

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 14 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730057

研究課題名(和文) 自然エネルギー発電と通信制御の統合システムの研究

研究課題名(英文) Study on Integrated Renewable-energy Aware Communication System

研究代表者

新熊 亮一 (Shinkuma, Ryoichi)

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：70362580

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年、ビッグデータという表現に代表されるように情報が爆発的に増加し、その流通を支える通信インフラの規模も増大してきている。将来的には、通信インフラにおける消費エネルギーが大きな社会問題になる。そこで、「自然エネルギー発電と通信制御の統合システム」の研究を行なった。成果として、発電量の不安定性を許容しつつ、自然エネルギーによる発電エネルギーを無駄なく利用するための通信制御システム、およびアルゴリズムを提案した。具体的には、自然エネルギー発電の発電量に応じてデータの蓄積と転送を制御する通信システムおよびアルゴリズムを提案し有効性を示した。雑誌論文2件、学会発表5件の発表を行なった。

研究成果の概要(英文)：The recent volume of data exchanged in our daily lives has been explosively increased as people know as 'Big data'. This trend has also been increasing the scales of communication systems, which enable people to exchange data. Because of this trend, it is forecasted that the energy consumption at communication systems will cause a serious issue in our future society. Therefore, this study focuses on an integrated renewable-energy aware communication system, which considers the instability of renewable energy and maximizes the utilization efficiency of renewable energy. Through this work, the energy-aware store-and-forward system and algorithm were proposed and validated. Two journal papers and five other papers were published.

研究分野：通信システム

キーワード：通信・エネルギー統合 ストアアンドフォワード 再生可能エネルギー

### 1. 研究開始当初の背景

(概要) 近年、ビッグデータという表現に代表されるように情報が爆発的に増加し、その流通を支える通信インフラの規模も増大してきている。将来的には、通信インフラにおける消費エネルギーが大きな社会問題になると予想されている。本研究では、「自然エネルギー発電と通信制御の統合システム」の研究を行なう。太陽光発電や風力発電、地熱発電といったほとんどの自然エネルギー発電では、場所や時間、天気などに依存して発電量が変化する。提案システムは、通信ネットワークにおける各経路の発電量も含めた電力状態に応じて、「機会をうかがいながら」トラヒックの配分を制御することで、全体的なエネルギー利用効率を向上する。提案システムを数学的にモデル化し、実測値を用いて定量的に評価することで、その実現性とコスト対効果を明らかにする。

(動向と位置づけ) 通信インフラの消費電力に対する取り組みは国内外で行われているが、本研究は、自然エネルギー発電と通信制御をシステムとして統合し、Opportunisticな(機会をうかがう)制御を行なうというまったく新たなアプローチである。

従来のアプローチの1つとして、通信ノードそのものを省電力化させるという取り組みがある[1]。主には、通信ノードを通信を行っていない間はスリープ(一時休止)させることで、待機時間の消費エネルギーを削減するという手法が検討されている。このアプローチと本研究は互いに独立な関係にあるので、競合はせず、むしろ組み合わせることが出来る。

また、従来のアプローチの2つ目として、「スマートグリッド」に代表されるように、自然エネルギー発電のように時と場所によって発電量が異なる場合でも、安定的にエネルギーを供給できるようにするフレームワークの検討が進められている [2]。今回の研究は、自然エネルギー発電の不安定性を許容し、その性質に合わせて通信ネットワーク側を制御する、という全く違うアプローチである。

(着想に至った経緯)

まず、通信ネットワークの消費電力が、図2のように国内の総発電量をいずれ上回ってしまうと予測されており[3]、前述の省電力や安定供給以外の新たなアプローチが期待される。一方で、申請者はこれまでの研究で、通信ネットワークにおいて、Opportunisticな(機会をうかがう)通信制御によるエネルギー利用効率向上の可能性を示してきた。例えば、自動車などの移動通信局に対して、無線通信を用いてデータの配送を行なう際、すぐに送信するのではなく、送信局に十分に近づいてから送信を行なうことで、伝送効率の高い変復調方式を用いることができ、伝送時間が削減される結果として、消費エネルギーも

削減することができる。今回の研究においても、自然エネルギー発電の発電量に応じてOpportunisticにトラヒックを制御することで、自然エネルギー発電を活用でき、エネルギー利用効率を向上できる。

[1] M. Gupta et al., SIGCOMM'03, 2003.

[2] 横山, 電気学会誌, vol.130, no.3, pp.163-167, 2010.

### 2. 研究の目的

提案する「自然エネルギー発電と通信制御の統合システム」の実現性とコスト対効果を明らかにする。キーワードは、実測値に基づく定量的評価である。

実現性に関する予備検討として、太陽光による発電量とルータ(=ネットワークを構成する通信装置)の消費電力の比較を行なった。1平方メートルあたりの発電量は900wであることが報告されている[3]。これは情報のビットレートが70Gbpsの時のルータの消費電力に相当する。このように発電量と消費電力の桁が大きく違うなどということはなく(むしろ近い)、実現性は高い。しかし、発電量に応じて通信のトラヒックを制御するためには、発電量とトラヒックの両方の予測が必要となり、その予測精度も考慮した実現性の検討を行なう必要がある。

コスト対効果については、まずは単純なネットワークモデルを用いて、トラヒックの配分に対する最適化問題として定式化し、コストを一定として、例えば、エネルギー利用効率(=自然エネルギー活用の程度)の理論限界を求める。ただし、ここでも、非現実的な仮定をおくのではなく、必ず実測値を用いた検討を行なう。

[3] 中部電力 技術開発ニュース, 2012年7月

### 3. 研究の方法

研究目的を達成するため、平成25年度は、まず文献調査と実測の2つの方法で電力の発電量と消費量のモデル化を行なった。次に、実現性の検証から提案システムを実現可能な条件を明らかにし、その条件を満たす範囲の中でコスト対効果の検証を行った。コスト対効果の検証では、理論限界も明らかにする。

平成26年度は、自然エネルギー発電に応じたトラヒック制御方式を設計し、評価した。その際は前年度に明らかにした理論限界に対する達成度で評価を行うことで、何をどの程度達成できたのか把握しながら進めた。

応募者のみでも期間内に目的を達成できるよう進めたが、より高い性能とより多くの成果を得るために、調査、実測、方式設計、方式評価それぞれにおいて、計3名の学生が補助を行ないながら進めた。

「2. 研究目的」で述べた項目を達成するため、以下の計画で研究を行った。

まず、初年度である平成25年度は以下の順に進めた。

25-1. 調査によるモデル化

既発表文献から自然エネルギー発電、通信ネットワークの消費電力がそれぞれどのようなモデル(関数)で与えられるのか、調査する。

### 25-2. 実測によるモデル化

太陽光発電装置、通信ルータを購入し、パワーアナライザを用いた実測により、太陽光発電、ルータの消費電力のモデル化を行なう。

### 25-3. 実現性の検証

25-1.と 25-2.で構築したモデルを用いて、提案システムの実現性を検討する。例えば、仮に自然エネルギー発電による発電量が通信ネットワークの消費電力の 1/100 や 1/1000 に及ばないとすれば、発電量に応じたトラフィック制御を行なっても大きな改善は見込めない。実現性とその条件の範囲を明らかにする。

### 25-4. コスト対効果の検証

25-1.と 25-2.で構築したモデルを用いて、25-3.で明らかにした実現可能条件の範囲で、図5のような単純なネットワークを想定して、一定のコストに対して、例えば、エネルギー利用率(=自然エネルギー活用の程度)の理論限界を求める。

次年度の平成 26 年度は、以下の順に進めた。

### 26-1. トラフィック制御方式の設計

前年度構築したモデルと明らかにした実現可能条件を前提に、自然エネルギー発電に応じた通信トラフィック制御方式を設計する。

### 26-2. トラフィック制御方式の評価

26-1.で設計した制御方式をまずは単純なネットワークを想定して評価する。特に前年度明らかにした理論限界を 100%として達成度を評価する。

### 26-3. 予測精度も加味した実現性の検証と評価

気象などからの自然エネルギー発電の発電量の予測と通信トラフィックの予測、両方の予測精度を加味した実現性の検証と評価を行う。

最終年度である平成 27 年度は、世界の社会経済ならびに技術動向を鑑み、通信ノードとして UAV(Unmanned Aerial Vehicle)を想定し、自然エネルギー発電によりエネルギーを生成する給電ステーションを想定した研究を実施した。

## 4. 研究成果

研究成果として、発電量の不安定性を許容しつつ、自然エネルギーによる発電エネルギーを無駄なく利用するための通信制御システム、およびアルゴリズムを提案した。具体的には、自然エネルギー発電の発電量に応じてデータの蓄積(ストア)と転送(フォワード)を制御する通信システムおよびアルゴリズムを提案した。本方式の適用領域として、例えば、多数のセンサ群がセンシングした 1 日分の情報(降雨量など)をルータがサーバに転送し、サーバが蓄積されたセンシング情報を統計処理するようなアプリケーション

など、データ転送に求められる遅延の要求があまり厳しくないアプリケーションを想定した。

図 1 にシステムモデルを示す。マイクログリッドが適用されるような小規模エリアを想定している。図 1 の上部は小規模エリアにおける通信機構を示している。また、下部はエネルギー供給機構を示している。下部において、エネルギー源は 2 種類存在する。従来の大規模な発電方式によるエネルギー源と、自然エネルギー発電によるエネルギー源である。これら二つのエネルギー源から送られるエネルギーは、エネルギー統合装置によって統合され、小規模エリアの各ルータに供給される。消費エネルギー予測装置はデータベースに保存された過去の通信記録に基づいて、各ルータが次のルータにチャックを転送するために必要な消費エネルギーを予測する。発電エネルギー予測装置はデータベースに保存された過去の自然エネルギー発電の発電記録や、センシングで得られる天気などの要素に基づいて、自然エネルギーを予測する。ネットワークコントローラは、1.消費エネルギー予測装置の出力結果、2.発電エネルギー予測装置の出力結果に基づいてストアアンドフォワード方式を制御する。

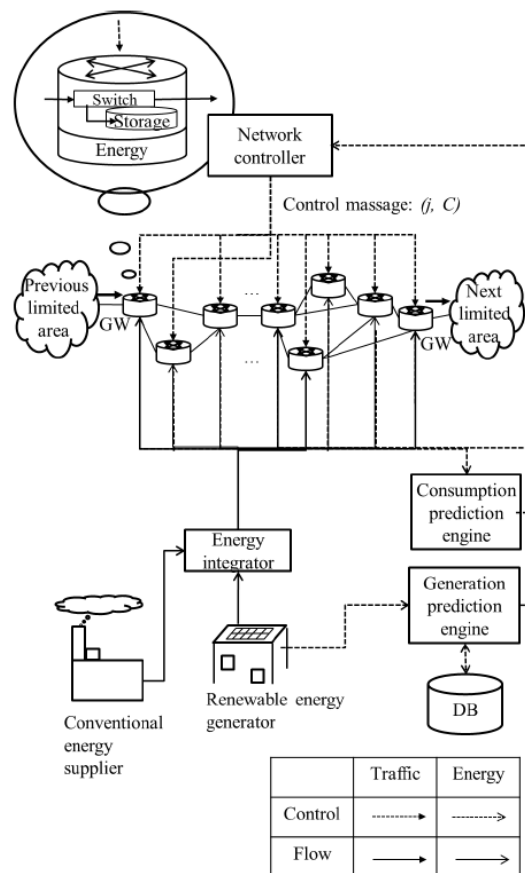


図 1: システムモデル  
(鈴木他, 信学論 vol. J97-B(no.2) pp.70- 77)

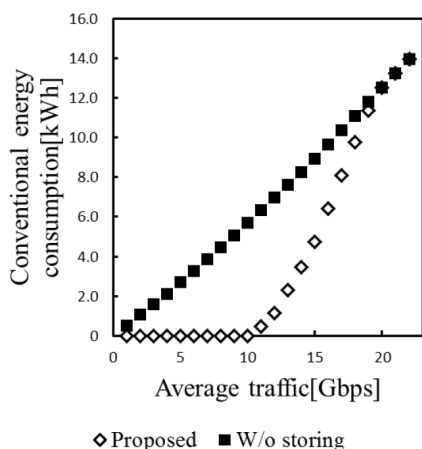


図2: 負荷に対する消費エネルギー (鈴木他, 信学論 vol. J97-B(no.2) pp.70- 77)

図2に負荷に対する消費エネルギーの結果を示す。提案するストアアンドフォワード方式を用いることで、自然エネルギー発電以外の従来エネルギーの消費を大きく削減することができた。トラヒックの負荷を大きくしても20Gbpsまでは有効性が見られた。

また、太陽光発電装置、通信ルータを購入し、パワーアナライザを用いた実測により、太陽光発電、ルータの消費電力のモデル化を実施した。

また、通信ノードとしてUAVを想定し、自然エネルギー発電によりエネルギーを生成する給電ステーションを想定したモデルにおいて、効率的な通信・エネルギー融合システムを設計することができた。

以上の成果は、学会の研究会や、国際会議、論文誌に発表した。

#### 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2件)

鈴木翔, 新熊亮一, 高橋達郎, 自然エネルギー発電量に応じたストアアンドフォワード方式, 電子情報通信学会和文論文誌 B, vol.J97-B(no.2) pp.70- 77, 2014年2月.

Q. Wu, R. Shinkuma, T Takahashi, "Adaptive Communication System with Renewable Energy Source," IEICE Trans. Commun. vol.E98-B(no.8) pp.1571-1579, 2015年8月.

[学会発表](計5件)

鈴木翔, 新熊亮一, 高橋達郎, "自然エネルギー発電量に応じたストアアンドフォワード方式の検討," 電気関係学会関西連合大会, 2013年11月.

W. Qishen, S. Suzuki, R. Shinkuma, and T. Takahashi, "Study of Prediction-Based Forwarding Strategy in

Micro-grid Powered Communication Networks," 電子情報通信学会 2014 年総合大会講演論文集, BS-1-7, 2014年3月

W. Qishen, R. Shinkuma, and T. Takahashi, "Energy Aware Resource Scheduling Strategies of Solar-powered Base Stations," 電子情報通信学会技術研究報告 CQ2014-20, pp.31-34, July 2014

W. Qishen, S. Suzuki, R. Shinkuma, and T. Takahashi, "Adaptive transmission control for communication systems with unstable renewable energy sources," Eighth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), pp.126- 131, Jan 2015.

中村 拓哉, 田中 祐輔, 新熊亮一, "UAV を用いた無線バックホールの実現性評価," 電子情報通信学会総合大会, 2016年3月.

[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]

<http://icn.cce.i.kyoto-u.ac.jp/themes/theme02>

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

新熊亮一 (SHINKUMA, Ryoichi)  
京都大学・大学院情報学研究科・准教授  
研究者番号: 70362580

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

(研究実施当時)

高橋達郎 (TAKAHASHI, Tatsuro)  
京都大学・大学院情報学研究科・教授  
研究者番号: 30324677

(4)研究協力者

(研究実施当時)

WU, Qishen  
京都大学・大学院情報学研究科・修士課程  
鈴木翔 (SUZUKI, Sho)  
京都大学・大学院情報学研究科・修士課程