

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300028

研究課題名(和文) ネットワーク省電力化のための有無線統合制御方式の研究

研究課題名(英文) Studies on Integrated Network Control Architecture for Green Networking

研究代表者

池永 全志 (Ikenaga, Takeshi)

九州工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50284716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,400,000円、(間接経費) 4,620,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ネットワークシステム全体が消費する電力を削減することを目指し、トラフィック量に応じた適切な規模で動作するネットワークを実現するための新たなネットワーク制御手法の研究に取り組んだ。そのために、(1)ピークトラフィック量推定に基づく動的網再構成技術、(2)帰属集約制御による無線ネットワーク省電力技術、(3)ネットワーク省電力化のための有無線統合制御技術の三つのサブテーマを設定し、それぞれのテーマについて取り組むと共に、これらの研究を集約し、通信品質を考慮しながら省電力化を可能にする制御手法の研究開発を実施した。

研究成果の概要(英文)：We studied and developed network control architecture to aim to establish a sustainable network system for power saving. We focused on following three sub-themes; (1) dynamic network re-configuration based on peak traffic estimation, (2) power saving with association control for wireless networks, (3) integrated control of wired and wireless networks for power saving. Especially, we proposed the traffic aggregation/distribution scheme that achieve a power saving and a load balancing in a whole network. Furthermore, to suppose the operation of actual networks, we evaluate the efficiency of the proposed scheme using traffic information flowing through the network of campus. Finally, based on results of these sub-themes, we evaluated integrated network control architecture that each node in wired/wireless networks changes to active/sleep mode autonomously for power saving.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ネットワーク省電力化 ネットワーク制御 トラフィック制御 無線LAN

## 1. 研究開始当初の背景

インターネットに代表される情報通信網は広く社会生活に浸透し、経済や産業活動を支える基盤として重要な役割を果たしている。中でもインターネットは、利用者の増加や多様なアプリケーションの出現により、トラフィック量が爆発的に増加し続けており、これに対応するために、ネットワーク機器の増設および高性能化が進められている。それに伴って、ネットワークシステム全体が消費するエネルギー量も増加し続けているため、環境に配慮したネットワーク技術の研究開発が重要な課題となっている。ネットワーク省電力化に関する研究の必要性については、2003年から指摘されており、その後、通信機器の消費電力を削減するための様々な研究が実施されており、その成果の一部は既に IEEE の標準化も進められている。また、ネットワーク機器を構成する LSI 等のデバイス自体の省電力化も進んでいるほか、回線や端末の非使用時におけるスリープモードの使用およびクロック低減による消費電力の削減に関する技術に関しては、我々の研究グループを含め、国内外で活発に研究活動が行われている。このように、ネットワーク機器単体での省電力化技術の研究開発に関しては、着実に成果が現れている。しかしながら、これらの機器が単体で有する省電力化技術を最大限に活用し、システム全体として大きな電力削減効果を得るための新たなネットワークアーキテクチャに関する取り組みは不十分な状況である。例えば、総務省による 2010 年の日本のインターネットにおける時間帯別のトラフィック量によると、ピーク値と底値の比は約 2.6 倍であり、またその変動は人の活動状況に対応して比較的緩やかにかつ大きな周期で変動している。これらの特性を考慮したネットワーク制御を行うことによって、消費電力を大幅に引き下げられる可能性がある。すなわち、ネットワーク内のトラフィック量に応じて、稼働しているネットワーク資源の量を大域的な視点から適切に調整することによって、仮想的にネットワーク規模を変更し、消費電力量を削減することが可能であると考えられることから、これを実現する新しいネットワーク制御アーキテクチャの研究開発が求められる。

## 2. 研究の目的

本研究では、ネットワークシステム全体が消費する電力を削減することを目指し、トラフィック量に応じた適切な規模で動作するネットワークを実現するための新たなネットワーク制御手法を考案する。その際、主に光ファイバ等の大容量な通信媒体を用いて構成される幹線部分において有効と考えられる省電力制御方式、アクセス網として拡大している無線 LAN における省電力制御方式のそれぞれについて実現性および実用性の高い制御手法を確立する。さらに、それぞれの機能を統合した有無線統合制御方式として、ピークトラ

フィックを収容可能なネットワーク規模を適切に判断し、稼働するネットワークを動的に再構成する方式の実現を目指す。

具体的には、これまで我々の研究グループで取り組んできた研究成果等から、ネットワークを構成する機器が動的に稼働/休止を制御可能であることを前提として、過去のトラフィック量から、次の制御周期におけるピークトラフィック量を推定し、大域的な視点によって使用する資源を制御する。このように、推定したピークトラフィック量に基づいて動的にネットワーク規模を変更し、電力消費を削減する新しいネットワーク制御アーキテクチャを実現することを目指す。

## 3. 研究の方法

本研究では、トラフィック量に応じた適切な規模で動作するネットワークを実現するために、(1) ピークトラフィック量推定に基づく動的網再構成技術、(2) 帰属集約制御による無線ネットワーク省電力技術、(3) ネットワーク省電力化のための有無線統合制御技術の三つのサブテーマに分割して取り組む。初年度は、主に基幹網部分およびアクセス網部分のそれぞれの省電力化に関してシミュレーションによる性能評価を行い、初期段階の提案手法の有効性を検証する。二年目以降には、それまでの結果をふまえて手法の改良を行うとともに、有無線統合制御手法の検討および性能評価に取り組む。さらに実用性の高い方式であることを評価するため、実験ネットワークを構築し、実証実験による有効性の検証も実施する。

## 4. 研究成果

ネットワークがトラフィック量に応じた適切な規模で動作するように制御する機構を実現し、電力消費量を削減することを目指し、三年間の研究期間において、以下に示す通りの研究成果を得た。

### (1) ピークトラフィック量推定に基づく動的網再構成技術

ネットワーク全体が協調して動作可能な制御周期で、必要なネットワーク資源量を適切に判断し、各機器の稼働/休止を決定するために、ピークトラフィック量推定技術を用いた方式を検討した。本研究で新たに考案した方式は、ネットワーク機器において到着するトラフィック量を計測し、直前の情報から次のピークトラフィック量を推定することに加えて、過去の長期的なトラフィック量の履歴情報を用いて推定値を補正するものである。これは、トラフィックの集約度が比較的強くユーザ側に近いネットワークの部分においては、短期的なトラフィック変動は非常に大きい、長期的な変動はユーザの利用パターン(例えば社会的な生活のリズム)による影響が大きくなることを考慮している。例えば、実ネットワークのトラフィック量計測を実施した結果からは、

一日単位でのトラフィック量の推移を計測した結果が平日であればほぼ同様な傾向を示すことや、一週間のトラフィック量の変動傾向が、特別なイベントが無い限り毎週ほぼ同様であること等が明らかになっている。そこで、これを活用して、稼働させるネットワーク資源の量を適切に決定するとともに、過度の変更を抑制可能な方式を実現した。

提案方式の性能を検証するために、リンク集約技術によって 10 本のリンクで接続されたネットワーク機器を想定し、シミュレーションによる性能評価を実施した。入力トラフィックとしては、本学の対外接続点において計測した実トラフィック量データを使用した。シミュレーション結果を表 1 に示す。動的な稼働リンク数制御を実施しない場合には、常に 10 本のリンクが稼働するのに対して、ピークトラフィック量推定と長期履歴の使用を組み合わせた提案手法 (ELT-EC) では、4.56 本と半数以下に削減可能である。さらに、バッファ内での遅延時間を最大 50ms まで許容することにより、平均稼働リンク本数をさらに 3.45 本まで削減可能であることを明らかにした。それに加えて、リンク本数の変更制御回数に関して、既存手法と比較して大幅な削減を実現した (図 2)。

表 1. シミュレーション結果 (24 時間)

手法	変更回数	稼働リンク数	遅延 [ms]
制御無し	0	10.00	-
既存手法 (1)	46641	5.20	0.30
既存手法 (2)	22144	5.21	0.31
提案方式 (ELT-EC)	1193	4.56	0.39
既存手法 (3) (50ms)	42804	3.58	0.80
提案方式 (ELT-EC) (50ms)	390	3.45	0.70

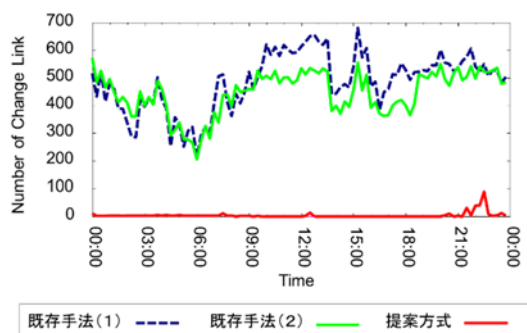


図 2. リンク変更回数 (15 分間隔)

## (2) 帰属集約制御による無線ネットワーク省電力技術

アクセス網として利用が拡大している無線 LAN においては、その使用可能範囲を確保するために、基地局を密に配置することが多い。そこで、接続されている端末が少なくまた通信量が少ない場合には、端末が帰属している基地局を動的に集約することによって稼働する基地局数を削減し、ネットワーク全体の消費電力を削減することを可能にする端末帰属

制御手法を考案した。通常の無線 LAN 基地局は利用の有無に関わらず常時稼働状態であるが、我々は、通信データが流れていない基地局を休止状態とし、必要に応じて端末から基地局を稼働状態へ遷移させることが可能な On Demand Wake-up 機構を導入し、さらに端末帰属制御を組み合わせることで大幅な消費電力の削減を実現した。

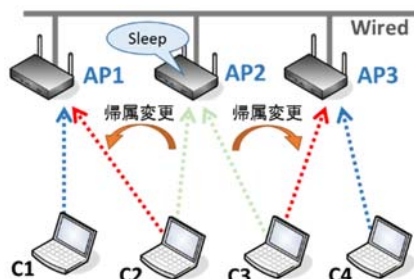


図 3. 端末帰属制御手法の概要

提案方式の性能をシミュレーションにより評価した結果を図 4 および図 5 に示す。ここでは、9 台の無線 LAN 基地局 (AP) で構成されるネットワークを想定し、端末台数が 30 台から 60 台の状況までを対象として特性を調査した。また、各 AP は無線通信インタフェースの利用率が 10%を下回ったことを検出すると省電力化のための集約処理を開始し、利用率が 65%を超えたことを検出すると、負荷分散のための帰属変更処理を開始するように動作するものと設定している。

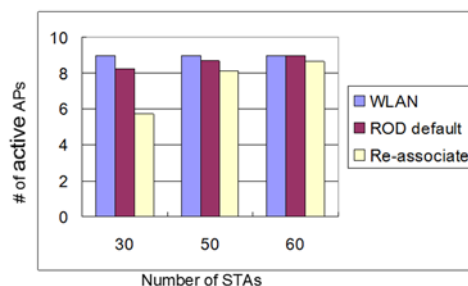


図 4. 平均稼働 AP 台数

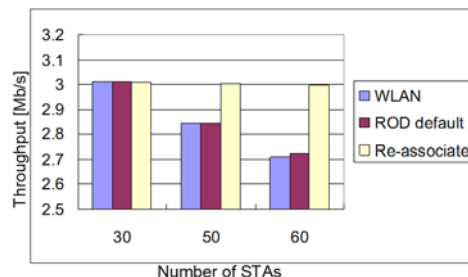


図 5. 平均スループット特性

図 4 の結果より、通常の無線 LAN 環境 (WLAN) では常時 9 台の AP が稼働しているのに対して、提案方式 (Re-associate) を用いることによって、特に端末台数が少ない場合において大幅に稼働 AP 台数を削減し、省電力化を達成できることを明らかにした。さらに、図 5 の

結果に示される通り、通信負荷に応じて稼働する AP の台数を制御するとともに、端末帰属を適切に変更することによって、端末台数が増加した場合においても高い平均スループットを達成可能であり、提案方式によって、省電力効果と通信性能のバランスを考慮した制御が実現できることを明らかにした。

### (3) ネットワーク省電力化のための有無線統合制御技術

ネットワーク内部で動的にトラフィック集約および機器またはモジュールの休止制御を行うためには、複数のノードが連携して動作するためのプロトコルが必要となる。特に、ネットワーク全体においてトラフィック量が減少した際に効果的に休止状態へ移行して稼働中のネットワーク規模を縮小し、トラフィック量が増加傾向に転じた際に、性能劣化を引き起こすことなく適切な規模へ復帰することが必須となる。このような点を重視して、基幹網側およびアクセス網側のそれぞれの機器が連携して省電力化を達成するための統合制御技術を検討した。

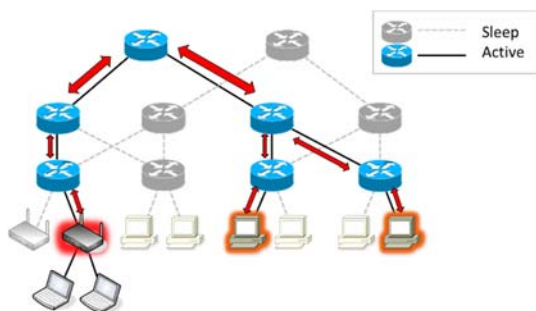


図 6. トラフィック量に基づく網再構成の概要

本研究では、有線及び無線通信機器を含めたネットワーク全体におけるトラフィック量に応じて、通信に必要な資源のみを稼働させることによって、通信品質を維持するために必要となる性能を確保しながら、消費電力を削減可能な方式の開発に取り組んだ。特に、各通信機器および通信リンクが個別に休止状態となる機能を有するものとして、トラフィック量に応じて休止/稼働を適切に制御するために、通信負荷の発生に応じて通信経路を決定する経路制御方式を考案するとともに、稼働中の端末の接続先を変更・集約する機能を実現した。これらの取り組みにより、有線および無線網を統合したネットワーク環境において、通信トラフィック量に応じた適切な規模で動作するネットワークを構築するための、通信に必要な性能を維持しながら消費電力を削減可能なネットワーク制御技術を実現した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 11 件)

① Shota Oda, Daiki Nobayashi, Yutaka Fukuda, Takeshi Ikenaga, Flow-based Routing Scheme for Minimizing Network Energy Consumption using OpenFlow, Proc. of ENERGY 2013, 査読有, 2014 年, pp. 69-72, ISBN: 978-1-61208-332-2

② Kazumi Kumazoe, Daiki Nobayashi, Yutaka Fukuda, Takeshi Ikenaga, Station Aggregation Scheme considering Interference for Radio on Demand Networks, Proc. of IEEE PACRIM2013, 査読有, 2013 年, pp. 265-270, DOI: 10.1109/PACRIM.2013.6625486

③ Kazumi Kumazoe, Daiki Nobayashi, Yutaka Fukuda, Takeshi Ikenaga, Multiple Station Aggregation Procedure for Radio-On-Demand WLANs, Proc. of BWCCA2012, 査読有, 2012 年, pp. 156-161, DOI: 10.1109/BWCCA.2012.53

④ Daiki Nobayashi, Kazumi Kumazoe, Yutaka Fukuda, Takeshi Ikenaga, Tetsuya Ito, Performance Evaluation of Power Saving Scheme for Wireless LAN with Station Aggregation, Proc. of IEEE INCoS2011, 査読有, 2011 年, pp. 338-339, DOI: 10.1109/INCoS.2011.134

⑤ Daiki Nobayashi, Kaname Fujimoto, Yutaka Fukuda, Takeshi Ikenaga, Tetsuya Ito, Centralized Association Management for Radio-On-Demand Networks, Proc. of IEEE PACRIM2011, 査読有, 2011 年, pp. 537-542, DOI: 10.1109/PACRIM.2011.6032951

⑥ Kaname Fujimoto, Daiki Nobayashi, Yutaka Fukuda, Takeshi Ikenaga, Tetsuya Ito, Power Saving Scheme with Low-Utilization Station Aggregation for Radio-On-Demand Networks, Proc. of IEEE PACRIM2011, 査読有, 2011 年, pp. 625-630, DOI: 10.1109/PACRIM.2011.6032966

[学会発表] (計 23 件)

① 熊副和美, 野林大起, 福田豊, 池永全志, 無線 LAN 省電力化のための通信品質を考慮した端末帰属制御方式, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2014 年 4 月 18 日, 沖縄県

② 織田翔太, 野林大起, 福田豊, 池永全志, ネットワーク省電力化のための OpenFlow を用いたフローベース経路制御手法, 電子情報

通信学会情報通信マネジメント研究会, 2014年3月14日, 沖縄県

③ 鶴田洸, 野林大起, 福田豊, 池永全志, ROD無線 LAN における消費電力削減のための代理応答 AP 選択手法, 電子情報通信学会情報通信マネジメント研究会, 2014年3月14日, 沖縄県

④ 石崎誠人, 野林大起, 池永全志, 無線マルチホップ型スマートメータのためのデータ連結転送方式における再送制御手法の検討, 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, 2013年3月14日, 奈良県

⑤ 石崎誠人, 野林大起, 池永全志, 無線マルチホップ型スマートメータのためのデータ連結転送方式の検討, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2013年3月8日, 沖縄県

⑥ 熊副和美, 野林大起, 福田豊, 池永全志, 田中利康, Radio-On-Demand Networks における周辺の無線環境を考慮した端末帰属集約手法の検討, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2013年3月7日, 沖縄県

⑦ 藤本要, 熊副和美, 野林大起, 福田豊, 池永全志, 原幸宏, Radio-On-Demand Networks における省電力性能と通信負荷を考慮した端末帰属制御手法, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2013年3月7日, 沖縄県

⑧ 熊副和美, 野林大起, 福田豊, 池永全志, 阿部憲一, 省電力無線 LAN における複数端末の帰属先変更手順の提案, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2012年3月9日, 宮崎県

⑨ 川又成夫, 福田豊, 池永全志, 動的リンク数制御機能を有する省電力ネットワークにおける TCP の性能評価, 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, 2012年3月15日, 北海道

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.net.ecs.kyutech.ac.jp>

<http://www.ndrc.kyutech.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

池永全志 ( Takeshi Ikenaga )  
九州工業大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号: 50284716

### (2) 研究分担者

無し

### (3) 連携研究者

中村豊 ( Yutaka Nakamura )  
九州工業大学・情報科学センター・准教授  
研究者番号: 40346317

福田豊 ( Yutaka Fukuda )  
九州工業大学・情報科学センター・助教  
研究者番号: 90372763

野林大起 ( Daiki Nobayashi )  
九州工業大学・大学院工学研究院・助教  
研究者番号: 40632906

佐藤彰洋 ( Akihiro Sato )  
九州工業大学・情報科学センター・助教  
研究者番号: 30609376

尾家祐二 ( Yuji Oie )  
九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授  
研究者番号: 50167293