

所属専門分野		電子情報工学分野 (川原研究室)	
学籍番号	13674036	氏名	山下 昌裕
論文題目	時間的/空間的省電力 TE における遅延特性の性能解析に関する研究		

1 研究背景・目的

インターネットの普及・拡大に伴いネットワーク構成機器による電力消費量の増大を抑えるネットワーク省電力化を意識したトラフィックエンジニアリング (Traffic Engineering, TE) の検討が必要である。ある送受信ノード間に複数の通信経路が存在する場合、利用状況に応じて経路集約を行うことで特定経路中のルータ/スイッチなどの通信機器を低消費電力状態、もしくは稼働停止する空間的省電力 TE に加えて、低消費電力状態となる機器において強制的にトラフィックを待機させる時間的 TE を考慮することでネットワーク全体としての効果的な省電力化が期待できる。

そこで本研究では、省電力対象経路と集約経路を想定した二つの待ち行列において前者の通常転送時と低消費転送時をパケット処理の ON/OFF で表現し、待ち行列長に応じて到着トラフィックを後者に迂回、もしくは待機する時間的/空間的省電力 TE を実現するモデルを構築し、前者の省電力性能と双方の転送性能について数値解析により明らかにする。

2 解析モデル

図 1 のように省電力対象経路 (Path1) と集約経路 (Path2) の 2 経路が存在する場合を仮定する。Path1 のパケット処理は ON/OFF 状態を有し、ON 状態時には高転送速度 (1[Gbps])、OFF 状態時には転送を行わないものとし、到着トラフィック量に応じて Path2 に迂回することで省電力化を図るものとする。Path2 は常時 ON 状態であるものとする。Path1 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 ON 状態においてサービス率 μ の指数分布に従うものとする。また Path1 のキュー長を $K1$ 、Path2 のキュー長を $K2$ とし、ON 状態、OFF 状態はそれぞれパラメータ α, β の指数分布に従い、平均 ON 時間 $1/\alpha$ 、平均 OFF 時間 $1/\beta$ とする。ここで $1/\alpha, 1/\beta$ はそれぞれ ON, OFF 状態の滞在時間を表し、値が小さいほど ON, OFF 状態間の切替が頻繁に起こるものとする。

2.1 空間的省電力 TE

上記の解析モデルにおいて Path1 のキュー長に閾値 T_s を設定し、Path1 に到着するパケットが T_s を超える場合には Path2 へ迂回する。これにより Path1 のパケット損失はなくなり、Path1 の平均遅延時間の減少を図ることができる。

2.2 時間的/空間的省電力 TE

ここでは空間的省電力 TE に加えて、Path1 の ON 状態時に閾値 $T_t (> T_s)$ を設定し、ON 状態時には T_t を、OFF 状態時には T_s を超える場合に迂回をする。これによりパケット損失の改善が可能となる。 T_t を追加することで Path2 のパケットロスを抑えつつ Path1 の平均遅延時間を減少することができる。

3 性能指標の導出

図 1 の解析モデルにおけるパケットの定常状態確率 π は

$$\pi = [\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_{K1}] \quad (1)$$

$$\pi_i = [\pi_i^{(on,0)}, \pi_i^{(off,0)}, \dots, \pi_i^{(on,K2)}, \pi_i^{(off,K2)}] \quad (2)$$

と定義する。 π_i は Path1 の定常状態確率であり、 π は

$$\pi \triangleq \lim_{t \rightarrow \infty} \Pr \{q_1(t) = i, s_1(t), q_2(t) = j\} \quad (3)$$

で $q_1(t), q_2(t)$ は Path1, 2 におけるキュー長を、 $s_1(t)$ は Path1 の処理状態を表す。この定常状態確率 π を用いて Path1 における平均時間 $D1$ と Path2 におけるパケット損失率 P_{loss2} を性能指標として導出する。

4 数値結果

図 2, 3 に横軸を Path1 における正規化トラフィック量 ρ_1 とした時の $D1$ と P_{loss2} をそれぞれ示す。Path1 の省電力効果を 20% 得ようとする、Path1 における平均 ON 状態率 ($= 1/\alpha / (1/\alpha + 1/\beta)$) ($: 1/\alpha = 1/500, 1/\beta = 1/2000$) は 0.8 であるため、図 2 より迂回しない場合 (図中 no-detour) の遅延は $\rho_1 = 0.8$ 付近で急激に増加し、損失率も 1.1×10^{-2} となる。そこでまず空間的 TE の実施により $T_s = 10$ とすると遅延の増加は抑制され、パケット損失率は 0 となる。しかし、図 3 より Path2 のパケット損失率は 1×10^{-5} 程度であったのが ρ_1 付近で 2 桁程度劣化することがわかる。このように Path1 の省電力化を実施しつつ、転送性能を保证する目的で空間的 TE を実施すると、迂回先である Path2 の転送性能を大きく損なうことが

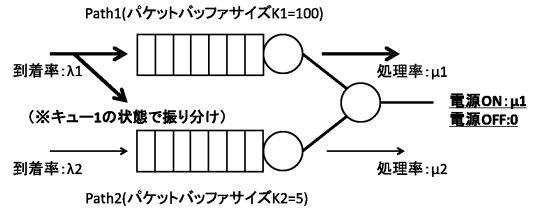


図 1: 解析モデル

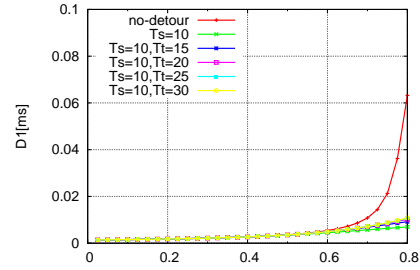


図 2: Path1 の平均遅延時間

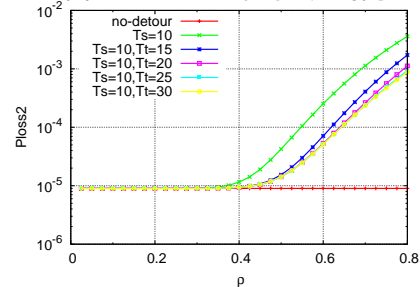


図 3: Path2 のパケットロス率

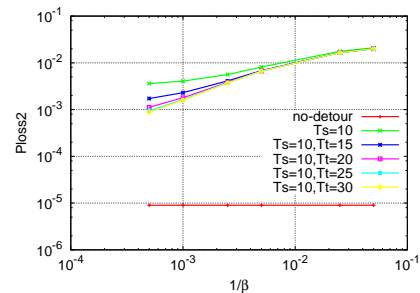


図 4: OFF 時間による Path2 パケットロスへの影響

わかる。そこで、あわせて時間的 TE ($T_t = 15 - 30$) を実施することにより Path1 における遅延の劣化を抑制し、Path2 の損失率の改善が可能となることがわかる。図 4 に横軸を Path1 における平均 OFF 時間 $1/\beta$ としたときの P_{loss2} を示す。Path1 における平均 ON 状態率は 0.8 と同じであるが、平均 OFF 時間が大きくなると P_{loss2} の改善が小さくなる。これは平均 OFF 時間が長いと ON, OFF 状態の切替が断続的になり、1 回の OFF 状態中に Path1 のキュー長が T_t に達するためである。しかし、ON, OFF 状態の切替が頻繁に起こる、すなわち平均 OFF 時間 $1/\beta$ がパケット処理と同程度の値であるほど P_{loss2} の効果的な改善が可能となることがわかる。

5 まとめ

省電力対象経路と集約経路を想定したネットワーク全体の省電力化を目的とした時間的/空間的省電力 TE の前者の省電力性能と双方の転送性能について数値解析により省電力対象経路の転送性能の劣化を抑制しつつ、集約経路の損失率の改善が可能であることを明らかにした。

研究業績

山下 昌裕 川原 憲治, "時間的/空間的省電力 TE における遅延特性の性能解析", IEICE NS/IN 研究会, 2015 年 3 月発表予定。