

1 はじめに

インターネットの普及によるネットワーク機器の増加に伴い、ネットワークの消費電力量が急増しているため、ネットワーク全体の省電力化は重要課題である。そのような省電力化手法として、省電力分散ルーティングプロトコルや ECO (Energy Cost Saving Overlay) ルーティングがある。両手法はリンクの転送トラフィック量が少なくなるときの経路集約を行い、トラフィックの流れていないルータを電源停止や sleep 状態にすることで省電力化を図る。両手法ともシミュレーションによる有効性は確認されているが、実装における性能は明らかにされていない。したがって、両手法の実装における実現性や規模拡張性、省電力性能を調査する必要がある。

本研究では、実験用ネットワークにおいて両手法を実装し、同一ポロジにおける性能を比較し、実現性、規模拡張性について問題点や改善点を提起しながら考察する。

2 先行研究

2.1 省電力分散ルーティングプロトコル (先行研究 1)

図 1(a) の標準 OSPF (Open Shortest Path First) の動作に加え、図 1(b) のようにネットワーク内の転送トラフィック量に応じて、リンクコスト値の変更によって転送経路を動的に切り替える。図 1(b) ではトラフィックの流れなくなるルータ B の電源の停止が可能となる。

2.2 ECO ルーティング (先行研究 2)

図 2 のように、各送信ルータのトラフィックの転送経路を予め複数事前に決定しておき、ネットワーク中のトラフィック量に応じて使用経路を送信ホストが判断する。トラフィック量が少なくなるときは、各トラフィックは経路 2 を使って集約され、トラフィックの流れていないルータ B を sleep 状態にすることが可能となる。

3 実験概要

実験機器の構成を図 3 に示す。Send  $i$ -Recv  $i$  ( $1 \leq i \leq 3$ ) のホストペア間で送信端末群から受信端末群へ、中継ルータを経由しながらトラフィック転送を行う。なお、リンク速度はすべて 100 [Mbps] とする。以下に実験手順を示す。

1. 送信端末: 図 4 のような UDP トラフィックを送信する。また、ECO ルーティングでは経路の切り替え判定を行う。
2. 中継ルータ: 省電力分散ルーティングプロトコルにおいて経路表の切り替え判定を行う。

また両手法は以下のように実装する。

- 省電力分散ルーティングプロトコル  
各ルータは予めトラフィック分散用の経路表 (図 1(a) のトラフィックの流れ) とトラフィック集約用の経路表 (図 1(b) のトラフィックの流れ) の 2 つを用意して、各リンクの利用状況を 60 秒毎に調査して使用する経路表を決定する。
- ECO ルーティング  
各ルータは自身の接続リンクの利用状況を送信ホストに 60 秒毎に伝達する。送信ホストはこれらの情報を基に、予め設定しておいた 2 つの経路 (図 2) から使用経路を決定し、ソースルーティングでトラフィックを転送する。

なお、経路の切り替えには以下の閾値  $\alpha, \beta$  を用いる。

- $\alpha$  [%] ... 経路集約時の link4 の利用率が  $\alpha$  以上になる場合、経路分散に移行する。
- $\beta$  [%] ... 経路分散時の link1-4 の利用率が  $\beta$  以下になる場合、経路集約に移行する。

評価指標には転送性能としてパケットロス率  $P_l$  を、省電力性能として消費電力削減率  $R_{eco}$  を用いる。 $P_l$  は転送パケット数に対する破棄パケットの割合、 $R_{eco}$  は経路分散時に利用するリンク (図 3 の link1-3) が利用されなかった時間の割合と定義する。

4 実験結果

4.1 経路切り替え時間

先行研究 2 では、送信ホストが使用経路を決定するため、瞬時に経路の切り替えが可能である。一方、先行研究 1 では、各ルータが使用する経路表を決定するため、経路表を切り替えた後は標準 OSPF の動作によりトポロジの再構築に時間を要することとなり、実験においては約 58 秒の時間を要することが明らかにされた。

4.2 両手法の省電力性能とパケットロス率

切り替え閾値  $\alpha = 65, \beta = 30$  における両手法のパケットロス率を表 1 に、省電力性能を図 5 に示す。先行研究 2 においては、パケットロス率はほとんどなく、また 30% 程度の消費電力削減効果を実現している。一方、先行研究 1 では 4.1 節に示すように、経路表の切り替えに時間を要するため、経路集約の判定時刻と実際に経路集約が行われる時刻にずれが生じ、次の経路表の切り替え判定が適切に行えず、0.4% 程度のパケットロスが発生している。さらに先行研究 1 では経路集約の時間も短くなるため、19% 程度の消費電力削減率となっており、先行研究 2 と比較すると省電力性能は低い。

表 1: 両手法のパケットロス率

|        | パケットロス率 ( $P_l$ ) [%]     |                           |
|--------|---------------------------|---------------------------|
|        | $\alpha = 65, \beta = 30$ | $\alpha = 65, \beta = 20$ |
| 先行研究 1 | 0.430188                  | 0.000062                  |
| 先行研究 2 | 0.000004                  | —                         |

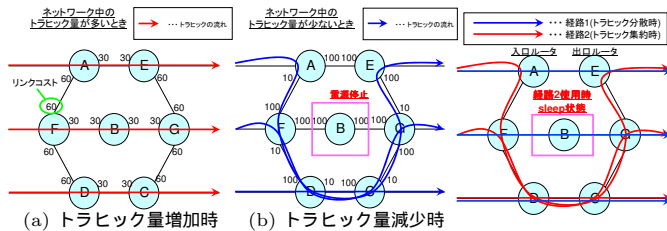


図 1: 省電力分散ルーティングプロトコル

図 2: ECO ルーティング

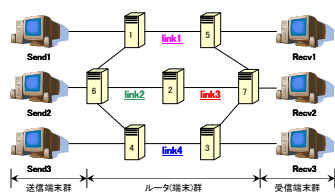


図 3: 実験機器の構成

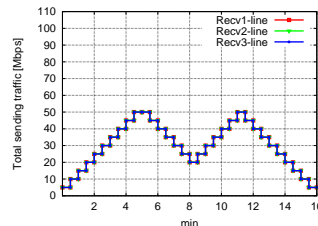


図 4: 送信トラフィック量

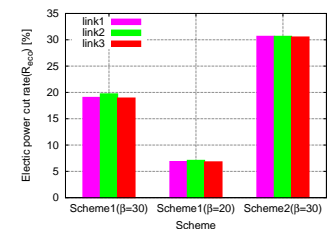


図 5: 両手法の省電力性能の比較

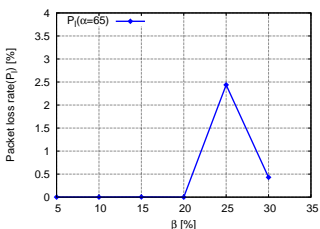


図 6:  $\beta$  と  $P_l$  の関係

4.3 切り替え閾値の影響

先行研究 1 では経路表の切り替えに時間を要する影響で、経路集約時にパケットロスが発生する。したがって、パケットロスが発生している箇所では経路集約を行わないようにする必要があり、 $\beta$  を下げることで改善できる。 $\beta$  と  $P_l$  の関係を図 6 に示す。図 6 を見ると、 $\beta \leq 20$  であればパケットロスはほとんど発生しないことが確認でき、表 1 を見ると  $\beta = 30$  の時と比較して、 $\beta = 20$  ではパケットロスが抑制されていることが分かる。しかし  $\beta$  を下げるとということは、経路分散時から経路集約に移行しにくくなる。つまり経路集約の時間がさらに短くなるため、消費電力削減率も低くなり、 $\beta = 20$  の時では図 5 のように 7% 程度まで減少する。以上より、先行研究 2 の方が、先行研究 1 より性能的に有効ということがいえる。

4.4 実現性・規模拡張性の検討

先行研究 1 では既存の OSPF の改良により、各ルータの経路表をソフトウェア的に切り替えることで実装できるため、比較的容易に実装可能である。本実験のように経路表を予め 2 つ用意する手法は有効と考えられるが、大規模ネットワークにおいてはトポロジの把握が困難であるため適さない。しかし、隣接ルータのリンクコスト値変更に伴い、自身のリンクコスト値を変更すれば、経路表を予め複数所持することなく経路分散、経路集約が可能になり、実装可能な方式と考えられる。

一方、先行研究 2 では経路の事前設定が困難である。ソースルーティングでは予め経由するルータのアドレスを指定してトラフィックを送信するため、大規模ネットワークになるとポロジを把握して経由ルータのアドレスを詳細に指定するのは困難となる。さらにソースルーティングでは、指定できるアドレスの数が限られているため、大規模ネットワークには不向きである。

以上より先行研究 1 の方が、大規模ネットワークへの適用に向いていることがわかる。

5 まとめ

2 つの省電力のための経路集約手法を実験用ネットワークに実装し、転送性能や省電力性能の比較、ならびに実現性について検討した。先行研究 1 においては経路表の切り替えに時間を要するため、トラフィックの転送性能、及び省電力性能については先行研究 2 の手法が適している。しかし、制御ネットワークが大規模な場合、端末間経路の事前設定が困難であることから先行研究 1 の手法が拡張性に優れている。以上より、省電力化を意識した自律的な経路集約、経路分散には両者の利点を生かすような組み合わせが必要となることが明らかにされた。