

リソースを最小化する動的ネットワーク制御システムによる再構成ネットワークの研究開発 (095103007)

Multi-(layer, path, and resources) Dynamically Optimized Routing Network System

研究代表者

山中 直明 慶應義塾大学
Naooki Yamanaka Keio University

研究分担者

岡本 聡[†] 大木 英司[†] 追川 裕治[†] 石井 里美[†]
Satoru Okamoto[†] Eiji Oki[†] Yuji Oikawa[†] Satomi Ishii[†]
[†]慶應義塾大学
[†]Keio University

研究期間 平成 21 年度～平成 23 年度

概要

ネットワーク的なリソース最小化手法を適用することで通信キャリアやデータセンタネットワークで消費される電力を最低 10%最大 22%程度削減することを目指し、以下の 4 項目に関して研究開発を進めた。

- [1] 最小アクティブポート数でトラフィックをネットワークに収容するトポロジを求める収容設計アルゴリズムの実現。
- [2] 収容設計アルゴリズムに基づきトポロジを高速計算するオフロードエンジンの開発。
- [3] 計算されたトポロジを実現するためにリンクの ON/OFF 制御を行う制御プロトコルの開発。
- [4] 制御プロトコルに従って、ポートパワーのシャットダウン、ウェイクアップを行えるルータ/スイッチの開発。

Abstract

To realize 10% to 22% power consumption reduction of carrier's and/or data-center networks with a network side resource optimization approach, four R&D items have been set and performed.

- [1] Develop an algorithm which proceeds to find out least link topology under given traffic and QoS requirements.
- [2] Develop an offload engine which executes the algorithm within usable calculation time.
- [3] Develop a network control protocol which supports link power on/off control to apply calculated topology to the network.
- [4] Develop a prototype router/switch system which supports link power on/off capability via the control protocol.

1. まえがき

インターネットを支えるネットワークやデータセンタの消費電力量は増加の一途であり、日本国内における IP ルータ機器の消費電力量は 130 億 kWh/年程度となり、原子力発電所の供給電力量 87.6 億 kWh/年(出力 100 万 kW を仮定)二基分に相当する。IP ルータやイーサネットスイッチにおいて膨大な電力が消費されており、電力消費の削減が急務である。電力消費を削減する手法として、サーバーやルータなどの機器自体の省電力化、CPU 等のデバイスの低消費電力化が進められている。本研究開発においては、機器やデバイスの省電力化と組合せて適用が可能となる“ネットワークの運用”による省電力化を実現するための要素技術の開発を行った。

2. 研究内容及び成果

本研究開発の全体概要を図 1 に示す。プロジェクト名を『Multi-(layer, path, and resources) Dynamically Optimized Routing (MiDORi) Network』とした。MiDORi では、パス単位にトラフィックを分散させるのではなく特定のリンクに片寄せし、未利用リンクを発生させてリンクのポート・スイッチ機能の電力を OFF にすることで省電力化を実現する。MiDORi では、パスのトラフィック測定・パス経路計算・パス設定・電源 ON/OFF の自動化を実現した。パス毎のトラフィック状態・パス設定/解除要求に基づいて、MiDORi Path Computation Element (PCE)がパス収容設計を即時的に実行し、計算されたパス

経路を MiDORi Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS)プロトコルでネットワークに反映させる。リンクの ON/OFF を指定されたルータ/スイッチは該当するポートの電源を制御することで、最小消費電力状態を保つように自動的にネットワークが制御される。

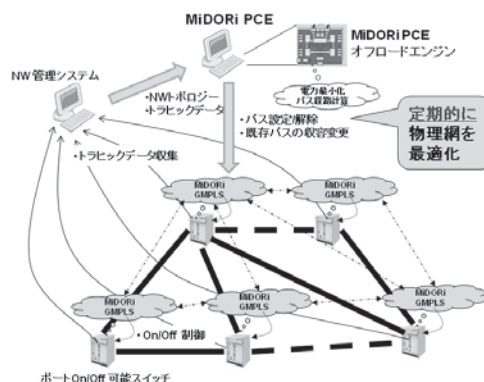


図 1. MiDORi Network の研究開発全体概要

MiDORi においては、(1) 省電力ネットワークを実現する収容設計アルゴリズム、(2) Dynamic Reconfigurable Processor (DRP)を用いたオフロードエンジンの開発、(3) ポート ON/OFF 制御プロトコルとして MiDORi GMPLS の開発、(4) MiDORi GMPLS に従ってポート及びスイッチ部の電源 ON/OFF が可能な MiDORi スwitchプロトタイプの開発、(5) 実証実験、に取組んだ。

(1) 収容設計アルゴリズムの開発

開発した収容設計アルゴリズムの基本方針を以下に示す。**A)** 最小アクティブポート数のトポロジーを求めることは NP 困難問題であるため、数分程度の間隔で定期的に収容設計を実施することが可能な準最適化アルゴリズムとする。**B)** 全てのノードに対しての到達性を保証する。**C)** ノード間のトラヒックはパスに収容され、パスをトポロジーに収容する。**D)** リンク容量に対して空き容量を設定し、空き容量を担保することで QoS を確保する。またホップリミット制限により遅延保証を実現する。

(2) オフロードエンジンの開発

準最適化アルゴリズムの性能として 128 リンク網へのパス設定完了 10 秒を設定した。Xeon 利用時には 40 Core の利用で目標達成が可能となること、DRP としてルネサスエレクトロニクス社の STP を利用した場合、STP ボード 4 枚程度で目標達成が可能なることの見通しを得た。

(3) MiDORi GMPLS プロトコルの開発

MiDORi GMPLS プロトコルとして、OSPF、RSVP、LMP のプロトコル拡張、及び簡易自動隣接発見プロトコルの開発を行った。MiDORi GMPLS プロトコルは、ホームページでサンプルソフトウェアを公開し 2012 年 8 月現在 9 ヶ国 21 組織が利用している。本プロトコルによる稼働実績としては、MiDORi スイッチ、アラクサラ AX6700/2400、光スイッチシステムがある。

(4) MiDORi スイッチプロトタイプの開発

MiDORi Network システムの Proof of Concept 実現のために、①ポート単位のインタフェース電力 ON/OFF 制御、②ポート単位/パス単位(VLAN)のトラヒックモニタ、③スイッチ機能の部分電力 ON/OFF 制御、④消費電力の見える化、⑤遠隔管理制御、が可能なプロトタイプを開発した。



図 2. MiDORi イーサネットスイッチ(8ポート版)

(5) 実証実験の実施

開発した収容設計アルゴリズムを搭載した MiDORi PCE、MiDORi GMPLS を搭載した制御 BOX、MiDORi スイッチ/アラクサラスイッチ/光スイッチにより MiDORi Network を構築し、日本国内(KEIO TECHNO MALL2010/2011、国際会議 iPOP2010/2011)、米国(国際会議 MPLS2010/2011)において実証デモンストレーションを実施した。



図 3. デモンストレーション：国際会議 iPOP2011@川崎市(左)、MPLS2011@Washington DC(右)

iPOP2011 ではポート電源 ON/OFF のみを利用し、機器消費電力 350W に対して、低トラヒック時 19.6W、高トラヒック時 11.2W で最大 6% 弱の消費電力削減が、MPLS2011 ではスイッチ機能部の電源 ON/OFF を組合せて、機器+制御の消費電力 260W に対して 62W で最大 24% 削減可能となることを動態で実証した。プロトタイプシステムは、市販品と比較してポート・スイッチ部の消費電力割合が小さく、ポートが 1Gbps であるため MiDORi の効

果は小さく見えている。市販品に適用することで、より大きな省電力効果を実現することが期待される。

3. むすび

MiDORi Network として、自律的にトラヒック状況に応じて最適パス経路計算を行って自動的にリンクの ON/OFF を実現するシステムをレイヤー化して設計し、世界で初めて実証を行った。プロトタイプを用いた実証実験においては、最大削減時で 6% から 24% の電力削減を実現した。成果を市販製品に適用することで、最大 30% 以上の電力削減が期待でき、トラヒックの変動を考慮しても 1 日平均で 22.5% 程度の電力削減が期待できる。これにより、2020 年時点で 50 億 kWh/年の電力削減が見込まれる。

【国際標準提案リスト】

- [1] IETF · ccamp Working Group 、 draft-okamoto-ccamp-midori-gmpls-extension-reqs-X X、Requirements of GMPLS Extensions for Energy Efficient Traffic Engineering、提案 2011 年 6 月 28 日、修正提案 2012 年 2 月 28 日

【誌上発表リスト】

- [1] 米津遥・石井大介・岡本聡・大木英司・山中直明、“自己組織化省エネルギーネットワーク MiDORi における消費電力最適化のためのトポロジー計算手法”、電子情報通信学会論文誌 B Vol.J94-B No.10 pp1323-1331 (2011 年 10 月 1 日)
- [2] Yuki Nomura・Haruka Yonezu・Daisuke Ishii・Satoru Okamoto・Naoaki Yamanaka、“Dynamic Topology Reconfiguration for Energy Efficient Multi-layer Network using Extended GMPLS with Link Power Control”、The Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) and the National Fiber Optic Engineers Conference (NFOEC) No.NTu2J.6 (2012 年 3 月 6 日)
- [3] Hidetoshi Takeshita・Naoaki Yamanaka・Satoru Okamoto・Sho Shimizu・Shan Gao、“Energy Efficient Network Design Tool for Green IP/Ethernet Networks”、Elsevier Journal Optical Switching and Networking Vol. 9 Issue 3 pp264-270 (2012 年 7 月 1 日)

【申請特許リスト】

- [1] 山中直明・竹下秀俊・岡本聡・石井大介・芦沢國正・徳橋和将・米津遥、ネットワークシステム、日本、2010 年 3 月 9 日
- [2] 岡本聡・竹下秀俊・山中直明、インタフェース装置、日本、2010 年 4 月 6 日
- [3] 山中直明・石井大介・清水翔、仮想エネルギートレードシステム、日本、2010 年 4 月 9 日

【受賞リスト】

- [1] Shan Gao, Bronze Paper Award, “Reducing Network Power Consumption Using Dynamic Link Metric Method and Power Off Links”、2009 年 12 月 5 日

【報道発表リスト】

- [1] “イーサネットスイッチ遠隔操作で電力削減”、日刊工業新聞、2010 年 6 月 16 日
- [2] “データセンタ消費電力 15%減 -慶大が技術 ネット制御して機器オフ”、日経産業新聞、2011 年 1 月 6 日
- [3] “自己組織化によりネットワークを常に省電力化する実験に成功”、慶應義塾大学ホームページ、2011 年 12 月 7 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://midori.yamanaka.ics.keio.ac.jp/>