

学生番号	09232087	氏名	山下 昌裕
論文題目	空間的省電力 TE における経路集約/分散方式の性能解析に関する研究		

## 1 はじめに

トラフィックの急激な増加に伴いネットワーク機器の電力消費量が急増しており、ネットワーク機器の省電力化が急務である。これまで転送フローの経路が複数存在するネットワークにおいて、リンクの利用状況に応じた省電力経路集約/分散手法が提案され、シミュレーションにより有効性が示されているが、解析的な検証はなされていない。

そこで本研究では、対象ネットワークを待ち行列でモデル化し、各種集約/分散手法における性能指標を解析的に導出して、数値結果より提案手法の妥当性を検証する。さらに効果的な経路集約/分散手法について検討し、有効性を評価する。

## 2 既存手法

図 1 にネットワークモデルを示す。SourceDomain(SD) $x$  ( $x = 1, 2$ ) に属するノードが DestinationDomain(DD) $x$  に属するノード宛にフロー (同一送受信 IP アドレスペア, 同一プロトコル ID を有するパケット群) を送信する。ここで、パス  $x, y$  ( $y \neq x$ ) が利用可能とし、パス  $x$  を SD-DD $x$  間のフローのデフォルトパス、パス  $y$  を迂回パスとし、パスの利用率  $\rho_x$  ( $x = 1, 2$ ) に対して閾値  $T_x$  ( $0 < T_x < 1$ ) を設定し、 $\rho_x \leq T_x$  を低消費電力状態、 $\rho_x > T_x$  を高消費電力状態と定義する。

### 2.1 PSR:Power-Saving Routing

SD-DD  $x$  間に新規フローが発生した場合、デフォルトパスの低消費電力状態の維持/棄却防止時のみ迂回する。

### 2.2 GR1:Green Routing1

PSR では各パスの収容フロー数が閾値を超えている場合、到着フローはそれぞれデフォルトパスにて転送されるが、GR1 では収容フロー数が多いパスへフローを迂回することで、収容フロー数が少ないパスを迅速に低消費電力状態へ遷移させる。シミュレーションよりパスの利用率が均一の場合に有効であることが示されている。

### 2.3 GR2:Green Routing2

GR1 の条件に加えて、デフォルトパスの収容フロー数が閾値を超えているが、迂回パスは閾値未満の場合にも迂回することで、迂回パスの低消費電力状態を維持しつつ、デフォルトパスをより低消費電力状態に移行しやすくすることを目的とする。シミュレーションによりパスの利用率が不均一の場合に有効であることが示されている。

## 3 解析

各手法を適用した図 1 のネットワークを図 2 に示す閾値付き Shared  $2 \times M/M/c/c$  待ち行列システムでモデル化する。SD-DD  $x$  間のフローは、平均到着率  $\lambda_x$  のポアソン過程に従い発生し、各フローの継続時間はパラメータ  $\mu_x$  の指数分布に従うとする。パス  $x$  で転送中のフロー数を表す確率変数を  $X^{(x)}(t)$  とした時、定常状態確率  $p_{i,j}$  は次式で定義される。

$$p_{i,j} = \lim_{t \rightarrow \infty} Pr\{X^{(1)}(t) = i, X^{(2)}(t) = j; 0 \leq i, j \leq c_1, c_2\}$$

ここで  $c_x$  は最大フロー収容数、低消費電力状態で収容可能な最大フロー数は  $n_x = \lfloor c_x \times T_x \rfloor$  となる。 $p_{i,j}$  より評価指標として以下を定義する。なおフロー迂回率に関しては手法により異なるため、PSR の迂回率を記述する。

- 低消費電力状態滞在率  $P_{green}(x)$

$$P_{green1} = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{c_2} p_{i,j}, P_{green2} = \sum_{i=0}^{n_2} \sum_{j=0}^{c_1} p_{i,j}$$

- フロー迂回率  $P_{detour}(x)$

$$P_{detour1} = \sum_{j=0}^{c_2} p_{n_1,j} - p_{n_1,n_2}, P_{detour2} = \sum_{i=0}^{c_1} p_{i,n_2} - p_{n_1,n_2}$$

## 4 数値結果

両パスに対する各ドメインからの発生負荷を  $\rho_x = \lambda_x / (c_x \times \mu_x)$  と定義し、発生負荷が均一な場合と不均一な場合の影響を調査する。ここで閾値  $T (= T_x) = 0.1$ , 最大収容可能フロー数  $c (= c_x) = 40$  とする。なお、PSR, GR1, GR2 は各手法適用時の結果を示す。まず既存手法のシミュレーションと解析による数値結果が一致していることを確認したので、以降数値結果のみを示す。

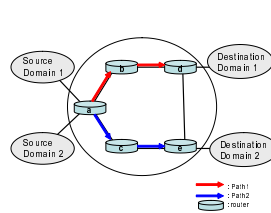


図 1: ネットワークモデル

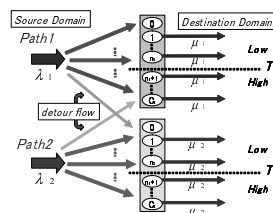


図 2: 解析モデル

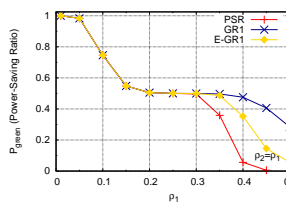


図 3: 低消費電力滞在率

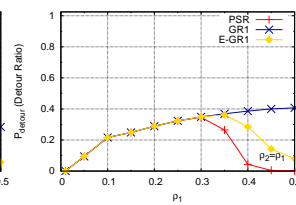


図 4: フロー迂回率

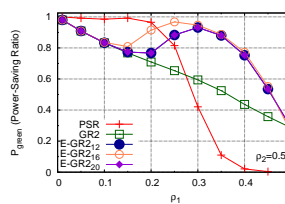


図 5: パス 1 の低消費電力滞在率

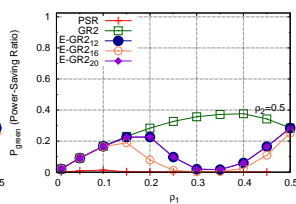


図 6: パス 2 の低消費電力滞在率

### 4.1 両パスに発生負荷が均一な場合

GR1 では両パス共に収容フロー数を超過している場合、収容フロー数が 1 本でも多いパスへフローを集約するのに対し、新たに E-GR1 を以下のように定義し結果を比較する。

- E-GR1(Enhanced-GR1)

両パスの収容フロー数の差分  $k \leq |i - j|$  の時に収容フロー数の多いパスにフローを集約する。

図 3 に各パスの低消費電力状態滞在率、図 4 に各パスのフロー迂回率を示す。なお、図 3, 4 においての差分を  $k = 25$  としている。図 4 より E-GR1 では  $\rho_1 > 0.3$  で GR1 よりも迂回率は減少するが、低消費電力状態滞在率も減少する。また両パスの収容フロー数の差分の影響として、 $k$  を変化させることで GR1 と PSR の間の調整が可能である。これは、 $k = 1$  の場合は GR1 と同じなのに対し、 $k$  を大きく設定すると PSR に近づくからである。したがって、各ドメインからの発生負荷が均一な場合には GR1 が最も高い省電力効果を得ることができる。

### 4.2 両パスの発生負荷が不均一な場合

低利用率のパスの低消費電力状態滞在率維持を図る GR2 においても 4.1 と同様に改善方法を以下に定義する。

- E-GR2(Enhanced-GR2)

両パスの収容フロー数の差分  $k \leq |i - j|$  の時に収容フロー数の多いパスにフローを集約する。

図 5 にパス 1、図 6 にパス 2 の低消費電力状態滞在率をそれぞれ示す。なおパス 2 の利用率は  $\rho_2 = 0.5$  に固定し、パス 1 の利用率は可変とする。図 5, 6 より、パス 1, 2 をデフォルトパスとするトラフィック負荷が  $\rho_1 < \rho_2$  の場合、 $0.2 < \rho_1 < 0.5$  で E-GR2 におけるパス 2 の低消費電力状態滞在率が減少するが、パス 1 において低消費電力状態滞在率が大幅に向上する。また、両パスの収容フロー数の差分の影響として  $k = 16$  で最もパス 1 の低消費電力状態滞在率が向上する。パス 2 の利用率  $\rho_2 = 0.5$  でパス 1 の利用率が低い場合において、利用率の低いパス 1 の低消費電力状態滞在率を高く維持できることを示した。したがって、両パスの発生負荷が不均一な場合では E-GR2 が有効である。

## 5 まとめ

本研究では、経路集約/分散による省電力化手法の提案と省電力効果の解析評価を行った。その結果、各パスの利用率が均一な場合には既存手法が有効であるのに対し、不均一な場合には、両パス共に閾値を超えている場合、収容フロー数の差分に応じて経路集約を行うことで利用率の低いパスの低消費電力滞在率を大幅に改善できることを示した。