

1 はじめに

インターネットの普及拡大に伴う消費電力の増加により、ネットワーク全体を考慮した省電力化手法が必要とされている。リンク転送速度 x と消費電力 P が $P \propto x^3$ となるため、転送トラヒックの経路集約によるリンク（ルータ）の削減が考えられる。

経路制御プロトコル OSPF (Open Shortest Path First) をベースとしたリンクコスト変更による省電力経路集約手法として、代表ルータ (ER: Exporter Router) の隣接ルータ (IR: Importer Router) が ER のスパニングツリー (SPT: Shortest Path Tree) を用いて経路集約を行う EAR (Energy Aware Routing) アルゴリズムが提案されている。しかしこの手法では、ネットワーク規模が大きくなると ER に隣接しないルータが増加するため、経路集約により削減可能なリンクの割合（リンク削減率）が低下すると考えられる。そこで本研究では、全てのルータが ER の SPT を利用して経路集約を行う手法を提案する。シミュレーションにより両手法の省電力性能と通信性能への影響を比較し、提案手法の有効性を検討する。

2 経路集約手法

ネットワーク中の各ルータは 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。両手法とも ER を選択し、切断リンクを決定し、LSA を用いて切断リンクのコスト変更を行ったトポロジ状態を通知して各ルータの OSPF の経路制御表を更新する。ER は次数の高いルータから順に選択され、複数設定する場合は隣接しないことを条件とする。

2.1 EAR アルゴリズム (既存手法)

ER の隣接ルータである IR のみが ER のスパニングツリーを利用して経路集約を行う。経路集約の例を図 1 に、各 IR の動作を以下に示す。ルータ 0 を ER とし、その隣接ルータ 1, 2, 3, 4 が IR となる。

1. LSA 情報を用いて ER をルートとした SPT を計算する (図中赤矢印)
2. 計算した SPT において、自身と ER の間のリンクの向きを変更する (図中青矢印) ことで自身のルーティングツリー MPT (Modified Path Tree) を作成する。
3. MPT を用いて転送する際、自身からの出線リンクのうち、転送に用いないリンクを切断リンクとする。例えばルータ 1 の場合、ルータ 5 へ向かうリンクが切断リンクとなる。

ER を複数設定する場合、IR は複数の ER を持たないことを条件とし、各 ER に対して IR が切断リンクとしたリンクを全て切断する。

2.2 提案手法

既存手法では IR のみが経路集約を行うため、ER 数に対するリンク削減率が低い。また ER 同士が隣接せず、IR が複数の ER を持たないという条件から、ER を増加してもリンク削減率が上昇しにくいと考えられる。

そこで提案手法では全てのルータが ER の SPT を利用して経路集約を行うよう変更する。提案手法による経路集約の例を図 2 に示す。全ルータが ER への経路を確保し、転送に用いないリンクを切断する。例えば既存手法ではリンク削減を行わないルータ 5 も、ルータ 1 およびルータ 8 へ向かうリンクを切断することになる。ER を複数設定する場合、各 ER の SPT に利用されないリンクのみが切断される。

3 シミュレーション評価

ns-2 (Network Simulator version 2) を用いたシミュレーションにより評価する。

トポロジモデル

BA (Barabasi Albert) モデルにより生成したスケールフリーネットワークを用いる。ノード数 100, 最低次数 2, 平均次数 3.94, 各リンク帯域 100[Mbps] とし、全リンクコストを 1, 切断リンクのコストを 10 とし OSPF による経路制御を行う。

トラヒックモデル

全ノードがランダムに選択した複数の宛先ノードへパケットサイズ 1000[Byte] の UDP トラヒックを送信レート 1[Mbps] の CBR で送信する。

評価指標

省電力性能と通信性能の評価指標を以下に定義する。

- 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: $\text{パケットロス率} = \frac{\text{破棄パケット数}}{\text{送信パケット数}} \times 100$

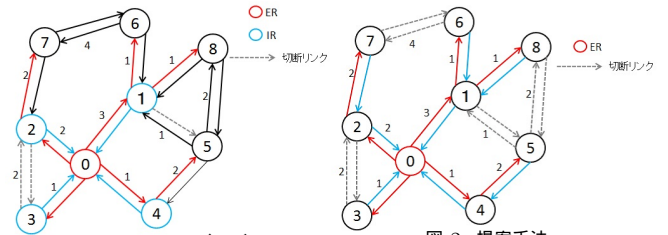


図 1: EAR アルゴリズム

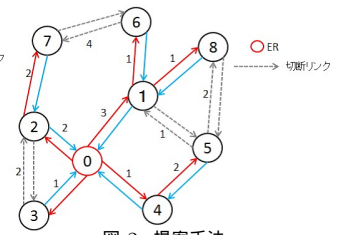


図 2: 提案手法

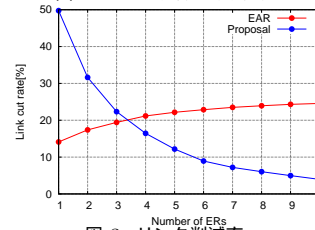


図 3: リンク削減率

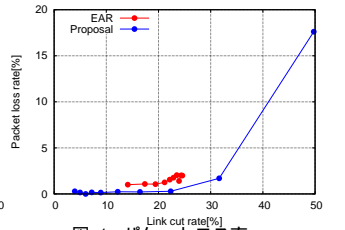


図 4: パケットロス率

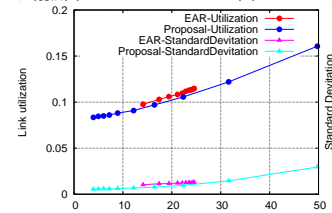


図 5: 平均リンク利用率と標準偏差

4 シミュレーション結果・考察

図 3 に ER 数に対するリンク削減率を示す。既存手法 (図中“EAR”) では、ER 数の増加に伴ってリンク削減率が増加する。これは、既存手法では各 ER に対して切断リンクとしたリンクを全て切断するためである。しかし、IR が複数の ER を持たないという条件から、複数の ER に隣接している場合でも 1 つの ER に対してのみ IR となるため、ER を増加させていくと IR となるルータは減少する。そのため、切断リンク数が増加せず、リンク削減率が上昇しにくくなる。一方、提案手法 (図中“Proposal”) では各 ER の SPT に利用されないリンクのみを切断するため、ER が増加すると転送に用いられるリンクが増加し、リンク削減率は低下する。両手法を比較すると、提案手法の方が ER 数に対するリンク削減率の増減幅が大きいことがわかる。

両手法においてリンク削減率が同じ場合の通信性能への影響を調査するため、リンク削減率を横軸として図 4 にパケットロス率、図 5 に平均リンク利用率 (図中“Utilization”) とリンク利用率の標準偏差 (図中“Standard Deviation”) を示す。図 4 よりリンク削減率が等しい場合、提案手法の方がパケットロス率が低いことがわかる。また図 5 よりリンク利用率、標準偏差とも提案手法の方が低いことが確認できる。これは既存手法に比べて提案手法では利用率の高いリンクが少なく、負荷分散されたためであり、その結果パケットロスが少なくなったものと考えられる。既存手法では代表ルータ ER の隣接ルータ IR が出線リンクを切断し、ER を経由して転送するため ER 付近のリンクに負荷が集中する。一方提案手法では、ER の増加により、ER やその隣接ルータ付近のリンクを切断しにくくなるため、ER 付近のリンクに負荷が集中しにくい。

図 3 においてリンク削減率が同程度となる ER 数 3 の場合、ER の接続リンクのうち平均利用率が 90% 以上となるリンク本数は既存手法が平均 5.7 本、提案手法が 4.0 本であり、提案手法の方が利用率の高いリンクが少なく、負荷分散されていることが確認できる。

以上より EAR アルゴリズムに比べ、提案手法ではパケットロスを抑制したリンク削減が可能であることがわかる。

5 まとめ

本研究では省電力化手法として、全てのルータが代表ルータのスパニングツリーを用いる経路集約手法を提案し、省電力性能と通信性能への影響から有効性を調査した。結果より、リンク削減率とパケットロス率の点から提案手法の有効性を示した。