

所属専門分野	電子情報工学分野 (川原研究室)		
学生番号	08674039	氏名	富原 理津子
論文題目	LAN スイッチ省電力化におけるリンク転送速度切替方式に関する研究		

1 はじめに

情報爆発時代におけるネットワーク機器の電力消費量の増加を抑制するために LAN スイッチの省電力化が検討されている。オートネゴシエーション機能を有する LAN スイッチでは、図 1 に示すように、一般にリンク転送速度が高速 (例: 1[Gbps]) 時に比べて低速 (例: 100[Mbps]) 時の電力消費量が小さいことから [1], 転送トラヒック量に応じた速度切替方式の有効性が示されている [2]。これまでに 2 リンク速度間の切替に 70[msec] の切替時間を要することが明らかにされているが [3], [2] で提案した速度切替方式ではそのことを考慮しておらず、頻繁な切替は転送性能に大きく影響を及ぼすことが懸念される。本研究では、切替時間を考慮したリンク速度切替手法を検討し、転送性能と省電力性能への影響を明らかにする。

2 提案手法

まず, [2] で提案された 2RS-UE (2 rate switching with utilization estimation) 手法を拡張した 2RS-UE DT (2RS-UE Dual-threshold) 手法について説明する。2RS-UE DT 手法では, LAN スイッチの各出力ポート単位で到着トラヒック量に応じたリンク速度の制御を行う。到着トラヒック量の推定値 $\hat{\rho}_t$ に関する切替閾値 T_{low} , T_{high} により, 設定リンク速度 μ を次式で定義する。

$$\mu = \begin{cases} \mu_{low}, & \text{if } 0 < \hat{\rho}_t \leq T_{low}, \\ \mu_{high}, & \text{if } T_{high} < \hat{\rho}_t \leq 1[\text{Gbps}]. \end{cases} \quad (1)$$

ただし, $T_{high} > T_{low}$ とする。高速 (μ_{high}) から低速 (μ_{low}) への切替閾値 T_{low} により低速への過度の遷移を抑制し転送性能の向上を, 低速から高速への切替閾値 T_{high} により高速への過度の遷移を抑制し省電力性能の向上を図る。

また, 速度切替に利用する $\hat{\rho}_t$ の導出には, 指数平滑移動平均 (Exponential Moving Average, EMA) によるパケット到着間隔の推定値を用いる。LAN スイッチの 1 ポートにおいて, $t-1$ 番目に計測したパケット到着間隔を X_{t-1} , t 番目のパケット到着間隔推定値を \hat{X}_t とすると, $\hat{X}_t = \alpha X_{t-1} + (1-\alpha)\hat{X}_{t-1}$ で導出できる。ここで, α ($0 \leq \alpha \leq 1$) は平滑化係数である。ポートの最大リンク速度の平均パケット処理時間を $1/\mu_{high}$ とすると, 推定到着トラヒック量 $\hat{\rho}_t$ は $\hat{\rho}_t = 1/(\mu_{high} \times \hat{X}_t)$ となる。

3 シミュレーションモデル

ポートにおける設定可能リンク速度を $\mu_{low} = 100[\text{Mbps}]$, $\mu_{high} = 1[\text{Gbps}]$ とする。パケット到着, 処理間隔が指数分布に従うものとし, 平均パケットサイズを 1500[Byte], バッファサイズは無限大とする。評価指標は転送性能として平均転送遅延時間 (T_r) とリンク速度切替率 (R_t) を, 省電力性能として正規化電力消費率 (R_p) を定義する。 T_r は転送パケットの平均バッファ滞在時間, R_t は 1[msec] あたりの平均速度切替回数, R_p はシミュレーション時間における電力消費率とし, リンク速度を μ_{high} , μ_{low} に設定した時の電力消費率をそれぞれ 1, 0.1 と定義する。

4 シミュレーション結果

4.1 切替閾値 T_{low} , T_{high} の影響

T_{low} , T_{high} の性能への影響について検証する。ここで, 平滑化係数 $\alpha = 0.1$ とし, 平均到着トラヒック量 $\rho = 200[\text{Mbps}]$ の場合の T_r , R_t , R_p をそれぞれ図 2, 3, 4 に示す。

$T_{low} = 130[\text{Mbps}]$ と設定した場合, 図 3 より T_{high} が増加するほど R_t が減少していき, このため $\mu = \mu_{high}$ となる期間が減少し, 図 2 より T_r が増加することがわかる。しかし, $T_{high} < 300[\text{Mbps}]$ では 20[msec] 程度に T_r を抑制でき, 図 4 より最小でも 30% の省電力性能が得られることから, $140 \leq T_{high} < 300[\text{Mbps}]$ で転送性能の劣化を抑制し省電力効果も得られる。

次に $T_{high} < 300[\text{Mbps}]$ の範囲における T_{low} の影響を調査する。図 2 より, $T_{low} = 130[\text{Mbps}]$ に比べ, $T_{low} = 140[\text{Mbps}]$ では T_r が 100 倍以上増加し転送性能の大幅な劣化が見られる。これに対し, $T_{low} = 90[\text{Mbps}]$ では 1[msec] 以下と T_r は抑制されるが, 図 3, 4 より, R_t がほぼ 0, すなわち常に $\mu = \mu_{high}$ となり省電力効果がみられない。よって $90 < T_{low} \leq 130[\text{Mbps}]$ とすることで, 転送性能を大幅に劣化させずに省電力性能が得られることになる。以上より, 転送性能の劣化を抑制する切替閾値が存在し, T_{low} を小さくすると省電力化に寄与しないことがわかる。

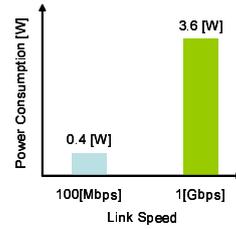


図 1: LAN スイッチの電力消費量

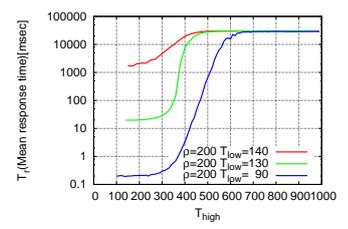


図 2: 平均転送遅延時間 T_r

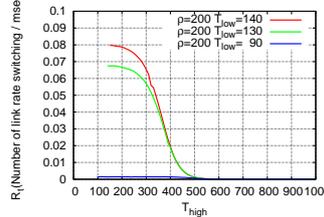


図 3: リンク速度切替率 R_t

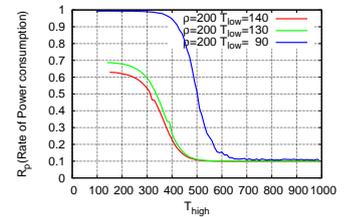


図 4: 正規化電力消費率 R_p

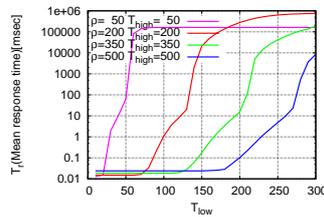


図 5: T_r に対する ρ の影響

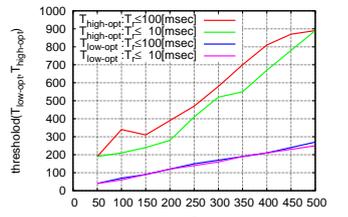


図 6: 各 ρ の最適切替閾値

4.2 最適切替閾値の調査

切替閾値に対する ρ の影響から最適切替閾値の調査を行う。ここで, 最適切替閾値とは T_r に許容値を設定した場合に最大の省電力性能が得られる切替閾値 $T_{low-opt}$, $T_{high-opt}$ と定義する。 $\alpha = 0.1$, $\rho = T_{high} = 50, 200, 350, 500[\text{Mbps}]$ において T_{low} を変化した場合の T_r を図 5 に, $T_r \leq 10, 100[\text{msec}]$ とした各 ρ の最適切替閾値を図 6 に示す。

図 5 より, ρ が大きくなるほど T_r を低く保つ T_{low} の値が大きくなる。ここで, $T_r \leq 10[\text{msec}]$ と仮定した $T_{low-opt}$ は図 6 に示すように線形に増加する。また, $T_{low-opt}$ を基に $T_{high-opt}$ を求めると, 同様に ρ に応じて線形に増加する。さらに最大許容転送遅延時間による切替閾値の変化を見ると, $T_r \leq 100[\text{msec}]$ とすることで $T_{low-opt}$ は変わらないが, $T_{high-opt}$ はより大きな値をとる。このことから, 最大許容転送遅延時間が異なる場合は, $T_{high-opt}$ のみを変更すればよいことがわかる。以上の結果より, 最適切替閾値の決定手順としては,

0. $T_{low} = \mu_{low}$ とする。
1. T_r が最大許容転送遅延時間以下となる T_{high} の範囲を特定し,
2. その範囲内において T_r が最大許容転送遅延時間以下となる T_{low} の最大値を決定, 最適値 $T_{low-opt}$ とする。
3. $T_{low-opt}$ の設定後, 省電力性能 R_p が最大となる T_{high} の値を決定, 最適値 $T_{high-opt}$ とする。

5 まとめ

本研究では, リンク速度切替時間を考慮した 2RS-UE DT 手法を提案し, 許容する転送遅延に応じて最大の省電力性能が得られる切替閾値を設定することで, 転送性能の劣化を抑制した省電力化が可能であることを明らかにした。

参考文献

- [1] K. Christensen and B. Nordman, "Improving the Energy Efficiency of Networks: A Focus on Ethernet and End Devices," presentation to Cisco, San Jose, October 20, 2006.
- [2] 富原理津子, 田村 瞳, 福田 豊, 川原 憲治, 尾家 祐二, "LAN スイッチ省電力化のためのリンク速度動的切替方式," 電子情報通信学会 2009 年総合大会, B-7-104, 2009 年 3 月
- [3] Baok Zhang, et.al, "Real-Time Performance Analysis of Adaptive Link Rate," LCN 2008, Oct. 2008.