

## 1 はじめに

近年、インターネットの普及拡大に伴いネットワーク機器が増加しており、ネットワーク全体の省電力化は急務である。またネットワーク自体の構造も大規模化し、ランダムネットワークとは異なる性質が示されている。ランダムネットワークは図 1 の左側の様にノードの接続リンク数である次数が二項分布に従う。しかし、近年のインターネットにおいては図 1 の右側の様に次数が冪乗分布に従うスケールフリー性を有することが示されており、次数の高いノードが少数と次数の低いノードが多数存在し、高次数ノードの接続リンクほど利用率が高く低次数ノードの接続リンクほど利用率が低くなることが明らかにされている。

本研究では、経路制御プロトコル OSPF によるリンクコスト制御を用いて、経路集約によるネットワークレベルの省電力化を行うことを想定し、スケールフリーネットワークの特徴と制御対象リンクの関係を調査し、ネットワークトポロジの特徴を考慮した省電力化手法の指針を明らかにする。

## 2 提案手法

まず、リンクに対する重要度を定義する。これは全ノードペア間にフローが存在することを仮定した場合の各リンクにおける論理的なフローの重なり数を表す多重度を全ノードペア数で正規化した値で、以下の式で定義する。図 2 に多重度と重要度の例を示す。なお、多重度はリンク利用率と強い相関関係があることが明らかにされている。

$$\text{重要度} = \frac{\text{多重度}}{\text{全ノードペア数}}$$

提案手法ではリンクの重要度に制御閾値 を設け、重要度が 以下のリンクのコストを他のリンクに比べて充分高く設定し、そのリンクを経由するフローを迂回させ、リンクを低速状態に移行することで省電力化を図る。

## 3 シミュレーション評価

スケールフリーネットワークとして BA(Barabasi-Albert) モデル、ランダムネットワークとして Waxman モデルのネットワークに提案手法を適用し ns-2 を用いたシミュレーションにより評価する。それぞれノード数 100、最低次数 2、平均次数 3.94、リンク帯域 100[Mbps] とする。トラフィックモデルは、1000[byte] の UDP パケットを 1[Mbps] の CBR で送信するものとする。このとき、無制御時の平均リンク利用率をネットワークトラフィック量と定義し、1 ノードあたりのトラフィック送信ノード数が変化することによるネットワークトラフィック量の影響を調査する。

シミュレーション結果における性能評価指標として設定閾値に対する正規化制御可能リンク数を電力削減率と定義する。また、通信性能への影響は平均リンク利用率、平均転送時間、平均パケットロス率によって評価する。

## 4 シミュレーション結果・考察

### 4.1 ネットワーク構造による手法の有効性の比較

スケールフリーネットワークとランダムネットワークにおいて提案手法を適用し、制御対象リンクのコストを無限大(リンク除去)に設定してシミュレーションを実行した。図 3 は、横軸を、縦軸を制御可能リンク数として、提案手法の性能を示す。BA モデルでは = 0.011、Waxman モデルでは = 0.009 以上で全接続リンクが制御対象となる孤立ノードが発生、即ち転送不可となるフローが生じる。このときの電力削減率を最大電力削減率と定義すると、BA モデルでは約 38%、Waxman モデルでは約 9.5% となり、提案手法はスケールフリーネットワークにおいてより有効性が高いといえる。

また、図 4 には、無制御時のネットワークトラフィック量(図中 traf)を変更した場合の と平均リンク利用率の関係を示す。ネットワークトラフィック量が多いほど、制御に伴い平均リンク利用率の増加が大きくなるが、転送不可となるノードが発生する の値は変化せず、この値はトポロジの状態のみに依存することが明らかになった。

表 1: ネットワークトラフィック量に対する最大電力削減率

NW トラフィック量	制御リンク数	電力削減率
0.05	148	0.375
0.1	148	0.375
0.15	130	0.329
0.2	24	0.061
0.3	0	0

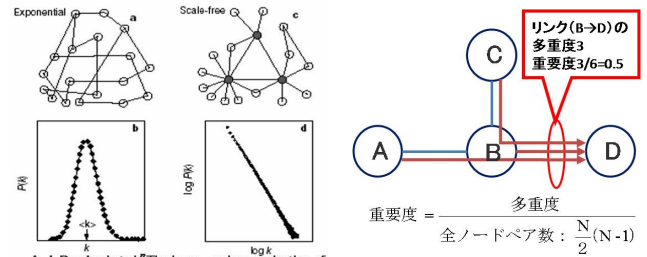


図 1: ネットワークトポロジと次数分布

図 2: 重要度の例

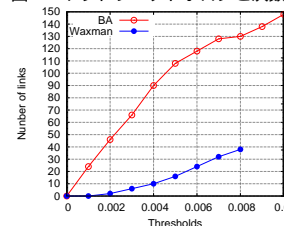


図 3: 制御可能リンク本数

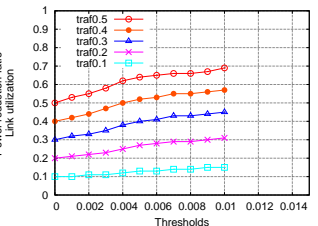


図 4: 平均リンク利用率 (BA)

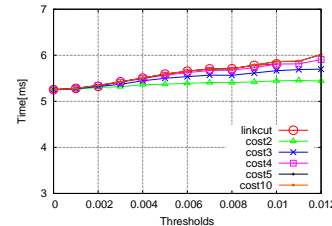


図 5: 平均転送時間 (BA)

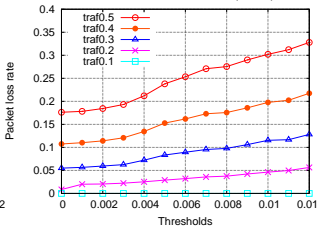


図 6: パケットロス率 (BA)

### 4.2 制御リンクの設定コストの影響調査

実際のネットワークでは、リンクを除去せず対象リンクを経由するフローのみを迂回することになるため、コスト無限大に代わる制御リンクのコスト調査を行った。図 5 に、制御リンクのコストを 2, 3, 4, 5, 10 とした場合の に対する平均転送時間を示す。図 5 からわかるように、コスト 5 以上でコスト無限大(図中 linkcut) と同等の結果が得られた。この値もネットワークトラフィック量によらず一定であったため、トポロジのみに依存してリンクコストを設定可能であることが明らかになった。

### 4.3 ネットワークトラフィック量の影響調査

BA モデルにおいて、ネットワークトラフィック量の影響を調査し、図 6 に に対する平均パケットロス率を示す。図 6 から、ネットワークトラフィック量が増加するとパケットロスが発生するため、通信性能への影響を考慮してを設定する必要があることがわかる。平均パケットロス率が 1% 以下となる最大閾値を最適閾値と定義し、ネットワークトラフィック量と最大電力削減率を表 1 に示す。ここで、ネットワークトラフィック量 0.3 以上では無制御時において既にパケットロス率が 1% を越えており制御に適さないが、ネットワークトラフィック量 0.1 では約 38% の電力削減が可能であることがわかる。

## 5 まとめ

本研究ではリンクの重要度を閾値としたコスト制御による省電力化経路制御を提案し、提案手法の有効性と通信性能への影響を調査した。その結果、ランダムネットワークと比較するとスケールフリーネットワークにおいて有効性が高いことが確認された。

また、コスト変更の対象となるリンクは、トポロジの状態のみで定められるが、制御閾値は転送性能に応じて調整する必要があることも示した。