

# 計測・計算・通信コストを考慮した スマートグリッドシステム全体の 消費電力最適化アルゴリズムの実装と評価

松井 忠宗<sup>†</sup> 西 宏章<sup>†</sup>  
慶應義塾大学 理工学部<sup>†</sup>

## はじめに

近年スマートグリッド [1] などでも用いられる AMI (Automated Metering Infrastructure) は理論や技術の発達とともに学術分野のみならず商業、工業分野などでも急激に注目が集まっている。実環境への適用においてはセンサデータの取得、計算、制御とそれに伴う通信をバッテリー、電池などの限られた電源のもとで行う必要がある。本研究ではデータ収集、計算、制御、通信などシステム運用時に消費される電力を考慮した消費電力最適化アルゴリズムを提案する。XBee, Arduino, Raspberry Pi を用いて実際に構築した環境下で、実環境を計測し得られたデータを元にシミュレーションを行った。提案手法によって消費電力が最適化され、システムのライフタイムが最大 1.6 倍延長された。

## 関連研究

AMI を構成するセンサネットワークの構築にあたっては柔軟性、拡張性、耐故障性を重視し MANET (Mobile Ad hoc Network) の考え方が用いられつつある。MANET ではワイヤレス通信により、全ノードがマルチホップ転送の機能を有し、ネットワークのトポロジが頻繁に変動しうる。また、用いるセンサノードは設置場所の制約や使用用途などから必ずしも電源に接続されているとは限らない。そこで現在ノード稼働時間最大化は、様々な改善案が提案されている [2]。

ZigBee は IEEE802.15.4, ZigBee Alliance により規格化された家電向け短距離無線通信プロトコルである。低速で転送距離が短い、安価で消費電力が少ないことから環境モニタリングなどのアプリケーションに適している。XBee は ZigBee 規格を持つ無線素子であり、Arduino, Raspberry Pi はデータ取得、制御を行うマイコンである。本提案では、安価で入手が容易なことから普及が進んでいる XBee, Arduino,

Raspberry Pi でのシミュレーションおよび実装を前提に進めている。

## 提案手法

センサノードは限られたエネルギーの中で、計測、計算、通信などノード上でのすべての動作でエネルギーを消費し、中でも通信において最もエネルギーを消費するとされている [3]。本アルゴリズムでは計測、通信で消費されるエネルギーを予測し、ノードが持つエネルギーと照らし合わせることで、目的地ノードまでの経路の中で最もライフタイムが長い経路選択を行う。本アルゴリズムにおけるシステムのライフタイムとは、システムの運用開始からシステム内いずれかのノードが最初に使用不能になるまでの時間を指すものとする。経路選択を定期的に行うことによって、システム全体で電力消費が偏らないことが期待され、効率の良い運用が可能になる。

前提条件として、PAN (Personal Area Network) 内のノードは ID と位置が既知とする。センサノードのバッテリーリソースは限られており、データが集まるシンクノードに電源が供給され、経路選択に関するすべての計算を行う。経路選択後、各ノードに選択された経路が通知され、以後各ノードは通知された経路を用いてシンクへのデータ送信を行う。

経路構築にあたり、初めに ID と位置情報からソフトウェア上で通信可能ノードを算出することで、通信トポロジを決定する。次に、全てのセンサノードに対して、通信可能な経路を列挙する。列挙した経路それぞれについて (1) に表す関数  $C(\mathbf{n})$  を用いて予測消費エネルギーを算出する。

$$C(\mathbf{n}) = \prod_{i=1}^n (1 - r_i) * n * E_H + \sum_{i=1}^n \{ (\prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_j)) * r_i * (n * E_H + i * E_H) \} \quad (1)$$

ここで、経路のホップ数を  $\mathbf{n}$ 、ノード  $\mathbf{n}_i$  と  $\mathbf{n}_{i+1}$  におけるパケット損失率を  $r_i$ 、データパケットを 1 ホップさせるのに必要なエネルギーを  $E_H$  とする。次に各経路の予測消費エネルギーで、その経路のノードの中で最も少ないエネルギー量を割り、各経路の予測ライフタイムを算出する。各センサ

The Calculation-Measurement-Communication Cost Based Energy Optimizing Algorithm in the Smart Grid System  
<sup>†</sup> Tadanori Matsui, Hiroaki Nishi, Dept. of Syst. Design, Keio University, Yokohama

ノードに対して、最もライフタイムが最長となる経路を選択する。経路が決定されたら、シンクノードから各センサノードに経路を伝達する。各センサノードは伝達された経路を用いてセンサデータの送信を行う。一定期間ごとに以上の経路選択と通知を繰り返すことで、システム内の通信状況、エネルギー消費状況を考慮したデータ収集が可能となる。

### シミュレーション結果

シミュレーションにあたり、XBee, Arduino, リチウムポリマー電池を用いてセンサノードを作成し、消費電力や距離とパケット損失率を測定した。ここで  $d$  は距離を表す。

$$PER(d) = \begin{cases} 0.0002d - 0.0006 & 0 \leq d \leq 52.5[m] \\ 0.0035d - 0.174 & 52.5 < d[m] \end{cases} \quad (2)$$

表 1 に示すパラメータと (2) に示すパケット損失率と距離の関係を表す関数  $PER(d)$  を用い、慶應義塾大学矢上キャンパス周辺にネットワークを構築する想定で (図 1)、独自に構築したシミュレータを用いてシミュレーションを行った。

表 1 シミュレータに使用したパラメータ

内蔵バッテリー量	110mAh
センサノード待機時電流量	25mA
センサノード無線使用時電流量	65mA
経路変更で消費されるエネルギー	65mA
一回の無線送受信にかかる時間	1s
センサデータ送信間隔	1s
パケット損失率	距離の関数 (2)
経路変更間隔	1s

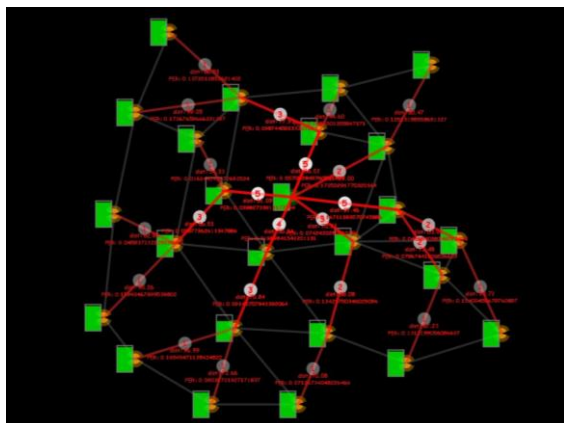


図 1 シミュレーション概要図

システム内のいずれかのノードが使用不能になるまでのデータ送信回数をカウントし、経路を固定した場合と提案手法を用いた場合でのライフタイムの比較を行った。ここで、経路固定時はシステム開始時にホップ数が最小となる経

路を用い、シミュレーション中に経路変更を行わずにデータ送信を行う。経路固定時と比べて、提案手法は最大 1.6 倍システムを長く運用できた (図 2)。その理由としては、予測消費エネルギーとシステムの残留エネルギーを考慮することで、経路変更の時点で多くのエネルギー消費があるノードを経由する経路を回避し、よりライフタイムの長い経路を用いたデータ送信が可能となるためであると推察する。

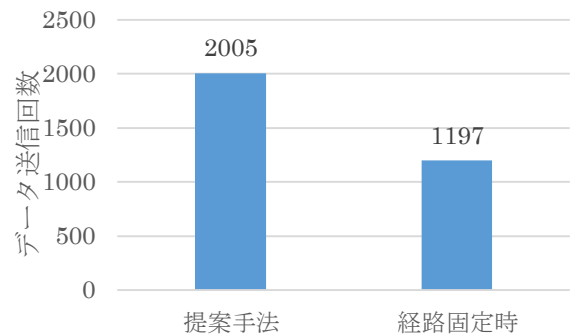


図 2 シミュレーション結果

### 結論

本研究では、センサネットワークでのデータ取得について、消費エネルギーを考慮した経路選択によって、通信システム全体の消費電力を最適化するアルゴリズムを提案した。シミュレーションの結果、提案手法によってスマートグリッドなどで用いられる通信システム内での電力消費の偏りが是正され、システム全体でのライフタイム増加が期待できる結果を得た。

### 謝辞

本研究は、公益財団法人セコム科学技術振興財団研究助成、文部科学省科学技術研究費補助金基盤研究 B「機能維持性を高める建物・複数機器の協制御」(24360230)ならびに「コンテンツベース・スマートコミュニティインフラの構築と展開」(25280033)、国土交通省住宅・建築物技術高度化事業の一環としてなされた。

### 参考文献

- [1] 次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会, “次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて,” 経済産業省, 2010.
- [2] G. Aggelou, “Mobile Ad Hoc Networks,” McGraw-Hill, 2005.
- [3] 安藤繁, 田村陽介, 戸辺義人, 南正輝, センサネットワーク技術 ユビキタス情報環境の構築に向けて, 東京電機大学出版局, 2007年12月20日 第1版2刷.