

学籍番号	12674011	氏名	古屋 貴之
論文題目	TCP セグメント転送移行とウィンドウサイズ制御によるリンク省電力手法に関する研究		

## 1 はじめに

近年、ネットワークの発展・普及により、企業や個人のインターネット利用、およびネットワーク機器の設置台数と消費電力量が急激に増加しており、その省電力化が重要な課題となっている。これまで、ネットワーク機器の省電力手法としてスイッチ/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、各ポート転送速度が低いほど消費電力量が小さいため、トラヒック量に応じてポート転送速度を低くする。しかし、TCP トラヒックに適用すると、そのフロー制御機構で転送性能が劣化する恐れがあるため、セグメント転送の空き時間(アイドル時間)にポート転送速度を切り替える必要があるが、切り替えに数十[msec](切替時間)要するため、アイドル時間はそれ以上でなければならない。

これまで、TCP セグメント転送を一定時間待機(転送移行)し、アイドル時間を強制的に増加する手法を提案したが、転送遅延が増大するため、本研究では、転送移行時のウィンドウサイズを調整することにより転送性能の劣化を抑制する手法を提案し、有効性を明らかにする。

## 2 提案手法

アイドル時間増加のみを目的とした TCP 連続セグメント転送移行手法(従来手法)は、TCP 送信ノードが確認応答セグメントの受信を契機に転送するウィンドウサイズ分の連続セグメントを、リンク収容フロー数が閾値  $F_t$  以下の場合、一定時間(移行時間  $T_d$ [msec]) 転送移行するため転送終了時間が増大する。そのため、提案手法は転送移行と同時に転送セグメントを一定数(増加ウィンドウサイズ  $\Delta W$ [pkts]) 増加し、転送性能の劣化を抑制する。

## 3 シミュレーションモデルと評価指標

### ● シミュレーションモデル

シミュレータ: NS-2(Network-Simulation Ver.2)

トポロジ: ルータ 2 台で接続した  $n$  対  $n$  ダンベル型モデル

### ● シミュレーションパラメータ

ノード: TCP バージョン NewReno, ノード数  $n = 10$ , ファイルサイズ 100[KByte], パケットサイズ 1500[Byte], 各ノード転送ファイル数 100[個], 移行時間  $T_d = 20$ [msec]

リンク: リンク帯域幅 100[Mbps], 正規化トラヒック量 10[%], 往復遅延時間  $RTT = 20$ [msec]

ルータ: バッファサイズ 100[pkts], 切替時間  $T_{ch} = 30$ [msec]

### ● 評価指標

転送性能: フロー平均転送終了時間  $T_{ave}$  [sec]

省電力性能:  $R_{sw}[\%] = \frac{T_{ch} \text{以上のアイドル時間総和 [sec]} \times 100}{\text{シミュレーション時間 [sec]}}$

## 4 シミュレーション結果と考察

### 4.1 増加ウィンドウサイズ $\Delta W$ の影響

移行時間  $T_d = 20$ [msec] とした場合の、増加ウィンドウサイズ  $\Delta W$ [pkts] に対する転送性能  $T_{ave}$ , 省電力性能  $R_{sw}$ , パケットロス率を、それぞれ図 1~3 に示す。図 1 より  $\Delta W$  が大きいほど  $T_{ave}$  は小さくなり、図 2 より更なる省電力効果向上が可能であることがわかる。また  $\Delta W \geq 20$  で、 $T_{ave}$  は無移行時(図中: NoShift)を下回り、さらに  $F_t$  が大きいほど  $T_{ave}$  と  $R_{sw}$  の改善が大きいこともわかる。これは、 $\Delta W \geq 20$  と大きい場合、本来セグメント待機により転送遅延を増大する各転送移行が、反して転送セグメント増加の影響で転送遅延を減少できることが原因している。このとき、 $F_t$  が大きいとリンク収容フロー数が多い状況でも、その多くのフローに対し転送移行(転送遅延の減少)が行われるため、 $F_t$  が大きいほど  $T_{ave}$ , ひいては  $R_{sw}$  を改善できる。

一方、図 3 をみると  $\Delta W = 50$ ,  $F_t = 4$  以上で、正規化トラヒック量 10[%] の環境でもパケットロスが発生する。これは、リンクに収容される 4[本] の TCP フローの各々が 50[pkts] ものセグメントを強制的に増加し、ルータが瞬間的にバッファサイズ(100[pkts]) を超えるセグメントを受信したことが原因である。この瞬間的な受信セグメント数を、 $(\Delta W \times F_t)/2$  [pkts] と推定する。この推定値が大きいほどパケットロスの可能性が高く、式(1)が成立するときバッファあふれが発生する。

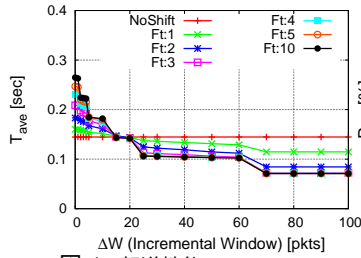


図 1: 転送性能  $T_{ave}$

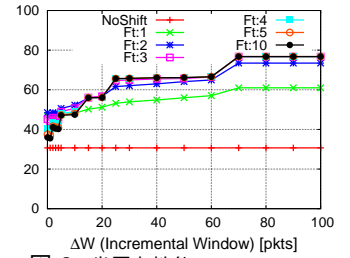


図 2: 省電力性能  $R_{sw}$

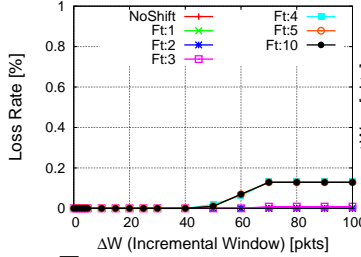


図 3: パケットロス率

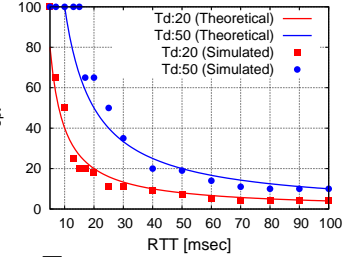


図 4:  $\Delta W_{opt}$  の特性

$$\frac{\Delta W \times F_t}{2} > \text{ルータのバッファサイズ} \quad (1)$$

以上より、提案手法は、 $T_{ave}$  および  $R_{sw}$  を改善する  $\Delta W$  と  $F_t$  をともに大きく設定すると、パケットロスが発生するトレードオフの関係があるため、 $\Delta W$  と  $F_t$  は制限されることになる。なお、図 1, 2 から  $F_t$  に関する最適値は  $F_t = 2$  と考えられる。

### 4.2 $\Delta W$ の適正值の検討

ここでは、図 1 より  $T_{ave}$  を無移行時と同等程度に改善し、式(1)でパケットロスの可能性が最も低い  $\Delta W$  を適正值  $\Delta W_{opt}$  と定義する。図 2 より、 $\Delta W_{opt} = 20$  と設定すると、 $T_{ave}$  の劣化やパケットロスなく、 $R_{sw}$  を約 26[%] 改善することができる。

ここで、 $\Delta W_{opt}$  を理論的に算出する。TCP フローは、1RTT 毎にウィンドウサイズ分のセグメント群(連続セグメント)を複数回転送することで構成されるが、提案手法は、この転送回数を減少することでフロー転送時間を短縮することが可能である。すなわち、転送回数が  $x$  回減ると  $T_{ave}$  は  $x \times RTT$  改善される。一方、 $y$  回の転送移行により  $T_{ave}$  は  $y \times T_d$  増大するが、 $\Delta W = \Delta W_{opt}$  のとき、この改善時間と劣化時間は等しくなる。ここで、 $x$  回の転送回数減少のためには、 $y$  回の転送移行(転送セグメント増加)により、最大ウィンドウサイズ分の連続セグメントを  $x$  個減らす必要があると仮定すると、 $\Delta W_{opt}$  は式(2)で求められる。

$$\Delta W_{opt} [\text{pkts}] = \frac{T_d}{RTT} \times \text{最大ウィンドウサイズ} (20[\text{pkts}]) \quad (2)$$

そこで、 $T_d = 20$ , 50[msec] において、往復遅延時間  $RTT$  に対する  $\Delta W_{opt}$  を、式(2)で導出される理論値と、 $T_{ave}$  が無移行時の値に最も近づくシミュレーション評価値毎に図 4 に示す。図より、理論値とシミュレーション評価値がほぼ一致するため、式(2)は妥当であると考えられる。また、 $RTT$  が大きいと  $\Delta W_{opt}$  は小さくなるため、式(1)よりパケットロスの可能性は低くなり、転送性能の劣化を意識しない制御が可能であると考えられる。

## 5 まとめ

提案手法は、TCP フローの連続セグメント転送に対し、一定時間の転送移行と一定数の転送セグメント増加を適正に行うことで、フロー転送終了時間延長やパケットロスさせることなくリンクアイドル時間を集約でき、転送性能の劣化を抑制した省電力手法として期待できることが明らかとなった。

### 研究業績

川原憲治, 古屋貴之 他, “リンク状況を考慮した TCP フローのデータ転送移行による省電力化のためのリンク利用時間の集約方式”, 信学技報 IN2012-18, 平成 24 年 5 月

古屋貴之 他, “TCP セグメント転送移行とウィンドウサイズ制御による省電力のためのリンク利用時間集約方式”, IEICE NS/IN 研究会 平成 26 年 3 月 発表予定