

学籍番号	12674034	氏名	柳 大地
論文題目	複数ルータの最短経路木を利用した省電力経路制御方式の実現に関する研究		

## 1 はじめに

インターネットの普及拡大に伴うネットワーク構成機器数、および消費電力量の増加に対処するため、ネットワーク全体の省電力化は急務である。この解決策として、転送トラフィックを特定リンク/ノードに集約し、転送に用いないリンク/ルータを低消費電力状態にすることが有効である。特定リンクの選択手法として、複数ルータの最短経路木を利用した省電力経路集約方式 (XEAR: eXtended EAR)[1] が提案され、シミュレーションによりその有効性が確認されている。しかし、トラフィック変動に伴う高次数ルータ数の調整を含めた省電力経路制御方式としての実現可能性の検討が必要である。そこで本研究では、変動トラフィックに対して転送性能を維持した省電力化を可能にする複数ルータの最短経路木を利用した省電力経路制御方式の提案・実装を行うことを目的とする。

## 2 集約リンクの選択方式: XEAR[1]

OSPF (Open Shortest Path First) によるルーティングを仮定し、各ルータはLSA (Link State Advertisement) により、同一のトポロジ情報を保持しているものとする。

次数 (接続リンク数) の高いものを代表として選択し (図 1: 赤ノード)、その最短経路木に利用されないリンクを削減リンクとする (図 1: 点線)。代表ルータ数が少ない場合、冗長性が低く、トラフィック変動により転送性能が劣化してしまうため、代表ルータは複数選択する。この場合、全ての代表ルータの最短経路木に利用されないリンクが削減対象となる。

## 3 XEAR に基づく省電力経路制御方式

提案/実装する省電力経路制御のアルゴリズムを以下に示す。なお本方式において、代表ルータはトラフィック変動に伴って次数の高い順に複数選択され、同次数のルータがある場合は、ノード番号の小さい順に選択される。

### i 経路切替判定

経路切替判定を行うために、代表ルータの持つリンクの利用率に閾値を設定する。この閾値には、代表ルータ数に応じた経路集約後、パケットロスが発生しないリンク利用率の上限値を設定する。切替判定時のリンク利用率が閾値未満の場合、その閾値に対応する代表ルータ数による経路集約を全ルータに指示し、閾値以上であればリンク復旧を指示する。なお、切替判定は選ばれた全ての代表ルータにて行う。

### ii リンクコスト変更

全ルータは受け取った指示内容 (経路集約/リンク復旧) に応じて、以下の処理を実行する。

経路集約: 指示された代表ルータ数における経路集約によって削減対象となるリンクを算出し、コストを変更する。

リンク復旧: 削減対象リンクコストを初期値に変更する。

### iii 経路切替

コスト変更後、全ルータはLSAにより新トポロジを通知し、経路切替を行う。

## 4 実験環境

テストベッドネットワーク: 本実験のトポロジ構成を図 2 に示す。トラフィック送信コマンド iperf を用いて、Sender $i$ -Receiver $j$  ( $1 \leq i \leq 3, 1 \leq j \leq 3$ ) 間でトラフィック転送する。リンク速度は全て 100 [Mbps] である。本実験において、代表ルータ数は 2 つまでとし、node0, 3 の順に選ばれる。

送信トラフィック: UDP トラフィックを 30 秒周期で 20, 25, 30, 25, 20, ... [Mbps] と変動させながら 10 分間送信する。

評価指標: 省電力性能/通信性能の評価指標を以下に示す。

- 省電力性能:  $\text{リンク削減率} = \frac{\text{削減リンク数}}{\text{全リンク数}} \times 100$
- 通信性能:  $\text{パケットロス率} = \frac{\text{破壊パケット数}}{\text{送信パケット数}} \times 100$

## 5 実験結果/考察

### 5.1 経路切替時間の調査

XEAR では、経路集約後のトポロジにおける特性等を検証しており、経路切替に要する時間は考慮されていない。そこで、実装における経路切替時間を調査する。切替判定間隔 30 秒、切替閾値 0.5 として、代表ルータ数 1 の経路集約を行った場合の node0-8 間に流れるトラフィック量の推移を図 3 に示す。図 3 中の青丸で囲んだ部分に着目すると、30 秒周期のトラフィック変動後、さらに約 3~4 秒後にトラフィック量が変化している。これは、経路切替によるものであり、このことから経路切替時間には約 3~4 秒要することがわかる。この時間、コスト変更後の OSPF の経路再構築に要する時間であると考えられる。本実装では、実装上の誤差等も考慮して経路切替時間を 5 秒として制御を行なっていく。

### 5.2 経路切替閾値の調査

代表ルータが切替判定に用いる切替閾値について調査する。代表ルータ数 1, 2 の経路集約状態における、node0, 3 でのトラフィック量の変動に対するパケットロスの発生状況を図 4 に示す。まず、node3 では、代表ルータ数 1 の集約 (node3(ER:1)) においては利用率が 0.31 以上、代表ルータ数 2 の集約 (node3(ER:2)) において

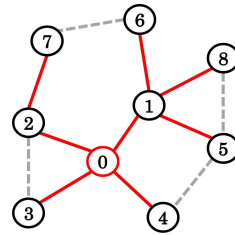


図 1: XEAR の集約リンク

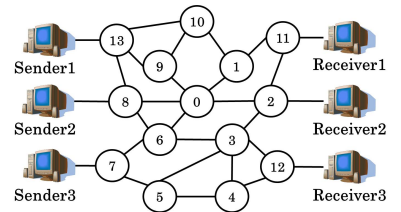


図 2: テストベッドネットワーク

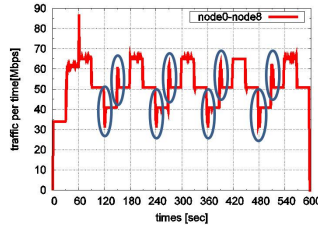


図 3: node0 のトラフィック量の推移

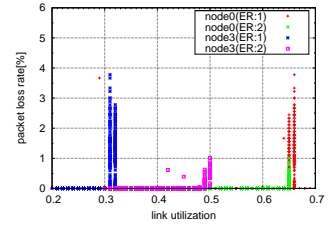


図 4: リンク利用率に対するパケットロスの発生状況

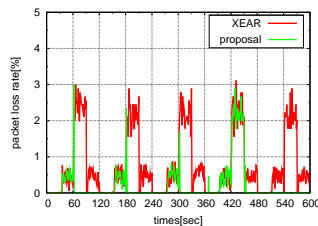


図 5: XEAR と提案手法の比較

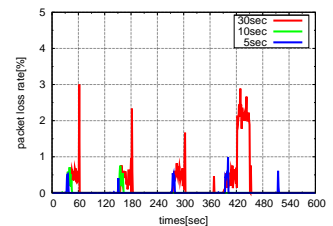


図 6: 経路切替判定周期の影響

は利用率 0.49 以上でパケットロスが発生している。次に node0 では、代表ルータ数 1 の集約 (node0(ER:1))、代表ルータ数 2 の集約 (node0(ER:2)) とともに利用率が 0.65 以上でパケットロスが発生している。これは、最初に選ばれる代表ルータには最もトラフィックが集中しやすく、代表ルータ数を増やしても他の代表ルータよりも早く収容トラフィック量の限界に達してしまうことが原因であると考えられる。したがって、node0 における切替閾値を 0.65、node3 における代表ルータ数 1 の切替閾値を 0.31、代表ルータ数 2 の切替閾値を 0.48 として制御を行う。具体的には、node0 の利用率が 0.65 未満において、node3 の利用率が 0.31 未満の場合には代表ルータ数 1 の経路集約を行い、0.31 以上 0.48 未満なら代表ルータ数 2 の経路集約を行う。それ以外の場合においては、リンク復旧を行う。

### 5.3 変動トラフィックに対する提案手法の有効性

XEAR による制御を行った場合 (XEAR) と提案手法を用いた場合 (proposal) におけるパケットロス率を比較した結果を図 5 に示す。XEAR では、一度経路集約を行うとその後も常に集約状態を維持したままとなるため、通信性能の劣化を抑制できず、図 5 においてもトラフィックの増加に伴って通信性能が劣化してしまっている。提案手法では、ロス発生後の経路切替判定においてリンク復旧を行うことにより、通信性能の劣化を抑制できていることが確認できる。このことから、提案手法は先行研究に比べ、通信性能の劣化を抑制した省電力経路制御が可能である。

### 5.4 経路切替判定周期の検討

経路切替判定周期を 5 (5sec), 10 (10sec), 30 (30sec) 秒とした場合のパケットロス率を比較した結果を図 6 に示す。この図から、短い周期にした方が細かい制御を行うことができるが、5 秒間隔での制御よりも 10 秒間隔での制御の方がパケットロスを抑えることができている。これは、経路切替時間と同じ周期での切替判定を行うことにより、経路切替が完了する前に次の切替判定を行い、本来行うべきでない切替を行ってしまう可能性がでてくるためであると考えられる。よって、経路切替周期は経路切替時間より長い時間をとる必要がある。

## 6 まとめ

本研究では、経路集約後の転送性能劣化の抑制のためのリンク復旧も考慮した省電力経路制御方式の提案を行い、テストベッドネットワークにおける実装実験を通して、転送性能を維持した動的省電力経路制御が可能であることを示した。

### 参考文献

- [1] 川本 和樹, 田村 瞳, 川原 憲治, 尾家 祐二, "最短経路木を利用した省電力経路制御における集約ルータ/転送経路選択方式", 信学技報 IN2012-149, Jan.2013