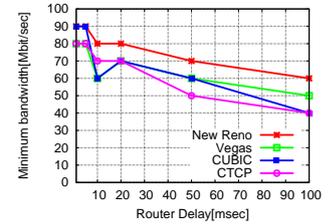


図 4: リンク遅延の影響

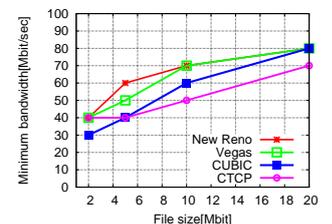


図 6: 送信ファイルサイズの影響

### 4.3 多重フロー数の影響

ルータ間リンク遅延 100 [msec]、送信ファイルサイズ 5 [Mbit]、平均トラヒック量 10 [Mbit/sec] の場合の多重フロー数の影響を図 5 に示す。図 5 より、多重フロー数 2 以上の場合、CUBIC と CTCP が最も省電力効果が高い。これは CUBIC と CTCP は、フロー数増加による輻輳が原因でロスが発生しても、cwnd の迅速な増加ができるため省電力効果が高くなる。

### 4.4 送信ファイルサイズの影響

多重フロー数 5、ルータ間リンク遅延 100 [msec]、平均トラヒック量 10 [Mbit/sec] の場合の送信ファイルサイズの影響を図 6 に示す。図 6 より、ファイルサイズが小さい場合は CUBIC の省電力効果が高く、大きい場合は CTCP の省電力効果が高くなる。これは、ファイルサイズが小さい場合は、cwnd が急激に増加してセグメントを大量送信してもロス発生前にファイル転送が完了するが、ファイルサイズが大きい場合はファイル転送中にロスが発生するため、遅延ベースの制御が必要であることを示す。

## 5 省電力 TCP の検討

4 章より、転送性能を維持し、省電力性能を向上する TCP の転送機能は、ロスベースと遅延ベースを持つ CTCP が適しているが、省電力制御のために必要な転送機構の詳細を以下に示す。

- リンク遅延が小さいネットワーク  
ロス発生を回避するため、遅延ベースの制御で、かつ cwnd 増加値の適切な設定が必要である。
- リンク遅延が大きいネットワーク
  - ファイルサイズが小さい場合、cwnd を急激に増加させ転送を早期に終了させることで転送性能、省電力性能共に改善できるため、CTCP の cwnd 増加値を改良する必要がある。
  - ファイルサイズが大きい場合、ロスによる転送性能劣化を避けるために遅延ベースの輻輳制御が適している。

## 6 まとめ

TCP トラヒックを対象としたスイッチ/ルータの省電力化を行うため、TCP のフロー制御と転送性能を考慮し、転送速度帯域を制限した場合の転送性能と省電力性能の関係を調査した。リンク遅延、多重フロー数と必要最小帯域の関係を調査し、省電力制御に親和性のある TCP の制御機構を明かにすることで、省電力性能を更に向上させるために必要な TCP の転送機構の改良点を示した。研究業績

荒木遼哉 他, “リンク設定帯域が TCP の転送性能に及ぼす影響とネットワーク省電力制御に親和性を有する TCP の検討” 情報処理学会火の国シンポジウム 2011 Mar. 2011