

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 8 月 3 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330106

研究課題名(和文) 新世代ネットワーク技術を応用したネットワーク機器の省電力運用に関する研究

研究課題名(英文) Research on network equipments managements with low power using FI technologies

研究代表者

岡村 耕二 (OKAMURA, Koji)

九州大学・情報基盤研究開発センター・教授

研究者番号：70252830

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、24時間運用が基本であり省電力化が困難であるネットワーク機器の運用のために、消費電力とデータ通信量を相関させた新しい単位ならびにその単位に基づいた新しい配電方式を提案し、通信機器の省電力運用に貢献することである。本研究では、新世代ネットワーク研究で提案されている移動・変化するノードと、ノード間で扱われる情報を分離する考え方に基づいて、電気の需要先と供給元と扱われる電力量の情報を分離し、需要先と供給元や消費電力の変化に柔軟に対応できる新しい配電方式の研究を行う。

研究成果の概要(英文)：The goals of this research are developments of new unit related demand of the power and amount of the communications and new power delivery method. This power delivery method contributes reducing the power of network equipment. This research use the idea about information and location separation of Future mobile network to power delivery. This research separates demand and supply of the power and optimizes power delivery.

研究分野：ネットワーク

キーワード：新世代ネットワーク 省電力 必要電力主導型配電 消費電力 データ通信量 ネットワーク機器運用

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 新世代ネットワークの研究分野では、従来、固定的なノード間で行なわれた通信方式が近年、移動体間での通信にそのまま用いられることによって発生するオーバーヘッドを軽減させることが一つの研究課題となっている。ICN (Informational Centric Network) は、その課題に対する一つのアプローチで、従来の固定ノード間の通信では送信元、送信先といった識別子が用いられるのに対し、新世代ネットワークの ICN では識別子は通信に用いられる情報そのものに付与される。このように、新世代ネットワークでは通信を行なうノードと通信される情報の識別子を分離することによって、効率の良い移動体通信を行なうことを目指している。いずれにしても新世代ネットワークの研究で、重要なことは、設計された時代と現在で大きく変化した通信の形態に対応するため通信のアーキテクチャを根本的に変えようとしていることである。

(2) 電気の供給においても、近年では「スマート・グリッド」という用語に代表されるよう、電気が普及した頃と現代では状況が大きく変わりつつある。特に電気の供給元が従来の単一的な発電所・変電所だけであったのが、小規模ながら企業や家庭での発電設備が加わりつつある。スマート・グリッドでは、電気の需要のある場所と分散される電気の供給元をいかに効率良く接続するかが重要な課題となっている。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、24 時間運用が基本であり省電力化が困難であるネットワーク機器の運用のために、消費電力とデータ通信量を相関させた新しい単位ならびにその単位に基づいた新しい配電方式を提案し、通信機器の省電力運用に貢献することであった。本研究では、新世代ネットワーク研究で提案され

ている移動・変化するノードと、ノード間で扱われる情報を分離する考え方に基づいて、電気の需要先と供給元と扱われる電力量の情報を分離し、需要先と供給元や消費電力の変化に柔軟に対応できる新しい配電方式の研究を行った。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究では、通信機器用電力主導型配電方式の設計、データ転送量(Byte)毎消費電力(W) 単位の数値化ならびに電力主導型配電方式による通信機器の省電力運用とその評価に取り組んだ。

(2) 本研究で提案する通信機器用電力主導型配電方式の通信機器の仕様を決定した。通信機器はバッテリーを搭載するがその他、例えば、壁コンセント(100V)からの給電形態での駆動は行なうのか、他の通信機器からの POE 給電による駆動も可能かどうか。バッテリーの充電は壁コンセントからも他の通信機器からの給電時からも行なえるのか、など、選択肢は多い。しかし、これらは給電方式と合わせて慎重に妥当なものを決定する必要があった。

(3) 通信機器は、本研究の課題(B)によって、通信量がわかれば必要な消費電力が算出できるようになる。そのため、現在の通信量ならびに、通信量の予測によって必要な電力量を算出し、ネットワークを構成する通信機器が保持すべき電力を計算し、また、通信機器間で必要な電力量の情報のやりとりを行なうためのアルゴリズムを導出した。この際に、通信機器全体で集中管理をするのか、全ての通信機器が自律的に動作するのかなどの選択は非常に興味深く、シミュレーションなどを通じてその長所・短所を明らかにした。また、研究者が従来研究してきた新世代ネットワーク ICN (Information Centric Network) のために開発してきたルータ先読

み機能を本配電方式で有効活用した。ルータ先読み機能とは、隣接しているルータに加え、1ホップ先のルータからの情報も取得し総合的に最適な経路を決定する機能である。この機能を応用して、他の通信機器からの給電は、隣接している機器からだけではなく、1ホップ先以上の機器からも間接的に給電できるようになった。本研究ではこのように、配電方式に新世代ネットワークで研究された様々な機能を取り込みその効果を評価した。

(4)本研究で提案する新しい単位であるデータ転送量(Byte)毎消費電力(W)の値について、既存の様々な通信機器での値を外部に設置する測定機器を用いて消費電力を測定して求め、定義した。基本的には、通信量と消費電力を測定し値を算出するが、条件によってその値は異なることがある。通信機器は、全く通信を行っていない状態でも待機電力によって電気を常に消費していることと、通信時間と通信量の割合は常に同じではないため、データ転送量(Byte)毎消費電力(W)をサンプリングで求めた場合、区間毎に通信を行なった総時間が異なれば、同じ通信量でも消費電力が異なる。つまり、ピークレートが異なれば、データ転送量(Byte)毎消費電力(W)も異なると予想されるため、様々なピークレートの条件等で十分な測定を行なった結果からデータ転送量(Byte)毎消費電力(W)の値の正確な定義を行い、この値を通信機器で求めるための研究に用いることとした。

(5)基本設計とデータ転送量(Byte)毎消費電力(W)の値の定義に基づいて、通信機器用電力主導型配電方式の設計を完了させた。方式としては、全通信機器の情報を集中型に管理するものと、完全に分散し自律的に管理するもの、および、その折衷など、状況に合わせて最適な方式が選択できるようにした。

(6)新世代ネットワーク ICN では、キャッシュ機能がその性能向上には重要な役割を果たす。キャッシュは、データアクセスに偏りがある場合に特に有効である。本方式でも、データアクセスの偏りに起因する消費電力の偏りに着目し、通信機器間での電気のやりとりが発生しない機能を研究した。電気は、機器間でやりとりするとその分、無駄に消費してしまうので、このような偏りを考慮した処理は省電力運用に大きく貢献できる。その他新世代ネットワークの有用な機能を取り込んで本配電方式の最終設計を行った。

(7)外部からの測定によって既存の通信機器でのデータ転送量(Byte)毎消費電力(W)について定義を行ない、特にピークレートを考慮してデータ転送量(Byte)毎消費電力(W)の値を定義した。通信機器の内部で消費電力を測定するための機能について研究を行ない、データ転送量(Byte)毎消費電力(W)をより正確に求めることを可能にした。ただし、本研究では、通信機器のこのようなファームウェアの修正をすることはできないため、通信機器に必要な機能の提言を行なうことを目標とした。また、内部コマンドで消費電力を求めることができる製品が利用できる場合は、その値でデータ転送量(Byte)毎消費電力(W)を算出し、考察を行なった。

(8)最終的に完成した電力主導型配電方式で通信機器の省電力運用の評価を、蓄積している九州大学の対外接続のデータを用いて評価を行なった。また、本研究期間中に本研究者が所属している情報基盤研究開発センター内の幹線スイッチや無線 AP などのそれぞれの通信機器の通信データを採取し、総合的な評価のデータとして用いた。

#### 4. 研究成果

(1)本研究の目的はネットワーク機器への給電を最適にするために、新世代ネットワークで用いられる位置が動的に変化する情報を最適に取得する手法を応用して動的に変化する必要な電力量を求めることであった。

(2)新世代ネットワークの各方式の性能を定量的に比較する研究を行い、配電アルゴリズムとのマッチング、新しい単位の創出を行った。次に新世代ネットワーク上を用いて地理的に移動する情報を取得する際に通信機器やサーバに必要な電力量を極小にするための手法を研究した。

(3)ネットワーク中においたキャッシュ管理を最適にすることによってその電力を削減させる研究を行った。これらの複数の関連する研究を統合的にまとめ、移動体通信を支援する通信機器の省電力管理手法についてまとめた。

(4)動的に変化する電力量を取得するために、いくつかある既存の新世代ネットワークの位置管理プロトコルで最適なものを、応用や環境に応じて対応させた。これによって、応用や環境ごとに、その選択したプロトコルを用いることによって消費する電力量を極小にする通信機器、サーバの構成を求めることが可能になった。

(5)高度なキャッシュ管理方式によってその電力量をさらに最適にする手法で、電力量を削減することを示した。さらに、そのプロトコルを用いて、通信機器以外の応用で、例えば、緊急インシデントの実績データに基づいた緊急車両稼働管理のためのエネルギー量の最適量の計算が可能であることも示し、本研究の汎用性について評価した。また、本研究を拡張して、セキュリティ対策のためにあ

らたに必要な処理のための電力量の考察について、サイバーセキュリティ演習の実施を通じて考察を行った。

#### <引用文献>

Takumi Shindo and Koji Okamura, “ Study on energy performance comparison of ICN Architectures ”, Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, Mar. 2017 (2017年3月).

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計19件)

Takumi Shindo and Koji Okamura, “ Study on energy performance comparison of ICN Architectures ”, Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, Mar. 2017 (2017年3月).

Nor Masri Sahri and Koji Okamura, Adaptive Query Rate for Anomaly Detection with SDN, International Journal of Computer Science and Network Security, 第16巻第6号, (2016年6月)

Nor Masri Sahri and Koji Okamura, CAuth - Protecting DNS application from spoofing attacks, International Journal of Computer Science and Network Security, 第16巻第6号, (2016年6月)

Nor Masri Sahri and Koji Okamura, Protecting DNS services from IP spoofing - SDN collaborative authentication approach, Proceedings of the 11th International Conference on Future Internet Technologies, ser. CFI '16. Nanjing, China: ACM, (2016

年 6 月)

Alaa Allakany and Koji Okamura, "Fast Switching Mechanism for Multicasting Failure in OpenFlow Networks", Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science, Mar. 2016 (2016 年 3 月).

Chengming Li, Wenjing Liu, Lei Wangc, Mingchu Lic, Koji Okamura, "Energy-efficient quality of service aware forwarding scheme for Content-Centric Networking", Journal of Network and Computer Applications, pp. 241-254, Volume 58, December 2015 (2015 年 12 月).

Alaa Allakany and Koji Okamura, "Multicasting Tabu Search Mechanism with near optimum multicast tree on OpenFlow", Proceedings of Research Network Workshop 2015, (2015 年 8 月).

Nor Masri Sahri and Koji Okamura, "Adaptive Anomaly Detection for Software Defined Networking", Proceedings of Research Network Workshop 2015, (2015 年 8 月).

Chengming LI and Koji OKAMURA, "Cluster-based In-networking Caching for Content-Centric Networking", International Journal of Computer Science and Network Security, vol. 14, No. 11, Nov., 2014, (2014 年 11 月).

Nor Masri Sahri and Koji OKAMURA, "Load Sensitive Forwarding for Software Defined Networking - Openflow Based", The Advances in Computer Science : an International Journal, vol. 3, No. 6, Nov., 2014,

(2014 年 11 月).

Nor Masri Sahri and Koji Okamura, "Openflow Path Fast Failover Fast Convergence Mechanism", Proceedings of Research Network Workshop 2014, (2014 年 8 月).

Alaa Allakany and Koji Okamura, "Distributed GA for Popularity Based Partial Cache Management in ICN", Proceedings of Research Network Workshop 2014, (2014 年 8 月).

Nor Masri Sahri and Koji Okamura, "Fast Failover Mechanism for Software Defined Networking OpenFlow Based", Proceedings of International Conference on Future Internet Technologies 2014 (CFI 2014) (2014 年 6 月).

Sunglim Lee, Susumu Fujii, Koji Okamura, "Study on Planning of Smart GRID using Landscape Ecology", Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index Issue 85 Jan. 2014 (2014 年 1 月).

Othman Othman M. M. and Koji Okamura, "Securing Distributed Control of Software Defined Networks", IJCSNS(International Journal of Computer Science and Network Security) Vol. 13 No. 10, Oct, 2013, (2013 年 10 月).

大森幹之, 岡村耕二, "ポアソン過程に基づいたサービスレベルが事前定義可能な無線 LAN 基地局の省電力運用", 電子情報通信学会論文誌, : Vol. J96-B, No. 10, pp. -, Oct. 2013. (2013 年 10 月).

Othman Othman M. M. and Koji Okamura,

“Hybrid Control Model for Flow-Based Network”, Proceedings of the Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW), 2013 IEEE 37th Annual, pp.765,770, 22-26 July 2013 DOI: 10.1109/COMPSACW.2013.13, (2013年7月).

Chengming LI and Koji OKAMURA, “Game Theory based Interest Forwarding Decisions in Content Centric Networking”, Proceedings of International Conference on Future Internet Technologies 2013 (CFI 2013) (2013年6月).

Othman Othman M. M. and Koji Okamura, “Aiding OpenFlow Controller by Enhancing OpenFlow's Control Model, and Behavior of Flows”, Proceedings of TNC2013 Conference (2013年6月).

[学会発表](計10件)

Koji OKAMURA, “Cybersecurity Training with Cyber Range”, CNMS 2016 - Campus network monitoring and security workshop (2016年4月)

Nor Masri Sahri and Koji OKAMURA, “Collaborative Spoofing Detection and Mitigation - SDN based looping authentication for DNS services”, 電子情報通信学会 インターネットアーキテクチャ研究会 (2016年3月)

Alaa Allakany and Koji OKAMURA, “Implementing Multicasting Openflow Controller Based on Heuristic algorithm”, 電子情報通信学会 インターネットアーキテクチャ研究会 (2016年3月)

進藤 匠, 岡村耕二, “消費電力を考慮したSDN上でのサーバ選択エニキャスト

経路制御アルゴリズムの提案”, 電子情報通信学会, インターネットアーキテクチャ研究会, (2014年11月).

Koji OKAMURA, “Wifi service in university campuses, performance status and statistics”, Campus network monitoring and security workshop (2014年4月).

大森幹之, 岡村耕二, Keyword Centric Network の設計と実装, 第4回地域間インターネットクラウドワークショップ (2014年3月)

Shindo Takumi and Koji Okamura, “Study on performance comparison of ICN Architectures”, Proceeding of Workshop on Internet Architecture 2013 (2013年10月).

Koji Okamura and Motoyuki Ohmori, “Introduction of Keyword Centric Network (KCN)”, Proceeding of Workshop on Internet Architecture 2013 (2013年10月).

Motoyuki Ohmori and Koji Okamura, “On a prediction algorithm of arrivals of mobile terminal for a green wireless LAN system”, Proceeding of Workshop on Internet Architecture 2013 (2013年10月).

Sunglim LEE and Koji Okamura, “Digital Infrastructure Ecology -- Adopting Landscape Ecology Means for Planning IT Infrastructure and Smart Grid -”, Proceeding of Workshop on Internet Architecture 2013 (2013年10月).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡村耕二 (Koji OKAMURA)

九州大学・情報基盤研究開発センター・教授

研究者番号: 70252830