

学籍番号	11674003	氏名	内村 吟太
論文題目	ポート転送速度切替時間を考慮した省電力トラフィックエンジニアリングの性能解析に関する研究		

1 はじめに

近年、ネットワーク機器による消費電力量が増加傾向にあるため、ネットワーク全体の省電力化は重要課題となっている。ネットワーク機器単体の省電力化手法としては、スイッチ/ルータのポート転送速度と消費電力が比例関係にあるため、トラフィック量に応じた転送速度切替が有効であり、これまでに省電力効果と切替回数を解析的に導出、評価している。しかし、転送速度切替には数十 [msec] を要し、この時間が転送性能に及ぼす影響は不明瞭である。

さらに、任意の転送フローに対して、省電力対象経路以外に代替経路が存在する場合の省電力 TE(Traffic Engineering) を考えると、代替経路にフローを迂回することで、省電力対象経路の省電力化を達成しつつ、転送性能についても改善可能であると考えられる。

そこで本研究では、省電力対象経路のみを待ち行列でモデル化し、速度切替時間と転送遅延の関係を解析的に導出、評価し、さらにネットワーク全体を考慮した省電力 TE の効果について調査する。

2 省電力対象経路における転送遅延の解析

図 1 のように、ルータインターフェースが高転送速度 (1[Gbps]) と低転送速度 (100[Mbps]) を取りうるものとし、到着するトラフィック量に応じて後者に切り替えることで省電力化を図るものとする。ここで、その切替時間は数十 [msec] を要し、その間のトラフィック転送は停止されるものとする。なお、バッファサイズは無限と仮定する。

このような経路において、高速度でパケットを転送する状態を「接続状態」、低速度に切り替えてから再度高速度に復帰するまでを「切断状態」とする ON/OFF モデルで表現する。この経路におけるパケットの到着はパラメータ λ のポアソン過程、サーバは接続状態においてサービス率 μ の指数分布に従い、高速度帯域とパケットサイズより決定されるものとする。また、接続状態、切断状態はそれぞれパラメータ α, β の指数分布に従い、平均切断時間 $1/\beta$ を転送速度切替時間とみなし、転送遅延に及ぼす影響を調査する。

2.1 状態定義と性能指標

時刻 t におけるサーバの状態を表す確率変数を $S(t)$ 、キュー長を $Q(t)$ で表し、定常状態確率を

$$\pi_{s,i} = \lim_{t \rightarrow \infty} \Pr\{S(t)=s, Q(t)=i; s=(\text{on}, \text{off}), i=0, 1, 2, \dots\} \quad (1)$$

と定義する。また、状態遷移図は図 2 となり、平衡方程式は以下のよう定義される。

$$(\lambda + \alpha)\pi_{\text{on},0} = \mu\pi_{\text{on},1} + \beta\pi_{\text{off},0} \quad (2)$$

$$(\lambda + \beta)\pi_{\text{off},0} = \alpha\pi_{\text{on},0} \quad (3)$$

$$(\lambda + \mu + \alpha)\pi_{\text{on},i} = \mu\pi_{\text{on},i+1} + \lambda\pi_{\text{on},i-1} + \beta\pi_{\text{off},i}, \text{ if } i \geq 1 \quad (4)$$

$$(\lambda + \beta)\pi_{\text{off},i} = \lambda\pi_{\text{off},i-1} + \alpha\pi_{\text{on},i}, \text{ if } i \geq 1 \quad (5)$$

これらの式を解くことにより、このスイッチにおける平均滞在時間 (平均転送遅延) $E[T]$ は以下で導出される。

$$E[T] = \frac{\frac{1}{\mu} + \frac{\alpha}{(\alpha + \beta)^2}}{\frac{\beta}{\alpha + \beta} - \rho} \quad (6)$$

(6) を指標とした数値結果を示し、スイッチ/ルータにおける許容転送遅延を 10[msec] と仮定した場合の、速度切替に伴う平均切替時間 $1/\beta$ が許容転送遅延を満たす条件等に及ぼす影響について調査する。

2.2 数値結果

$\rho = \lambda/\mu$ を省電力対象経路における正規化トラフィック量とし、 $\rho = 0.9$ において、 $1/\alpha$ や $1/\beta$ が転送遅延に及ぼす影響を図 3 に示す。 $1/\alpha$ が 50, 100[msec] と小さい、すなわち、切替頻度が高い場合、 $1/\beta$ が現状設定可能な数十 [msec] 程度であると転送遅延が急激に増大し、転送性能の大幅な劣化を引き起こすが、 $1/\alpha > 1[\text{sec}]$ 程度あれば高負荷時においても転送遅延を 10[msec] 程度に抑えることができる。

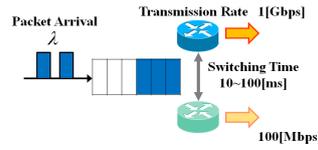


図 1: 省電力対象経路の解析モデル

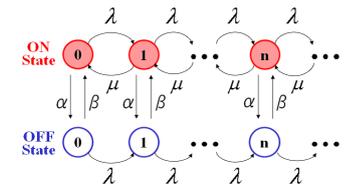


図 2: 状態遷移図

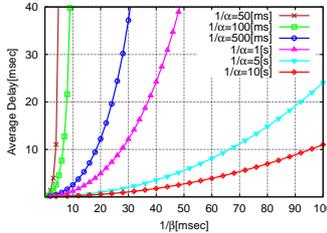


図 3: 平均転送遅延 ($\rho = 0.9$)

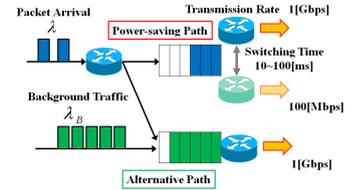


図 4: ネットワークモデル

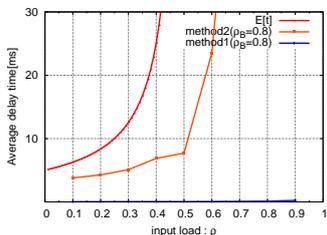


図 5: 省電力対象経路の平均転送遅延

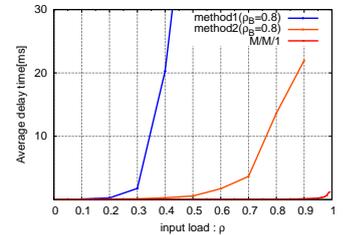


図 6: 代替経路の平均転送遅延 ($1/\alpha = 1/\beta = 10[\text{msec}]$)

3 省電力 TE における代替経路の活用

3.1 前提と活用方針

図 4 のように、省電力対象経路と代替経路の 2 経路が存在する場合を仮定する。代替経路は、常時接続状態で背景トラフィック (正規化トラフィック量 $\rho_B = \lambda_B/\mu$) が流れているものとする。このモデルにおいて、両パスの転送性能を考慮した省電力 TE を検討する。ルータに到着するパケットの転送経路を次のように決定する。

- 方式 1. 省電力対象経路が切断状態の場合は代替経路を選択。
- 方式 2. 省電力対象経路が切断状態の場合は確率 $P = \beta/(\alpha + \beta)$ で省電力対象経路、確率 $(1 - P)$ で代替経路を選択。

3.2 シミュレーション結果

図 5, 6 に省電力対象経路と代替経路の平均転送遅延を示す。代替経路の正規化トラフィック量 $\rho_B = 0.8$ 固定、 ρ 可変としている。図より、方式 1 では省電力対象経路が切断中に到着するパケットはすべて代替経路を選択するため、省電力対象経路の転送性能は大幅に向上するが、代替経路で処理するパケット数が増加し、代替経路の転送性能が著しく劣化する。一方、方式 2 のように確率的にパス選択を行い代替経路の選択率を抑えることにより、代替経路における許容転送遅延を考慮した場合、方式 1 では省電力対象経路の負荷 $\rho < 0.4$ の範囲でのみ迂回できないのに対し、方式 2 ではその範囲が $\rho < 0.8$ となる。

4 まとめ

本研究では、ポート速度切替時間がスイッチ/ルータの転送性能に及ぼす影響について、待ち行列によりモデル化し、転送遅延特性を解析的に導出して数値結果により明らかにした。さらに、ネットワーク全体を考慮した省電力 TE について、代替経路が高負荷時においても代替経路を選択する割合を調整することで、代替経路の転送性能の劣化を抑制しつつ、省電力対象経路の転送性能が改善可能であることを示した。

発表予定

内村吟太 他, “スイッチ/ルータ省電力化におけるポート転送速度切替時間の影響解析”, IEICE 総合大会, 2013 年 3 月発表予定