

学生番号	11232092	氏名	頼近 惇志
論文題目	省電力経路集約問題の定式化と解決アルゴリズムの検討に関する研究		

1 はじめに

インターネットの普及拡大に伴う消費電力の増加により、ネットワークの省電力化が重要である。そこで低利用率のリンクを経由するトラフィックを迂回させて他経路に集約し、未使用リンク/ルータを低消費電力化する省電力経路集約が有効と考えられる。このような手法として、これまでにリンク重要度を利用した手法やEAR(Energy Aware Routing), それを改良したXEAR(eXtended EAR)が提案, 調査されている。しかし, 経路集約に関する最適状態が未定義で各手法による達成度は不明である。

そこで本研究では, まず省電力経路集約問題を定式化し, 最適経路集約のための解決アルゴリズムを検討する。

2 省電力経路集約問題

2.1 省電力経路集約

ネットワーク省電力化には, 低利用率リンクを経由するトラフィックを他経路へと迂回させる経路集約によりそのリンクを停止/削除することが有効であるが, 停止/削除リンクの増加は, トラフィック変動時に一部ノード/リンクへの負荷集中による転送性能の劣化につながる。さらに過度なリンク削除によりノードが孤立しネットワークの接続性が保証されなくなるおそれがある。そこで, 転送性能を考慮しつつ, 省電力性能を最大化することが目的となる。

2.2 定式化

省電力性能の指標は利用リンク数とし, 転送性能の指標はリンク利用率と強い相関があるリンク多重度を用いる。また, ネットワークトポロジは無向グラフとする。

- 目的: 利用リンク数の最小化

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

- N : ネットワークを構成するノードの集合
- $x_{ij} = \{0, 1\} (\forall i \in N, \forall j \in N, i \neq j)$
ノード ij 間リンクが存在: 1, 存在しない: 0
- $y_{ij} = \{0, 1\} (\forall i \in N, \forall j \in N, i \neq j)$
ノード ij 間リンクを使用: 1, 使用しない: 0

- 制約条件: リンク多重度の最大値の抑制

$$\sum_{k \in N} \sum_{l \in N} m_{ij}^{kl} \leq \alpha \quad (2)$$

$$(\forall i \in N, \forall j \in N, i \neq j, k \neq l)$$

- $m_{ij}^{kl} = \{0, \frac{1}{2}\}$: ノード kl 間転送を想定した時のノード ij 間リンクの利用状況を示す。 kl 間の最短経路数が Z である場合, 該当リンクを含む経路で負荷分散して収容することを示す。

2.3 解決アルゴリズム

解決アルゴリズム (図1) の経路集約手順を以下に示す。

1. 代表ノード (最高次数ノード) の探索
2. 代表ノードにおける最短経路木の作成
3. 各リンクの多重度の計算
4. 最大多重度 $> \alpha$, 以下の手順に従う
 - 未使用リンクの両端ノード間のホップ数が最大となる2ノード間のリンクを追加

※ 最大ホップ数となる経路が複数存在する場合, 該当リンクの両端ノードの次数和が最大のもをを追加リンクとして選択

5. 以降, 制約条件を満たすまで手順3, 4を繰り返す

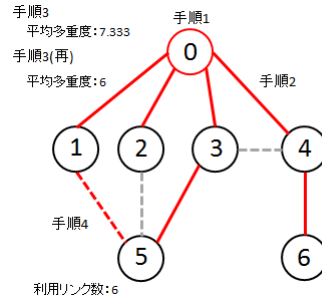


図1: 解決アルゴリズムによる経路集約

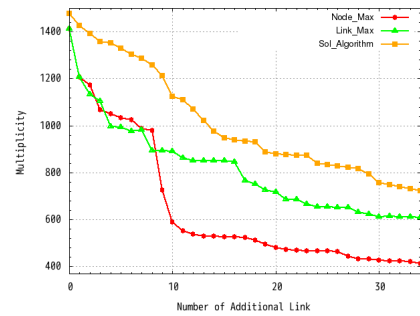


図2: 最大リンク多重度の変化

3 解決アルゴリズムの検討および評価

- ネットワークノード数: 7 / 100
- 前提: 全ノード間通信, 最小ホップ数経路制御

まず7ノードネットワークにおいて解決アルゴリズムを検討し, 100ノードネットワークに適用することで評価を行う。

3.1 解決アルゴリズムの検討: 7ノードネットワーク

7ノードで構成される121のネットワークトポロジについて構成トポロジの違いによる多重度の変化を調査し, 2.3を導出。結果として, $\alpha=7$ として全トポロジに適用すると, 87%以上のトポロジに対し利用リンク数および平均リンク多重度の値がともに最小である最適状態を導出できた。

3.2 解決アルゴリズムの評価: 100ノードネットワーク

図2に100ノードのネットワークトポロジにおける最短経路木に対し1本ずつリンクを追加した場合の最大リンク多重度を示す。図2において, 解決アルゴリズム (“Sol.Algorithm”) の比較対象として, ノード次数が大きいリンクを追加したもの (“Node_Max”) と追加対象リンクの両端ノード次数和が大きいリンクを追加したもの (“Link_Max”) を示す。リンク追加による最大多重度への影響を調査する。この図より, 解決アルゴリズムによる結果が, 最も最大リンク多重度の変化が小さいことがわかる。小規模なネットワークではホップ数が負荷集中度を示す指標となるが, 大規模なネットワークでは次数が高いノードおよびリンクに負荷が集中すると考えられる。本アルゴリズムではホップ数が最大のとなる2ノード間, つまり負荷が高い場所から離れたリンクを追加する可能性が高いため, あまり多重度に影響がなかったと考えられる。これより, ネットワーク規模に依存せず有効な解決アルゴリズムの再検討が必要である。

4 まとめ

本研究では, 省電力経路集約問題の定式化および解決アルゴリズムの検討を行い, 利用リンク数およびリンク多重度を用いて, 解決アルゴリズムを評価した。小規模ネットワークの調査により得られた傾向より解決アルゴリズムを検討し, 大規模ネットワークへの適用により評価を行った。