

1 はじめに

近年の通信技術の発達に伴うネットワーク機器の消費電力量増加により、普及台数および総消費電力が最も多い LAN スイッチの省電力化が重要視されている。オートネゴシエーション機能を有する LAN スイッチでは、自動で最適なリンク速度が確立されるが、リンク速度が高い程ポートあたりの消費電力が増加する。そこで、推定到着トラヒック量に応じてリンク速度を切替える 2RS-UE DT(2 rate switching with utilization estimation Dual-threshold) 手法 [1] や、ポートバッファのペケット量に応じて切替を行う ALR(Adaptive Link Rate) 手法の有効性が示されている。ALR の実装実験において、1 回のリンク速度切替に 70[msec] を要することが示されており、運用においてはハードウェア規格の大幅な変更を必要とする。本研究ではオートネゴシエーション機能を用いてソフトウェアレベルで 2RS-UE DT 手法を実装し、まずリンク速度切替時間を調査する。次に、トラヒック転送に対する切替閾値およびトラヒック量推定間隔の性能への影響について明らかにする。

2 リンク速度動的切替手法

2RS-UE DT 手法において、設定リンク速度 μ は推定到着トラヒック量 $\hat{\rho}_t$ に関する切替閾値 T_{low} , T_{high} により次式で定義される。

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

ただし $T_{high} > T_{low}$ とする。 $\hat{\rho}_t$ の計算には、指数平滑移動平均(Exponential Moving Average, EMA)を用いる。時刻 $t-1$ におけるペケット到着間隔を X_{t-1} とすると、時刻 t におけるペケット到着間隔推定値 \hat{X}_t は、 $\hat{X}_t = \alpha X_{t-1} + (1-\alpha)\hat{X}_{t-1}$ で求められる。ここで $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$ は平滑化係数である。さらに最大リンク速度における平均ペケット処理間隔 $1/\mu_{high}$ および \hat{X}_t を用いて $\hat{\rho}_t$ は $\hat{\rho}_t = 1/(\mu_{high} \times \hat{X}_t)$ で算出される。

3 実験概要

使用 OS および機器を表 1 に、機器構成図を図 1 に示す。送信端末から受信端末へ、LAN スイッチと管理端末により構成される仮想 LAN スイッチを経由してトラヒック転送を行う。ここで管理端末において 2RS-UE DT 手法を実装する。また、リンク速度切替制御ペケット送信リンクを管理端末と受信端末間に別途設定する。以下に実験手順を示す。

1. 送信端末: UDP トラヒックを 1 秒間隔で 60~140[Mbps] まで 10[Mbps] ずつ増加させ、10 秒間 140[Mbps] を持続させた後、10[Mbps] ずつ減少させ送信する。これを 60 秒間で 2 回繰り返す。
2. 管理端末: トラヒック量推定間隔 (I_e) における受信ペケット数によりリンク速度切替を判定し、切替を行う場合は NIC(Network Interface Card) のリンク速度変更後、速度切替用制御ペケットを送信する。
3. 受信端末: 制御ペケット受信後、NIC のリンク速度を変更する。
4. LAN スイッチ: オートネゴシエーション機能により、対応ポートのリンク速度が変更される。

評価指標は転送性能としてペケットロス率 (R_l) を、省電力性能として低リンク速度状態割合 (R_p) を定義する。 R_l は転送ペケット数に対する棄却ペケット数の割合、 R_p は実験時間に対する低リンク速度状態時間の割合と定義する。

4 実験結果

4.1 リンク速度切替時間

調査の結果、オートネゴシエーション機能を用いたリンク速度切替時間は平均 2.6[sec] となる事が明らかとなった。

4.2 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。 $\alpha = 0.9, I_e = 500[\text{msec}]$ における R_l, R_p をそれぞれ図 2, 3 に示す。図 2, 3 より、 $T_{low} \leq 50[\text{Mbps}]$ では切替が生じず $\mu = \mu_{high}$ となり、ペケットロスは発生しないが省電力性能が得られない。また、 $T_{low} = 60[\text{Mbps}]$ では送信トラヒックの設定により、 $\hat{\rho}_t$ が T_{low} 前後の値をとるため、 T_{high} に対する傾向が不規則となる。さらに $T_{low} = 70[\text{Mbps}]$ では、 $80 \leq T_{high} \leq 130[\text{Mbps}]$ で $R_l < 0.08$ に抑制できる。この範囲ではトラヒックの増加に応じて $\mu = \mu_{high}$

表 1: 使用 OS および機器

OS	Debian lenny		リンク速度	
LAN-SW	NETGEAR JGS724		μ_{high}	1[Gbps]
NIC	INTEL PRO/1000 GT DESKTOP ADAPTER		μ_{low}	100[Mbps]

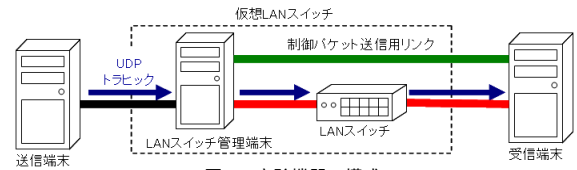


図 1: 実験機器の構成

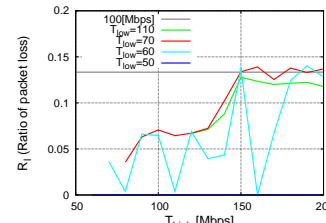


図 2: R_l に対する切替閾値の影響

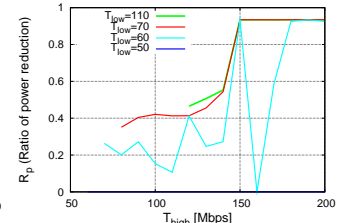


図 3: R_p に対する切替閾値の影響

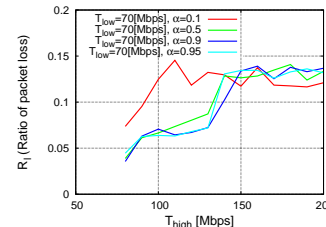


図 4: R_l に対する α の影響

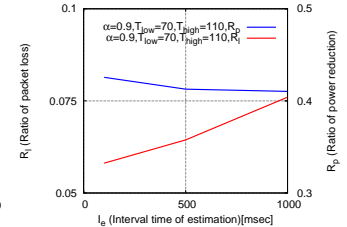


図 5: R_l, R_p に対する推定間隔の影響

へと移行し、 $\mu = \mu_{low}$ 一定の場合と比べて R_l は 5% 程低下、 R_p も $\mu = \mu_{high}$ 一定の場合と比べて 40% の削減可能となる。一方、 $T_{low} = 110[\text{Mbps}]$ では $T_{low} = 70[\text{Mbps}]$ とほぼ同じ傾向を示す。以上より、 $T_{low} = 70[\text{Mbps}]$ と送信トラヒックの下限値よりも 10[Mbps] 大きく、また $T_{high} = 130[\text{Mbps}]$ と送信トラヒックの上限値よりも 10[Mbps] 小さく設定することで、転送性能の劣化を抑制した省電力化が可能となる事がわかる。

4.3 平滑化係数 α , トラヒック量推定間隔 I_e の影響

α の影響を調査するため、 $T_{low} = 70[\text{Mbps}], I_e = 500[\text{msec}]$ における T_{high} に対する R_l の変化を図 4 に示す。図 4 より、 $\alpha = 0.9$ とすることで R_l を低く抑制でき、 $\alpha = 0.95$ としても変化は見られない。次に I_e の影響を示すために $\alpha = 0.9, T_{low} = 70[\text{Mbps}], T_{high} = 110[\text{Mbps}]$ における I_e に対する R_l, R_p を図 5 に示す。図 5 より、 I_e を小さくする程 R_l は減少し、 $I_e = 100[\text{msec}]$ では $I_e = 1[\text{sec}]$ よりも 2% 程低減されるが、 R_p はほとんど変化しない。よって、 I_e を小さくすることでトラヒック変動へ迅速に対応可能となり、省電力効果を維持して転送性能の向上が可能である。なお、 $I_e < 100[\text{msec}]$ と設定するとリンク速度切替回数の増加や短期間での連続切替により処理に支障をきたすため、実装においては機器の性能に応じて I_e を設定する必要がある。

5 まとめ

オートネゴシエーション機能を用いたソフトウェアレベルでの 2RS-UE DT 手法の実装により、1 回の速度切替に平均 2.6[sec] 要することを明らかにした。[1] ではトラヒック量推定間隔を隣接ペケットの到着間隔としていたが、実装上は 100[msec] 以上とする必要がある。その上で転送トラヒックに応じて切替閾値や判定のための平滑化係数を調整することで、転送性能の劣化を抑制した上で 40% 程度の電力削減が可能であり、実機による手法の有効性を明らかにした。

参考文献

- [1] 富原理津子, “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”, 九州工業大学大学院情報工学府情報システム専攻, 修士論文, 平成 22 年 2 月