

学生番号	12232204	氏名	高見 真
論文題目	リンク省電力化のための TCP セグメント転送移行方式の実現に関する研究		

## 1 はじめに

近年, 世界的なインターネットの急激な普及により, 各ネットワーク機器の消費電力は無視できず, その省電力化が急務である. これまで, LAN スイッチ・ルータの省電力化手法としてポート転送速度の動的制御が提案されている. これは, 設定した転送速度が低いほど消費電力が小さい性質を利用し, トラフィック量に応じて転送速度を低く設定する. しかしこの手法を TCP トラフィックに適用した場合, その輻輳制御機構により転送性能が劣化する恐れがある. そこで, セグメント転送がされていない時間 (アイドル時間) に転送速度の切り替えを行うが, その切り替えには数十 [msec] の時間を要する. そこで, 速度切り替え可能なアイドル時間を増加させるため, 連続した TCP セグメントの転送を強制的に遅延 (転送移行) する手法についてシミュレーションにより有効性が示されているが, 実装評価はされていない.

本研究では, 実環境における TCP セグメントの転送移行手法を評価するため, テストベッドネットワークを構築し, 送信ホストにおける転送移行処理を実装する. さらに, 中継機器 (ルータ) におけるアイドル時間増加量を評価し, 転送移行手法を実現する.

## 2 TCP 連続セグメント転送移行手法 (先行研究)

ポート転送速度切り替え時間  $T_{ch}$  以上のアイドル時間を増加し, 省電力性能を向上する連続セグメント転送移行手法では, TCP 送信ノードは確認応答セグメントの受信を契機としてウィンドウサイズに応じたセグメントを連続して送信するが, この連続セグメントの転送開始タイミングを確率  $P$  で一定時間  $T_d$  遅延 (転送移行) させる. 一般的に連続セグメントの転送間隔は往復遅延時間  $RTT$  となるため,

$$RTT < T_{ch} < RTT + T_d \quad (1)$$

とするとき, 速度切り替え可能なアイドル時間が増加することが示されている.

## 3 実験概要

実験ネットワークポロジは, 図 1 のように  $n$  対  $n$  の送受信ノードがルータ 2 台で接続されたダンベル型を用いる. 本実験では 5 台の PC を送信ノードとして構成し, 転送移行手法を実装する. 各リンク速度は全て 100 [Mbps] とし, 送信ノードの TCP バージョンは NewReno とする. また, ルータ間リンクを省電力対象とする. 実装に関しては送信端末の TCP 制御機構の変更が必要となるため, Linux カーネル内に転送移行処理を実装する.

送信ノード: 実装済カーネルを導入し, 受信ノードに対して 100 [Kbyte] のデータを 100 個転送する.

ルータ  $R_2$ : パケットキャプチャを行い, 対象リンクにおけるアイドル時間を確認する.

ネットワークエミュレータ: 送受信ノード間の往復遅延  $RTT = 40$  [msec] となるように設定する.

なお, 手法実装における評価指標として, 以下を定義する.

省電力性能 切替可能状態率  $R_{sw} = \frac{T_{ch}$  以上のアイドル時間の総和 [sec]}{全フロー転送完了時間 [sec]}  
 転送性能 データ平均転送完了時間  $T_{ave}$  [sec]

## 4 実験結果と考察

### 4.1 転送移行手法の動作確認

送信ノードの Linux カーネルに転送移行手法を実装し, 移行時間  $T_d = 20$  [msec] として実験したときのアイドル時間分布を図 2 に示す. 無移行時 ( $P = 0$  [%]) のとき, アイドル時間のピークはほぼ 40 [msec] であるが, これは連続セグメントの送信間隔が  $RTT$  に従うためである. それに対し, 移行時 ( $P = 90$  [%]) では, アイドル時間のピークが 60 [msec] ま

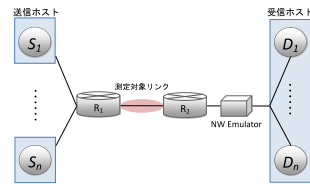


図 1: ネットワークポロジ

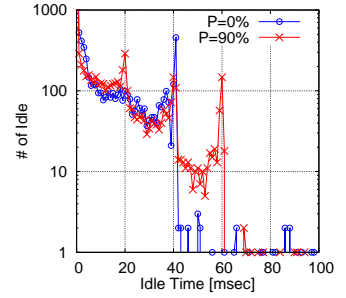


図 2: アイドル時間分布

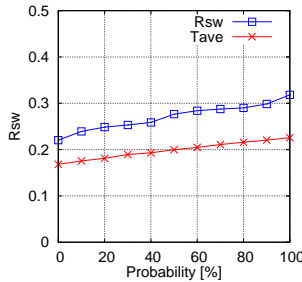


図 3: 確率  $P$  の影響

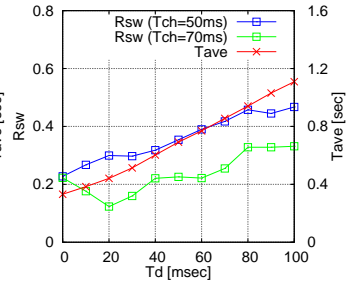


図 4: 移行時間  $T_d$  の影響

で広がっている. これは, 移行時間  $T_d = 20$  [msec] で転送移行することにより,  $RTT + T_d$  のアイドル時間が増加するためである. よって, 実装した転送移行手法が正しく動作していることがわかる.

### 4.2 転送移行手法の評価

#### 4.2.1 移行確率 $P$ の影響

移行時間  $T_d = 20$  [msec], 速度切り替え時間  $T_{ch} = 50$  [msec] のときの, 移行確率  $P$  に対する省電力性能  $R_{sw}$  と転送性能  $T_{ave}$  を図 3 に示す. この図より, 移行確率  $P$  に伴い  $R_{sw}$  が増加することがわかる. これは, シミュレーション評価時の傾向と一致しており, 実装した転送移行処理が正しく動作していることを確認できる. 一方,  $P$  と共に  $T_{ave}$  も増加しており, 転送性能の劣化が生じていることがわかる. よって, 省電力性能と転送性能に関しては, 実装においてもトレードオフの関係となる.

#### 4.2.2 移行時間 $T_d$ の影響

移行確率  $P = 90$  [%] のときの, 移行時間  $T_d$  に対する省電力性能  $R_{sw}$  と転送性能  $T_{ave}$  を図 4 に示す. この図より,  $T_{ch} = 50$  [msec] のとき, 移行時間  $T_d$  の増加に伴って  $R_{sw}$  が増加していることがわかるが,  $T_{ch} = 70$  [msec] とすると,  $T_d < 30$  [msec] のとき  $R_{sw}$  が減少する傾向がみられる. これは,  $T_{ch}$  に満たないアイドル時間が転送移行によって増加し, 既存の大きなアイドル時間が分割されるためである. また,  $T_{ave}$  も移行時間に伴って増加しており, 無移行時に比べ  $T_d = 100$  [msec] では  $T_{ave}$  は約 3 倍となり, 転送性能が大きく劣化していることがわかる.

## 5 まとめ

ネットワーク機器省電力化のための TCP フローに対する連続セグメント転送移行手法の実装を行い, 実装が可能であることを明らかにした. また, 転送移行の動作によってアイドル時間が増加し, 省電力性能が実環境においても改善可能であることより, 本手法の実現可能性が明らかとなった.

なお, シミュレーションでは対象リンクの利用率が低い時に転送移行による省電力効果が高いことが示されている. 対象リンクの利用状況による移行判断が可能であれば, 転送性能の劣化を抑えた転送移行を行うことができるため, 今後は省電力対象リンクの状況を把握し, 移行判断する手法の実現方法を検討する必要がある.