

1 はじめに

近年、インターネット利用の高度化に伴う企業や家庭における大容量コンテンツの普及等から、トラフィック量が急増している。それに従い、ネットワーク機器の普及台数が増加し、機器の消費電力も増加の一途をたどっているため機器全体の消費電力を抑制することは重要である。

ネットワーク機器の省電力化手法の一つとして、LAN スイッチ/ルータのポート転送速度の動的制御が提案されている。これは、各ポートの転送速度が低い程、消費電力量が小さくなる特徴を利用しており、到着トラフィック量に応じて動的に転送速度を切り替える。しかし、TCP トラヒックを対象とした場合、そのフロー制御機構により、転送速度の切り替えを行うと転送性能に影響を及ぼしてしまう。また、リンクを共有するフロー数が増加すると、リンク利用時間が増加し省電力化が困難になる。

そこで本研究では、複数の TCP フローによる帯域資源の共有に伴う転送性能の劣化を避けるため、TCP の機構を基に転送タイミング制御手法を提案する。本手法により、リンク利用時間を減少させ、機器を低転送速度状態に移行できる時間を増加させることで省電力化が可能であると考えられる。シミュレーションにより転送タイミング制御手法の評価を行い、転送性能と省電力化の可能性を検討する。

2 TCP の制御機構とタイミング制御

TCP では信頼性のある通信を保証するために、コネクション管理、確認応答、フロー/輻輳制御の基本機構を有する。そのうち、コネクション管理における 3 ウェイハンドシェイクの最後の確認応答を返す転送タイミングを制御することで、フロー単位の制御を実現する。本研究では、各 TCP フローが確率 P で固定値の移行時間 T_d [msec] だけ、確認応答を返送するタイミングを遅延させる手法について転送性能と省電力性能への影響を調査する。

3 シミュレーションモデル

図 1 のネットワークポロジを想定し、 n 対 n ノード間の TCP 通信のシミュレーションを行う。TCP のバージョンは NewReno とする。図 1 の S_n は送信ノード、 D_n は宛先ノード、 R_1, R_2 はルータを表す。ルータ間の帯域は 100 [Mbps]、バッファサイズを 10 [pkt] とし、全送信ノードからファイルが同時に転送される場合を想定する。ファイルサイズは 10 [MByte] 固定とする。

4 シミュレーション結果

4.1 タイミング制御有効性の検討

フロー数 $n = 38$ 、移行時間 $T_d = 20$ 、タイミング制御確率 $P = 0.4$ の場合のタイミング制御時と同時転送時 (図中 $P = 0.0, T_d = 0$) の転送終了時間の分布を図 2 に示す。この図より、タイミング制御手法によって最大転送終了時間の減少を確認できる。よって、タイミング制御の有効性を期待できる。

4.2 タイミング制御確率 P と移行時間 T_d の影響

$n = 50, 100$ の場合に、 $T_d = 20$ とし、 $P = 0.0 \sim 0.7$ まで変更した場合の最大転送終了時間を図 3 に示す。図 3 より、 $n = 50, 100$ では、 $P = 0.5$ 付近で、最大転送終了時間が最小となることがわかる。よって本研究では、ネットワーク省電力化のためのタイミング制御確率として、 P を 0.5 付近に設定する。 $P = 0.4, 0.5$ にし、 T_d を 10 ~ 100 まで変化させた場合の最大転送終了時間を図 4 に示す。図 4 より、 T_d の変化に対して、最大転送終了時間に影響が見られない。TCP ではセグメント送信後一定時間経過しても確認応答を得られない場合に再送を行うが、その時間は送信ノード自らが決定する。また、 T_d を大きく設定することで再送回数が増え、輻輳が生じる可能性が高まるため、省電力の観点から T_d を大きく設定することは好ましくない。そのため、 T_d は 1RTT 分である 20 [msec] と設定する。

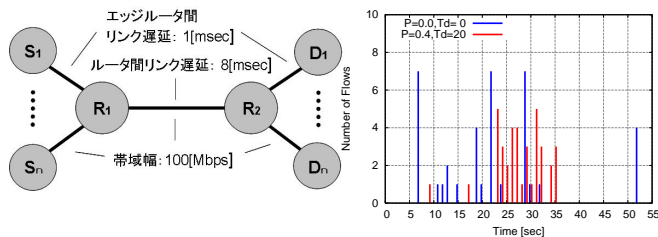


図 1: ネットワークポロジ

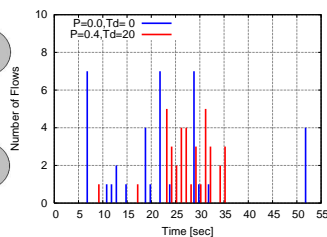


図 2: フロー数と転送終了時間の分布

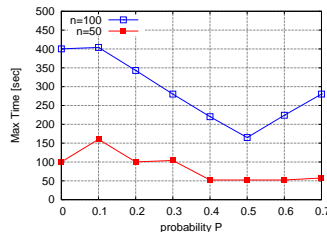


図 3: P と最大転送終了時間

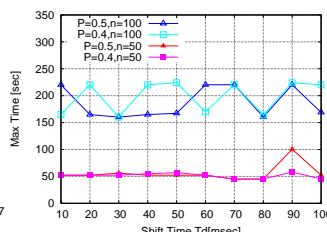


図 4: T_d と最大転送終了時間

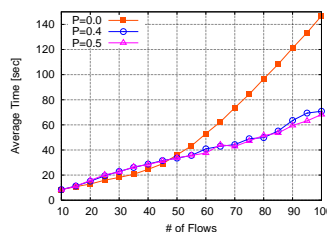


図 5: フロー数と平均転送時間

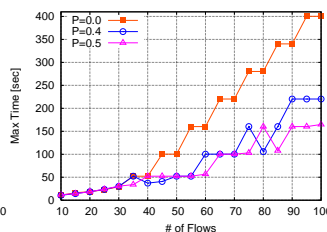


図 6: フロー数と最大転送終了時間

4.3 同時発生フロー数の影響

$T_d = 20, P = 0.4, 0.5$ の場合のフロー数 n と平均転送時間、最大転送終了時間の関係を図 5, 6 にそれぞれ示す。図 5, 6 より、フロー同時発生数の増加に伴い、平均転送時間と最大転送終了時間が増加するが、タイミング制御によって、両方を削減可能であることが確認できる。これは図 2 にも示したように、制御によって著しく転送が遅くなるフローの存在がなくなるためである。 $n < 45$ においては、平均転送時間が若干劣化しているが、これは、制御によって帯域を効率よく利用することでフローの転送終了時間が平均付近に集中し、平均転送時間が同時転送時よりも大きくなるためである。 $n \geq 50$ においては、同時転送時よりも平均転送時間と最大転送終了時間の増加を抑えることができ、転送性能と省電力性能共にタイミング制御が有効であることがわかる。また、フロー同時転送時と比較した平均転送時間の減少率と最大転送終了時間の減少率を調査すると、 $n = 50$ の場合、約 10% 転送性能が改善され、かつ、約 50% の省電力効果を期待でき、 $n = 100$ の場合、約 50% の転送性能を向上させ、省電力効果は P の値によって約 40 ~ 60% を期待できる。よって、フローの多重するルータのバッファサイズに対して同時転送フロー数が多い場合は、転送性能と省電力性能を共に向上できることを明らかにした。

5 まとめ

TCP トラヒックを対象としたネットワークの省電力化を行うために、TCP の制御機構を利用したタイミング制御による転送性能と省電力効果をシミュレーションにより調査した。TCP NewReno を用いた n 対 n ノード間の TCP 通信において、フローを多重するルータのバッファサイズに対して同時転送フロー数が多い場合は、タイミング制御によって転送性能が向上し、省電力化も可能であることが明らかとなった。