

学生番号	09232093	氏名	和田 秀一
論文題目	スライス化ルーターアーキテクチャにおけるバッファ/転送エンジン省電力化に関する研究		

1 はじめに

近年、ネットワーク機器が占める電力消費量が増加しているため、特に消費電力の高いルータの省電力化が急務である。従来のルータは、常に100%の能力で動作するが、転送トラフィック量に応じてルータの処理能力が変更できれば、余剰能力の機能を停止させることで、省電力化を実現できる。そこでルータのコンポーネントをLSIレベルで分割し、要求性能に応じて動作/停止させることで省電力化を実現する「スライス化(スライシング)ルーターアーキテクチャ」が提唱されている。本研究ではバッファ/転送エンジン部のスライシングによる省電力効果について、シミュレーションにより明らかにする。

2 スライシングによる省電力手法

2.1 バッファスライシング

最大サイズ B_{Max} のバッファメモリを分割して独立化し、各バッファスライスに切替閾値 B_T を設定する。利用率が B_T を超えると次のスライス起動、下回ると余剰スライスを停止する。

2.2 ポートスライシング

最大転送速度 1[Gbps] の転送エンジンをスライス化により 500/100[Mbps] に設定可能であると仮定し、到着トラフィック量に応じてポート転送速度を設定する。推定トラフィック量の $\hat{\rho}_t$ に関する切替閾値 P_{T1}, P_{T2} により、ポート転送速度 μ を次式のように設定する。

$$\mu = \begin{cases} 100[\text{Mbps}], & \text{if } 0 \leq \hat{\rho}_t < P_{T1}, \\ 500[\text{Mbps}], & \text{if } P_{T1} \leq \hat{\rho}_t \leq P_{T2}, \\ 1[\text{Gbps}], & \text{if } P_{T2} < \hat{\rho}_t. \end{cases}$$

ここで $\hat{\rho}_t$ 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から算出する。ルータにおいて、 $t-1$ 番目の計測パケット到着間隔を X_{t-1} 、 t 番目の推定値を \hat{X}_t とすると、 $\hat{X}_t = \alpha X_{t-1} + (1-\alpha)\hat{X}_{t-1}$ で、 $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ は平滑化係数である。したがって $\hat{\rho}_t$ は $\hat{\rho}_t = 1/(1[\text{Gbps}] \times \hat{X}_t)$ となる。

3 シミュレーションモデルと評価指標

バッファメモリは4スライスで構成し、バッファスライス切替時間を $10[\mu\text{sec}]$ 、切替時間中のバッファサイズは切替前のサイズとする。転送エンジン部は切替時間を $10[\text{msec}]$ 、切替時間中はパケットの転送を行わない。

パケット到着間隔は指数分布に従うものとし、平均パケットサイズを $1500[\text{Byte}]$ とする。また、省電力性能と通信性能の評価指標として以下を定義する。

省電力性能：正規化電力消費率 (R_{bp}, R_{pp})

シミュレーション時間における電力消費率

通信性能：パケットロス率 (R_l) = $\frac{\text{破棄パケット数}}{\text{送信パケット数}}$

4 シミュレーション結果と考察

4.1 バッファスライシングの効果

切替閾値 B_T の転送性能と省電力性能への影響について調査する。 $B_{Max} = 102.4[\text{KByte}]$ 、 $\mu = 1[\text{Gbps}]$ 、 $B_T = 0.7, 0.8, 0.9$ の結果を図1に示す。平均利用率 $\rho \leq 0.7$ の場合 B_T に関わらず一定の省電力効果を持てることができるが、 $\rho > 0.7$ では B_T が高い程省電力性能が得られる反面、パケットロス率は高くなる。これは B_T が高い程、バッファスライスを最大限に利用しようとするためである。したがって、許容パケットロス率を1%とすると、 $B_T = 0.8$ が最適といえる。

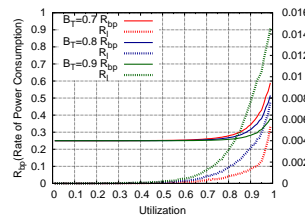


図1: 切替閾値 B_T の影響

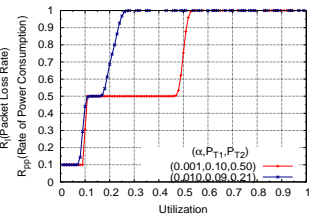


図2: 平滑化係数 α の影響

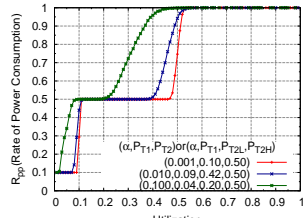


図3: P_{T2} 閾値分割の影響

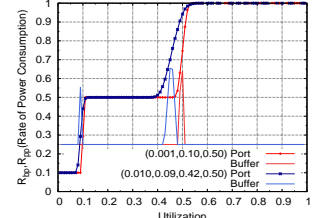


図4: バッファ/転送エンジン部の正規化電力消費率

4.2 ポートスライシングの効果

平滑化係数 α と P_{T1}, P_{T2} の関係について調査する。 $B_{Max} = 1024[\text{MByte}]$ 、 $\alpha = 0.01, 0.001$ の場合を図2に示す。 $\alpha = 0.001$ の場合、 $\rho < 0.1$ で $R_{pp} = 0.1$ 、 $0.1 < \rho < 0.5$ で $R_{pp} = 0.5$ 、 $\rho > 0.5$ で $R_{pp} = 1$ となる。これは、長期的な平均利用率 ρ に応じてポートスライスが固定的に使用されるため、理想的な省電力性能といえる。 α を高く設定すると推定値 $\hat{\rho}$ のばらつきが大きくなり、平均利用率が P_{T1}, P_{T2} 付近でポートの切替が頻繁に発生しパケットロスが生じる。パケット到着間隔に指数分布を仮定しているため、トラヒックの大きな変動が生じず、 α が小さい程優れた省電力効果を示すが、実際のトラヒック変動を考慮すると転送性能が劣化する恐れがある。そのため、 $\alpha = 0.01$ 程度に設定するのが望ましいといえる。しかしこの場合、パケットロスを抑えるためには $P_{T2} = 0.21$ とする必要があり、図2のように $\rho > 0.25$ で省電力効果が得られなくなる。

4.3 両スライシングの同時実現

ポートスライスの過度の遷移を抑制し、トラヒック変動時においてもパケットロスをなくして、省電力性能を向上するために、1[Gbps] に関する転送速度切替閾値 P_{T2} を、起動時の閾値 P_{T2H} 、停止時の閾値 P_{T2L} の2つにわけると考える。

$B_{Max} = 1024[\text{MByte}]$ 、 $B_T = 0.8$ とし、平均利用率 ρ によらず $R_l = 0$ となる閾値設定で得られる電力消費率を図3に示す。 $\alpha = 0.01$ の場合、 $P_{T2L} = 0.42$ 、 $P_{T2H} = 0.50$ とすることで $\alpha = 0.001$ の正規化電力消費率と同等の性能を得ることができる。なお $\alpha = 0.1$ の場合も、 $P_{T2L} = 0.20$ 、 $P_{T2H} = 0.50$ とすることでロスを発生させず $\rho \leq 0.4$ で省電力性能が得られることがわかる。

$\alpha = 0.01$ で2閾値を利用する場合と $\alpha = 0.001$ で1閾値の場合の省電力性能 R_{bp}, R_{pp} を図4に示す。どちらの場合も、ポートの切替が頻繁に発生する P_{T1}, P_{T2} 付近でバッファの正規化電力消費率 R_{bp} が増加している。ポートの切替時間中はパケット転送ができないため、多数のバッファスライスを利用しロスを抑制していることがわかる。そのような状況においても、バッファ/ポートの電力消費率は約70%ずつに抑制できるため、両スライシングによる省電力化は有効であることがわかる。

5 まとめ

本研究では、バッファ/転送エンジン部共に転送トラフィック量に応じて閾値を用いたスライシングを行うことで、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。