

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540147

研究課題名(和文) スマートグリッドにおけるAMIに関する研究

研究課題名(英文) Modeling and Performance Analysis of AMI in Smart Grid

研究代表者

高橋 豊 (Takahashi, Yutaka)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：00135526

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：スマートグリッドにおける、各需要家と電力会社間の電力消費に関するリアルタイムな情報交換を可能にするAMI(Automated Metering Infrastructure)構築に向けたシステム構成に関する研究を行った。AMIは低遅延かつ高信頼であることが求められ、さらにはモバイル・ノードなどを想定し、トポロジー変化に柔軟かつ動的に対応し、電力消費にも配慮する必要がある。本研究では、このような点を鑑み、マルチホップ無線リレーによるネットワークを検討対象とし、各トラフィック所望のQoSを確保しながら送受信する通信方式の検討を行い、数理モデルの提案と性能解析を行った。

研究成果の概要(英文)：We carried out extensive researches on system design issues for the development of AMI (Automated Metering Infrastructure) which enables real-time communication between electric power company and users for the usage of electricity and demand response. AMI needs to be operated with low delay and high reliability, and what is more, it should be robust for possible changes of network topology taking electricity consumption into consideration. In this project, we focused on multi-hop wireless networks from the above point of view and developed a network architecture to support various types of QoS requirement imposed by individual traffic sources. We also proposed relevant mathematical models and analyzed their performance.

研究分野：情報システム

キーワード：スマートグリッド AMI マルチホップ無線ネットワーク 数理モデル トラフィック解析 待ち行列 性能評価

1. 研究開始当初の背景

2011年3月の震災およびその後の電力事情逼迫への対応、さらには今後の低炭素社会の実現に向けて、原子力、火力、水力などの集中型大容量発電設備に加えて、太陽熱、風力、地熱などの新エネルギーによる分散発電設備を活用し、持続的な供給安定性・信頼性を確保する電力流通システムの構築が喫緊の課題である。このためには電力・電気システムと情報・通信システムの一層の融合が不可欠であり、高信頼・高効率な情報・通信技術による密な情報共有により安全・安心な社会インフラを構築・維持していく必要がある。このようなスマートグリッドにおいては発電状況、配電状況の精密な把握のみならず、工場、家庭など需要家における時々刻々の電力消費状況の把握が不可欠であり、高信頼で高効率な情報通信ネットワークの構築が急がれる。一方で各種センサー、電気電子機器に付随するモニターの増加に対応しかつ物理的移動に即応するには無線での情報送受信基盤の構築が不可欠である。

2. 研究の目的

スマートグリッドにおいては、発電・配電計画の一層の効率化を目指すべく各需要家の電力消費状況をリアルタイムに情報収集することが今後の重要な課題である。AMI(Automated Metering Infrastructure)は各需要家に設置されたスマートメータと電力会社のゲートウェイ間を繋ぐネットワークであり、この課題を解決すべく速やかな普及が期待されている。AMIは低遅延かつ高信頼であることが求められる。さらにはモバイル・ノードなどを想定し、トポロジー変化に柔軟かつ動的に対応し、電力消費にも配慮する必要がある。本研究では、このような点を鑑み、マルチホップ無線リレーによるネットワーク基盤を基にしたシステム構成論の開発を目的にしている。

3. 研究の方法

マルチホップ無線リレーネットワークにおける送信干渉およびホップ数に応じたスループット低下問題を根本的に解決するために、無線通信の同報性を最大限に活用すべく、ルーティング情報のブロードキャストと個別フローのデータパケット送信を効率的に融合した方式提案を行う。これら方式の定性的・定量的効果を検証するために、数理モデルを開発し性能解析を行う。

4. 研究成果

スマートグリッドにおける、各需要家と電力会社間の電力消費に関するリアルタイムな情報交換を可能にするAMI(Automated Metering Infrastructure)構築に向けたシステム構成に関する研究を行った。AMIは低遅延かつ高信頼であることが求められ、さらにはモバイル・ノードなどを想定し、トポロジ

ー変化に柔軟かつ動的に対応し、電力消費にも配慮する必要がある。本研究では、このような点を鑑み、マルチホップ無線リレーによるネットワークを検討対象とした。具体的には次のような研究成果を得た。

1) マルチホップ無線ネットワークの構成論に関する基礎検討

AMIにおける定期および非定期トラヒックを統合する通信方式の開発を行った。AMIにおいては例えば30分間隔の電力消費などの定期型トラヒックとデマンドレスポンスの情報送信などの非定期トラヒックが混在しており、これらをそれぞれのQoSを確保しながら送受信する通信方式の検討を行い、数理モデルの提案と性能解析を行った。

2) マルチホップ無線における情報可到達性の改善

マルチホップ無線通信におけるスループット保証を目指した基礎的検討を行った。マルチホップ無線においてはホップ数が増えるとスループットが低下する問題があり、これを緩和する通信方式の提案とその数理モデルの開発および性能解析を行った。またその有効性を数値計算結果を基に確認した。

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5件)

Kato, K., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Block-Level Success and Loss Runs for Streaming Services over Wired-Wireless Networks," *Journal of the Operations Research Society of Japan*, vol. 56, no. 2, pp. 69-91, June 2013.

Katayama, H., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Effect of Spectrum Sensing Overhead on Performance for Cognitive Radio Networks with Channel Bonding," *Journal of Industrial and Management Optimization*, vol. 10, no. 1, pp. 21-40, 2014.

Phung-Duc, T., Rogiest, R., Takahashi, Y., Bruneel, H., "Retrial queues with balanced call blending: analysis of single-server and multiserver model," *Annals of Operations Research*, published online: 26 April 2014. DOI 10.1007/s10479-014-1598-2

Kimura, T., Masuyama, H., and Takahashi, Y., "Subexponential Asymptotics of the Stationary Distributions of GI/G/1-Type Markov Chains," *Stochastic Models*, vol. 29, no. 2, pp. 190-239, 2013.

Konishi, Y., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Performance Analysis of Dynamic Spectrum Handoff Scheme with Variable Bandwidth Demand of Secondary Users for Cognitive Radio Networks,"

Wireless Networks, vol. 19, no. 5, pp. 607-617, 2013.
DOI: 10.1007/s11276-012-0488-2

〔学会発表〕(計 13 件)

宮脇大, 増山博之, 高橋豊, ``多重クラス
集団到着 M/G/1 待ち行列の重負荷極限,''
日本オペレーションズ・リサーチ学会 2013 年
秋季研究発表会, アブストラクト集, pp.
32-33, 徳島大学, 2013.9.11-12.

木村達明, 増山博之, 高橋豊, ``GI/G/1 型
マルコフ連鎖における定常分布の重負荷極
限,''
日本オペレーションズ・リサーチ学会
2013 年秋季研究発表会, アブストラクト集,
pp. 22-23, 徳島大学, 2013.9.11-12.

矢澤学, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊, ``
コグニティブ無線通信システムにおけるセ
カンダリユーザの通信成功確率及びハンド
オフ回数,''
日本オペレーションズ・リサーチ学会 2013 年度秋季研究発表会, アブストラ
クト集, pp. 166-167, 2013.9.11-12.

矢澤学, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊, ``
コグニティブ無線通信における二次利用端
末の通信品質評価,''
インターネット技術
第 163 委員会 (ITRC) 新世代ネットワー
ク構築のための基盤技術研究分科会 (NWGN)
ワークショップ (ITRC-NWGN 2013), 紀三井
寺 ガーデンホテルはやし, 和歌山市,
2013.9.5.

山本究, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊, ``
コグニティブ無線における共通制御チャ
ネル方式の通信オーバーヘッド解析,''
インターネット技術第 163 委員会 (ITRC) 新世
代ネットワーク構築のための基盤技術研究
分科会 (NWGN) ワークショップ (ITRC-NWGN
2013), 紀三井寺 ガーデンホテルはやし,
和歌山市, 2013.9.5.

加藤将隆, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊,
``MapReduce フレームワーク用サーバ管理機
構 BEEMR の省電力効果解析,''
インターネット
技術第 163 委員会 (ITRC) 新世代ネット
ワーク構築のための基盤技術研究分科会
(NWGN) ワークショップ (ITRC-NWGN 2013),
紀三井寺 ガーデンホテルはやし, 和歌山市,
2013.9.5.

片山晴紀, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊,
``コグニティブ無線通信における協調セン
シング方式の性能比較,''
インターネット
技術第 163 委員会 (ITRC) 新世代ネット
ワーク構築のための基盤技術研究分科会
(NWGN) ワークショップ (ITRC-NWGN 2013),
紀三井寺 ガーデンホテルはやし, 和歌山市,
2013.9.5.

前田晃史, 笠原正治, 高橋豊, ``環境発電
型無線センサーノードの残余電力を考慮し
た通信制御方式の検討,''
インターネット
技術第 163 委員会 (ITRC) 新世代ネット
ワーク構築のための基盤技術研究分科会
(NWGN) ワークショップ (ITRC-NWGN 2013),

紀三井寺 ガーデンホテルはやし, 和歌山市,
2013.9.5.

片山晴紀, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊,
``コグニティブ無線通信における協調セン
シング方式の性能解析: 集中センシングと
並行センシング,''
電子情報通信学会技術
研究報告 (NS2013-137), pp.19-24,
2013.12.19-20.

前田晃史, 笠原正治, 高橋豊, ``無線セン
サーネットワークにおける環境発電型ノ
ードの動的タスク・スケジューリング,''
電子
情報通信学会技術研究報告 (NS2013-161),
pp.155-160, 2013.12.19-20.

片山 晴紀, 増山博之, 笠原正治, 高橋
豊__, ``Analytical comparison of
cooperative spectrum sensing schemes for
cognitive radio networks,''
2013 年度確率
モデルシンポジウム (Symposium on
Stochastic Models 2014), pp. 91-100, 東
京理科大学 森戸記念館, 2014/01/22-24.

矢澤 学, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊,
``コグニティブ無線通信における二次利用
端末の通信品質解析,''
2013 年度確率モデル
シンポジウム (Symposium on Stochastic
Models 2014), pp. 101-110, 東京理科大学
森戸記念館, 2014/01/22-24.

境谷秀作, 増山博之, 高橋豊, ``例外的な
境界挙動を有する反射型ランダムウォーク
の切断近似,''
2014 年度確率モデルシンポ
ジウム (Symposium on Stochastic Models
2015), 東北大学 片平キャンパス,
2015/01/22-24.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 豊 (TAKAHASHI, Yutaka)
京都大学・大学院情報学研究科・教授
研究者番号：00135526

(2) 研究分担者

()
研究者番号：

(3) 連携研究者

笠原正治 (KASAHARA, Shoji)
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授
研究者番号：20263139

増山博之 (MASUYAMA, Hiroyuki)
京都大学・大学院情報学研究科・准教授
研究者番号：60378833

遠藤慶一 (ENDO, Keiichi)
愛媛大学・大学院理工学研究科・講師
研究者番号：10467847

フンドック・トゥアン (Phung-Duc Tuan)
東京工業大学・大学院情報理工学研究科・助教
研究者番号：20633465