

1 はじめに

近年、ブロードバンドサービスの発展・普及に伴いネットワークにおける転送トラフィック量は飛躍的に増大している。それに伴いルータなどのネットワーク機器が増設され、ネットワーク機器全体の消費電力量も大きく増加する傾向にあるため、ネットワーク機器の省電力化は急務の課題となる。

これまでに、ネットワーク機器の省電力化手法として LAN スイッチ/ルータにおけるポート転送速度の動的制御手法が提案されている。この手法は LAN スイッチ/ルータの各ポートの転送速度が低いほど消費電力量が小さくなる特徴を利用している。しかし、この手法を TCP トラフィックに適用した場合、TCP はフロー制御機構による可用帯域の有効利用を目的としているため、転送トラフィック量に応じたポート転送速度切替によりパケット喪失や輻輳が発生してしまうことが考えられる。そのため、通信が行われていない時間（アイドル時間）に転送速度切替を行うことで、通信に悪影響を与えずに省電力化が可能となる。TCP では信頼性を保証するため、確認応答制御を全セグメントに対して行っており、確認応答受信後のセグメント転送タイミングを制御することでアイドル時間を意図的に増加させることが期待できる。

そこで本研究では、TCP のセグメント転送タイミング制御によるアイドル時間分布を調査し、本手法の省電力効果を検討する。

2 シミュレーションモデル

シミュレーションには NS-2 を使用し、図 1 に示すように n 対 n ノード間のネットワークポロジを用いる。なお、基本特性の評価のために n 本のフローが全送信ノードから同時に発生する場合を想定する。ノード間の往復遅延時間は 40[ms]、各リンク帯域は 100[Mbps]、ファイナルサイズは 10[MByte] に設定し、TCP には NewReno を用いる。

3 タイミング制御手法

TCP では、確認応答制御機構により確認応答の受信を契機に新たなセグメントの転送を行う。このときセグメント転送タイミングを移行時間 Td [ms] だけ遅らせる制御を行うことで転送間隔を意図的に大きくすることが可能となる。ここでは、各フローの連続セグメント転送時の全制御機会においてタイミング制御を行うものとする。

4 評価指標

ポート転送速度の切替には一定時間を要するため、その時間以上のアイドル時間発生時のみ切替が効果的となる。そこで、ポート転送速度切替時間を 50[ms] と想定し、切替時間以上のアイドル時間の割合 R_{idle} を省電力性能の指標とする。また、転送性能への影響を調査するため転送終了時間を評価指標とする。

5 シミュレーション結果・考察

5.1 省電力性能向上の効果

多重フロー数 15 本、ルータ 1 のバッファサイズ 10[pkt]、移行時間 40[ms] の場合における、タイミング制御時と無制御時のアイドル時間分布を図 2 に示す。タイミング制御により、無制御時よりも大きなアイドル時間が生じており、タイミング制御による省電力性能の向上が期待される。

次に、多重フロー数を 50 本に設定した場合におけるタイミング制御時と無制御時のアイドル時間分布を図 3 に示す。図 3 より、アイドル時間の増加が確認できるが、フロー数 15 本の場合に比べて切替時間以上のアイドル時間の度数に増加傾向が見られる。フロー数の増加により無制御時に発生するアイドル時間が増加し、それに伴い制御回数も増加することが原因である。

5.2 転送性能への影響

タイミング制御による省電力効果は確認されたが、移行した時間だけ転送終了時間が長くなることが考えられる。そのため、タイミング制御による転送性能への影響を調査

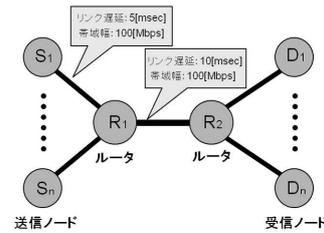


図 1: ネットワークポロジ

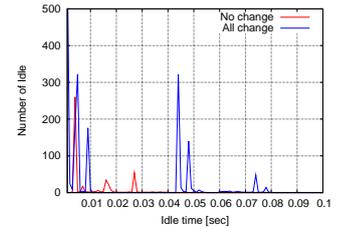


図 2: アイドル時間分布 (フロー数 15)

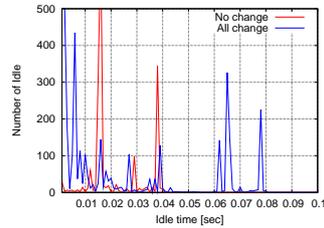


図 3: アイドル時間分布 (フロー数 50)

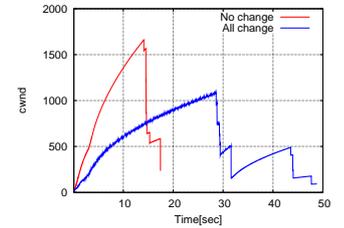


図 4: cwnd の変化 (フロー数 15)

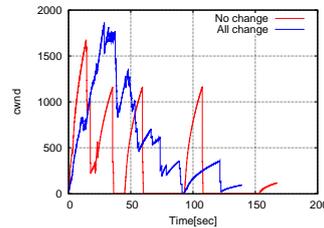


図 5: cwnd の変化 (フロー数 50)

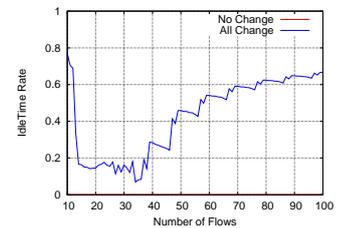


図 6: 多重フロー数と省電力効果

する。フロー数 15 本の場合のタイミング制御時と無制御時における全フローのウィンドウサイズの総和の時間変化を図 4 に示す。この図より、タイミング制御時の最大転送終了時間は無制御時の 2 倍以上に増加していることからファイル転送終了時間は大きく劣化することがわかる。これはタイミング制御により、転送間隔が広がってウィンドウサイズの上昇に時間がかかり、転送効率が悪いまま通信が終了してしまうためである。

フロー数 50 本の場合を図 5 に示す。この図より、タイミング制御時の最大転送終了時間が無制御時と比べて減少しており、転送性能の劣化が緩和されていることが確認できる。図 5 よりほとんどの時間帯において、タイミング制御時のウィンドウサイズの総和が無制御時より大きな値を取り、転送間隔が増加しても転送効率の悪化が起こらないことが原因である。5.1 節よりタイミング制御によるアイドル時間増加の効果が確認されていることから、転送性能に影響を与えずに省電力効果を得ることが期待できる。

5.3 多重フロー数の省電力性能への影響

多重フロー数の省電力性能への影響を図 6 に示す。無制御時には R_{idle} がフロー数によらず 0 となる。切替時間以上のアイドル時間が見られないのは、RTT を 40[ms] に設定しており転送中に転送間隔より大きいアイドル時間が存在していないためである。一方、タイミング制御時にはフロー数によらず R_{idle} が増加しており、省電力効果が期待できる。また、フロー数の増加によりタイミング制御機会が増えるため、 R_{idle} が増加しており省電力性能の向上が確認できる。なおフロー数が 15 本未満の場合に R_{idle} が大きくなっているが、これは多重フロー数が少ないため全てのフローの転送間隔が重なりやすく、制御によるアイドル時間増加の効果が大きいことが原因として考えられる。

6 まとめ

TCP フローのセグメント転送タイミング制御によりアイドル時間の増加が見られるため、省電力性能が向上することが確認された。また、転送性能に関しては劣化が起こるものの、フロー数の増加に伴い劣化が緩和されることがわかった。したがって多重フロー数が多いほど、タイミング制御による省電力化が期待できると考えられる。