

|                     |                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Title</b>        | ヘテロジニアスなネットワーク環境を考慮した省電力ルーティングアルゴリズム                                            |
| <b>Author(s)</b>    | 西澤, 良太                                                                          |
| <b>Citation</b>     |                                                                                 |
| <b>Issue Date</b>   | 2011-03                                                                         |
| <b>Type</b>         | Thesis or Dissertation                                                          |
| <b>Text version</b> | author                                                                          |
| <b>URL</b>          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/9637">http://hdl.handle.net/10119/9637</a> |
| <b>Rights</b>       |                                                                                 |
| <b>Description</b>  | Supervisor:井口 寧 准教授, 情報科学研究科, 修士                                                |

# ヘテロジニアスなネットワーク環境を考慮した 省電力ルーティングアルゴリズム

西澤 良太 (0910044)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2011 年 2 月 8 日

**キーワード:** Green IT, Energy-minimized network design, OSPF.

## 1 あらまし

近年、通信トラフィックの増加に伴い、データセンターの設置が進んでいる。中でもネットワーク機器の増設による電力増加は深刻な問題であり、2006 年の経済産業省による調査では、2025 年までに 5.2 倍になるという報告がされている。この問題を受け、ネットワークの消費電力を削減しようという研究が多数行われてきた。その一つにルーティング経路に属さないネットワーク機器の電源を落とすことで、消費電力を減らす試みがある。

Open Shortest Path First(以降 OSPF) は最短経路を導出するアルゴリズムを用いたプロトコルであり、現在広いネットワークで使われているネットワークプロトコルである。OSPF は最短経路導出法である Dijkstra 法を用いるため、OSPF コストの低い回線にトラフィックが集中するという特徴があり、結果的に経路に属さない機器や回線も存在する。これらの電源を落とすことによって、ネットワークの省電力化が実現できる。

本研究では従来のように均一な装置しか考慮しない手法では、異なる機器が偏在する環境に対応できないと考えた。そのためネットワーク機器の消費電力を考慮し、より効率的な OSPF コストを設定することで、消費電力的に最適となるネットワーク構造を導出した。消費電力削減率の比較では、従来手法と比較して最大 11.64 倍の性能が得られた。

## 2 ネットワーク構造の最適化

これまでに行われたネットワークの省電力に関する研究では、消費電力の削減率、遅延の削減、既存システムとの親和性などに重点が置かれてきた。Maestro らが提案した Energy Efficient Ethernet(以降 EEE) は、パケットが到着しない間はネットワークインターフェースカードの Transmitter を低消費電力モードに移行することで、ポートおよび回線毎の消費電力削減を実現する手法として知られている。この手法は対象となるネットワークを

問わず、安定した消費電力削減ができるため、親和性と安定性に優れているが、消費電力の削減率が低いという問題を抱えていた。その問題を考慮したのが荒井らの提案した ECO-RP である。ECO-RP は OSPF をベースとした動的 OSPF コスト変更アルゴリズムである。トラフィックの情報を参考に回線の OSPF コストを変更することで経路の集約を図り、ネットワーク構造の最適化を行った後、経路に含まれない機器の電源を切り返すことで、ネットワーク全体の省電力化を実現している。しかしながら ECO-RP には異なる機器が偏在する環境への適応が考えられておらず、状況によっては省電力化性能が低下する問題が残されている。本研究では、

- 経路選択に機器の消費電力が考慮されない
- 経路選択に隣接機器の性能や情報が考慮されない
- OSPF コストにより不適切な経路選択が発生する可能性

などの問題を解決するため、機器の消費電力を考慮した OSPF コストの設定手法を提案することにした。また従来手法と提案手法にて最適化の比較を行うため、実際のネットワーク機器の消費電力を用いたシミュレーションを行い、消費電力、平均ホップ数、トラフィック溢れ状態の発生率などの項目を測定、考察した。

### 3 消費電力を考慮した OSPF コスト設定

消費電力を考慮した OSPF コストの設定を行うために、本項では Define Cost with Performance(以降 DCP)、Define Cost with Neighbors(以降 DCN)、Define Cost with Neighbors and Performacne(以降 DCNP) の 3 つの手法を提案した。これらは OSPF 上で動作し、そのコストを適切に変更することを目的としている。DCP は任意の回線と接続されるネットワーク機器 A・B の消費電力の平均値を初期 OSPF コストと乗算することで、最適化コストを導出する手法である。消費電力の高い機器間では OSPF コストが高く、低い機器間では低くなる。また DCN は機器の隣接情報を考慮しており、消費電力が高い機器同士が隣り合う場合にはトラフィックが流れにくくするための補正係数  $\alpha$  を、低い機器同士の場合には係数  $\beta$  を初期コストに乗算することでネットワークの最適化を図っている。

しかしながら DCP では消費電力の値によっては定義コストが増大してしまい、隣接情報のみを考慮する DCN では必ずしも電力的に適切な構造にならないという問題を抱えている。これらの問題点を解決するために作られた提案手法が DCNP である。DCP の計算に正規化した消費電力を用いることでコストの範囲を小さく抑え、適切な優劣をつけることができる。また DCNP は一切の補正係数を必要としないが、DCN で実装した隣接情報の考慮の概念も含まれている。これはエッジノードが隣り合う場合に一切の補正を加えないというもので、初期コストを設定する人間側に判断を任せることで柔軟性を持つアルゴリズムを構築した。

## 4 比較評価

提案手法及び従来手法を使用し、消費電力最適化のシミュレーション実験を行うことで、平均消費電力パーセンテージ、平均ホップ数、平均トラフィック溢れ発生率(ネットワーク中いずれかの回線で、トラフィックが容量限界を超える確率)を比較、評価を行った。最適化実験に使用したネットワークはNSFNET T1(米国科学財団ネットワーク)のトポロジ、およびランダム生成ネットワークである。従来手法と提案手法を比較した結果、いずれの場合もDCNPがもっとも高い電力削減性能を発揮し、NSFNETの場合37.78パーセント(ECO-RPの4.41倍、EEEの12.25倍)、ランダム生成ネットワークの場合、66.66パーセント(ECO-RPの2.44倍、EEEの1.62倍)の電力を削減した。

平均ホップ数には大きな差が見られなかったが、トラフィック溢れ発生率はランダムネットワーク生成時にDCNPが最大17.11パーセント(ECO-RPは0パーセント、EEEは5.73パーセント)と、他手法より優れた結果になった。これはDCNPが持つ経路の集約性が非常に強いためである。しかしDCNPとECO-RPの協調動作を行った結果では電力削減率が54.91パーセント、トラフィック溢れ発生率0パーセントとDCNPに近い削減率のままトラフィック溢れの発生率を下げられることを確認した。このことで、DCNPの持つ問題点が一部改善され、より実用性のある手法に近づいたと考えられる。また本研究では、大きさの異なるトラフィックモデルでの比較も行った。この結果としてどちらのトラフィックモデルを用いても、結果はほとんど変化がないということが確認された。

## 5 まとめと今後の展望

本研究で提案したDCNPは、ネットワークに存在する機器の消費電力情報、および機器の種類を考慮したにOSPFコストの設定を行うことで、より消費電力削減率の高いネットワークの構造を導出することを可能とした。DCNPの消費電力削減率は他の提案手法と比較して高く、従来手法との比較実験においても、NSFNET T1のトポロジを用いて行った実験にて最大値を記録し、EEEより11.64倍、ECO-RPより3.73倍の性能向上がみられた。これらの結果より、機器の消費電力を考慮したOSPFコスト設定は、従来手法におけるネットワーク構造の最適化と省電力化よりも優れた性能を持つといえる。

本稿で提案したDCNPはECO-RPとの連携でトラフィック溢れを軽減することができたが、さらに低いトラフィックで輻輳状態が起こるという問題が残されている。またコスト設定の基準が消費電力のみであるため、性能的に劣る機器などを考慮することができずネットワークの最適化ができない場合や、動作が不安定になることがある。近年、ネットワークを流れるトラフィックの量は増え続けており、本稿で提案したアルゴリズムをさらに実用的にするためには、機器の処理性能の考慮および輻輳状態を招かない程度の経路集約が必要となる。前者はコスト変動のパラメータとして処理性能を追加すればよく、後者についてはトラフィックの閾値とOSPFコストの分散補正などを用いるようにして、シミュレーションによる再計算を実装するような解決法が考えられる。