

学籍番号	12674007	氏名	蒲原 達也
論文題目	自律的な省電力 TE のためのリンク切断/復旧アルゴリズムに関する研究		

## 1 はじめに

近年、インターネット普及に伴う消費電力の増加により、ネットワークの省電力化が課題である。ネットワーク機器は設定帯域により消費電力が一意に決まるため、低利用リンクを経由するトラフィックを集約し、未利用リンクを低消費電力状態に移行する手法が有効である。切断対象リンクの選択方法として、リンクにおける媒介中心性に着目した重要度 [1] や、最短経路木を利用した XEAR[2] による手法が提案されているがトラフィック状況に応じた切断リンクの復旧手法は検討されておらず、トラフィック変動に対する切断/復旧アルゴリズムの検討が必要である。そこで本研究では、各ノードが局所的な情報から自律的にリンクの切断/復旧の制御を行うことで通信性能と省電力性能の双方を考慮した省電力 TE を実現するためのアルゴリズムについて検討する。

## 2 省電力 TE

各ノードは「転送トラフィック量」、「パケットロス」、「自身および隣接ノードの接続リンク数」を局所的な情報として利用可能であるものとする。以下に説明するリンク切断/復旧に関して 100[msec] ごとに判断する。

### 2.1 切断リンク選択手法

ノード  $N_{self}$  がリンクの切断を判断するにあたり、そのリンク利用率が小さい場合を対象とするが、[1] では  $N_{self}$  および対向ノード  $N_{pair}$  の接続リンク数  $u, v$  を利用し、切断閾値  $\alpha$  に対して式 (1) を満たすリンクを切断することが有効であることが示されている。このとき、 $N_{self}$  の局所平均利用率を  $\lambda_{self}$  とする。

$$\lambda_{self} \times (u + v)^n \leq \alpha \quad (n = 0.05) \quad (1)$$

なおノードの接続性を維持するため、最大接続次数ノードからの全ノードへの最短経路木を構成するリンクは切断対象外と仮定する。

### 2.2 復旧ノード選択手法

トラフィック変動によりパケットロスが発生する可能性があるため許容値を 1[%] と設定し、それを満たすためのリンク復旧手法を以下検討する。

#### トラフィック状況を活用した復旧 (手法 1)

切断リンクを有するノード  $N_{self}$  における残余リンクの平均リンク利用率  $\lambda'_{self}$  と式 (1) を満たす最大の  $\lambda_{self}$  を比較し、 $\lambda'_{self} \geq \lambda_{self}$  を満たす場合はトラフィックが集中し、通信性能が劣化している可能性があるため切断リンクを復旧する。しかし、式 (1) において  $N_{self}$  は切断制御により自身と隣接する接続リンク数が変化し、また切断されたリンク先の接続リンク数を評価できないため、自身の残余リンク数を  $k(1 \leq k \leq u)$  とし、残余リンクに接続されているノードの平均次数を  $w$  とする。式 (2) を満たす場合に、 $N_{self}$  の切断リンクを全て復旧する。

$$\lambda'_{self} \geq \frac{\alpha}{(k + w)^n} \quad (2)$$

#### パケットロス情報を活用した復旧 (手法 2)

パケットロスを検出したノードは、通信性能の劣化を抑えるために切断しているリンクを復旧する。

#### トラフィックおよびロス情報を活用した復旧 (手法 3)

手法 1, 2 を組み合わせた制御を行う。手法 1, 2 における条件の一方でも満たした場合はリンクを復旧する。

## 3 シミュレーションモデルと評価指標

NS-2(Network Simulator Ver.2) により以下の環境で評価する。  
 ネットワークモデル: スケールフリーネットワークの BA(Barabasi-Albert) モデルを想定する。ノード数 100, 送信ノード 50, リンク数 198 本, リンク帯域は 100[Mbps] とする。  
 トラフィックモデル: 送信ノードが 1000[byte] の UDP パケットを 1[Mbps] で送信し、宛先を増減させてトラフィック量を調整する。ネットワーク全体のトラフィック量を  $\lambda_{nw}$  で表す。トラフィック変動は、シミュレーション区間を分割し宛先数を増減することで再現し、 $\lambda_{nw} \pm \Delta\lambda_{nw}$  と表す ( $0.004 \leq \Delta\lambda_{nw} \leq 0.036$ )。宛先の選び方は 10 通りであり、次に示す評価指標において平均をとる。

評価指標: 省電力性能と通信性能を以下に定義する。

$$\text{省電力性能: リンク切断率} = \frac{\text{切断リンク数}}{\text{全リンク数}} \times 100[\%] \quad (3)$$

$$\text{通信性能: パケットロス率} = \frac{\text{破棄パケット数}}{\text{送信パケット数}} \times 100[\%] \quad (4)$$

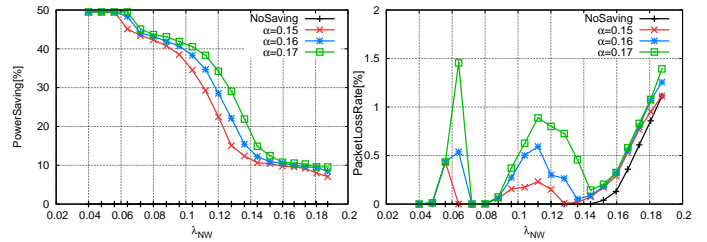


図 1: 省電力性能

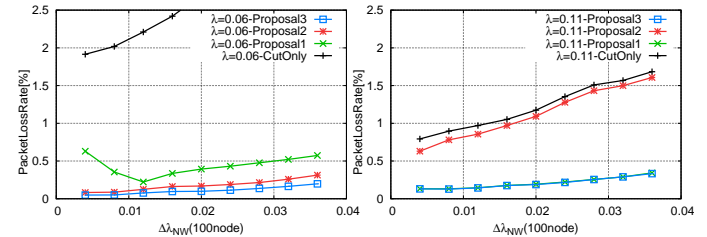


図 2: パケットロス特性

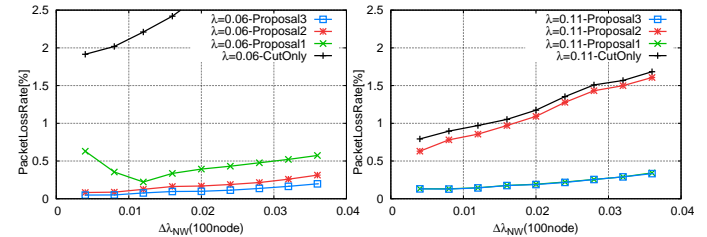


図 3: トラフィック変動時のパケットロス特性 ( $\lambda_{nw} = 0.06$ )



図 4: トラフィック変動時のパケットロス特性 ( $\lambda_{nw} = 0.11$ )

## 4 結果と考察

### 4.1 リンク切断に関して

ネットワークトラフィックが一定の状況で、切断閾値  $\alpha$  に従ってリンクを切断した時の省電力性能とロス特性をそれぞれ図 1, 2 に示す。図 1 より、 $\lambda_{nw}$  が大きくなるにつれ切断リンク量が少なくなるのがわかる。図 2 より、パケットロスの許容値 1[%] を満たす  $\alpha = 0.16$  を切断閾値とする。

### 4.2 リンク復旧に関して

図 2 より  $\lambda_{nw} = 0.06, 0.11$  のときパケットロスが発生しているが、図 1 より  $\lambda_{nw}$  に対してリンクの切断量が多く輻輳状態であることがわかる。この時にトラフィック変動が生じるとパケットロスを許容できない可能性があるため、提案手法が通信性能の劣化を抑制する手法として妥当であるか調査する。 $\lambda_{nw} = 0.06, 0.11$  に対してトラフィック変動  $\Delta\lambda_{nw}$  を与えたとき、各提案手法によるリンク復旧制御がロス特性に及ぼす影響を図 3, 4 にそれぞれ示す。

#### 4.2.1 トラフィック情報による制御

図 3, 4 の CutOnly より、切断制御のみでは全ての  $\Delta\lambda_{nw}$  に対してパケットロスが 1[%] を超えており、トラフィック変動に対応できていない。手法 1 に従ったリンク復旧を行うことで  $\lambda_{nw} = 0.06, 0.11$  ともに各  $\Delta\lambda_{nw}$  に対して通信性能を維持できていることがわかる。しかし、 $\lambda_{nw} = 0.06$  において  $\Delta\lambda_{nw}$  が小さい場合はロス特性が不安定であり、平均的には 1[%] 以下であるがトラフィック状況によっては 1[%] を超える場合もあるため改善の余地がある。

#### 4.2.2 パケットロス検知による制御

図 3 より、手法 2 を用いることで  $\Delta\lambda_{nw}$  が小さい場合も、手法 1 に比べてトラフィック変動による通信性能の劣化を抑制できていることがわかる。しかし、図 4 より、 $\Delta\lambda_{nw} \geq 0.016$  のトラフィック変動に対応できていない。これは、パケットロスの発生箇所が接続リンク数の高いノードに集中し、復旧を判断すべきノードが復旧を判断できないためである。このことから、パケットロスを検知する制御は  $\lambda_{nw}$  が小さい場合に有効であるといえる。

#### 4.2.3 トラフィックとロス情報による制御

トラフィック情報やパケットロスのみを局所的な情報として利用する復旧制御では不十分である範囲があるため、2つを組み合わせた制御によるロス特性を図 3, 4 の Proposal3 に示す。 $\lambda_{nw} = 0.06$  のとき、手法 1 や手法 2 に比べ通信性能の劣化を抑制できており、 $\lambda_{nw} = 0.11$  のときも手法 2 と同等のロス特性を示すことから最もパケットロスを抑制したリンク復旧制御といえる。

## 5 まとめ

局所的な情報としてトラフィック状況とパケットロス検知によるリンク復旧制御を行うことで通信性能を考慮した通信が可能であることが明らかになった。

### 参考文献

- 岩村 幸歩 他, 省電力経路制御におけるトポロジ情報を利用した削減対象リンク選択方式 電子情報通信学会 信技技報 Mar.2012
- 川本 和樹 他, 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