

照明の光度制御によるセンサノードのリプログラミング手法の基本的検討

堂面 拓也

Takuya DOMEN

1 はじめに

センサネットワーク上で複数のアプリケーションを稼働する場合、運用状況の変化に応じてセンサノードのプログラムを変更する必要がある。すでに設置したセンサノードのプログラムを変更する場合、すべてのセンサノードを回収して手動でプログラムを変更することは現実的でない。そのため、無線機能を用いてセンサノードにプログラムを送信するリプログラミングの研究がある¹⁾。しかし、大規模な運用環境で全センサノードのプログラムを変更する場合、ブロードキャスト送信によるネットワーク上のトラフィック増加や、特定のセンサノードに消費電力が偏るといった課題がある。

また、ベースステーションに対して遠隔にあるノードでは、パケットロスによるデータ再送などによってデータ配送完了に遅延が生じる可能性がある²⁾。

以上の背景から、本研究では既存の調光可能な天井照明を光度制御することによって、屋内に設置したすべてのセンサノードのプログラムを変更する手法を検討する。まず、リプログラミングに関する先行研究について議論し、無線機能を用いた場合の課題を述べる。そして、無線機能の課題を解決するために、天井照明を光度制御することによって、室内に設置した全てのセンサノードに対し、同時にデータを送信する手法を提案する。最後に、無線機能を用いた手法と提案手法について比較を行い、有効性を検証する。

2 想定事例と要求分析

2.1 事例

本研究が想定する事例の一例として、倉庫型小売店におけるセンサネットワークの運用を挙げる。センサネットワーク上で運用するアプリケーションは複数あり、倉庫型小売店の営業時間内外や緊急事態に応じて変更する。なお、緊急事態用のアプリケーションは敷設したすべてのセンサノードにすでにインストールしてあるものと仮定する。

倉庫型小売店において、営業時間内に稼働するアプリケーションは3つある。一定間隔で照度を取得し照明制御を行うアプリケーションと、温湿度を計測し販売エリアに応じた空調制御を行うアプリケーション、および商品の状態管理を行うアプリケーションである。

営業時間外になると、防犯アプリケーションを新たに追加する。なお、あらかじめ緊急事態用のアプリケーションをセンサノードにインストールしているため、センサノードのメモリに制限がある。したがって、防犯アプリケーション追加時に営業時間内用のアプリケーションを削除す

る。また、緊急事態の例として火災を考える。倉庫型小売店内で火災が発生した場合、センサノード上で動作しているアプリケーションをすべて削除し、火災状況を把握するアプリケーションを起動する。火災状況を把握するアプリケーションの起動には、ベースステーションから起動命令をすべてのセンサノードに送信する。火災発生時のような緊急事態は、敷設したすべてのセンサノードが緊急用のアプリケーションを遅延なく起動しなければならない。

2.2 要求の分析と課題

本研究で想定する無線センサネットワークの運用は、状況に応じたアプリケーションの追加、削除、変更を行う必要がある。想定事例の要求は次のとおり整理できる。

要求 A : 1日に複数回のプログラム再インストール

要求 B : すべてのセンサノードにおける緊急事態用アプリケーションの同時起動

倉庫型小売店内に敷設したセンサネットワークで以上の要求を満たすには、1日に複数回のプログラム変更を行うことや、すべてのセンサノードに対して遅延なく起動命令を送信する必要がある。無線送信によってプログラムの再インストールを行うリプログラミングを用いた場合、手動で回収する手間がないため要求 A を満たすが、ベースステーションから遠隔にあるノードでは起動命令の配送に遅延が生じる可能性がある。したがって、要求 B を満たせない場合が存在する。無線機能を用いる方法では、要求 B を満たせないという課題以外にも、ベースステーション付近にあるノードの消費電力が増大するという課題や、ブロードキャスト送信によるトラフィック増加などの課題がある。

3 照明制御によるデータ送信手法

本研究では、センサノードのリプログラミング実現のために照明制御によるデータ送信を行う。照明制御によるデータ送信は、照明の光度を変化させることで照度を変化させ、センサノードに搭載した照度センサを用いて取得した照度を基にデータ復調を行う。

照明の光度制御によるデータ変調手法は、もっとも簡単な Light Intensity Modulation (LIM) を用いる。また、センサノードにおけるデータ復調手法は、時間微分による照度変化検知および復調を行う手法 (SDTD: Signal Detection with Time Derivative) を用いる。

4 消費電力に関する実験

4.1 実験概要

照明の光度制御によるデータ送信手法における消費電力と、無線機能を用いた場合の消費電力をシミュレー

Table1 各手法の消費電力シミュレーションの結果

Communication method	Average [mA]	Variance
Luminosity control	336	17.3
Radio	320	3391

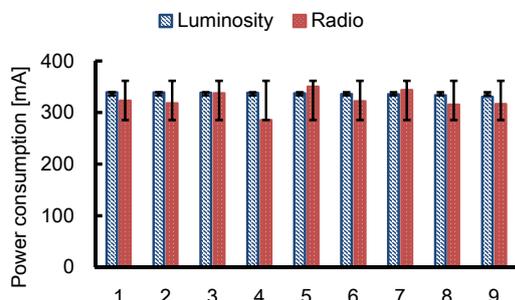


Fig.1 各ノードの消費電力の平均

シミュレーションによって比較する。シミュレーション環境として、PowerTOSSIM³⁾を用いた。センサノードとして Crossbow 社の MOTE MICA2 を使用すると想定し、センサボード搭載時の消費電流を 0.69 mA とした。照明によるデータ送信手法のデータ転送速度は、照明の最小制御間隔および照度センサの時間的分解能に依存する。本実験では、照度センサに NaPiCa 照度センサを用いると仮定し、データ転送速度を 5 bps とした。なお、照明によるデータ送信時のビットエラー率を 0 % とした。また、無線機能を用いた場合のシミュレーションにおいて、各センサノードはグリッド上に配置し、ノード間の距離はパケットロスの少ない 5 feet とした。なお、パケットロスモデルは最も一般的な Lossy モデルを使用した。パケットサイズは 28 byte とし、ヘッダやフッタ、メタデータなどを除いたボディサイズは 20 byte とした。センサノードへの送信はブロードキャストを用い、ベースステーションからのデータ送信周期は 1 s とした。

本実験ではトポロジを 3 × 3 のグリッドとし、照明または無線機能によるデータ送信シミュレーションを各 10 回試行し、データ送信時に発生した消費電力の平均および分散を示す。なお、送信するデータサイズは 800 bit (100 byte) とした。

4.2 実験結果

照明によるデータ送信で生じた消費電力と無線機能を用いた場合の消費電力の平均と分散を Table 1 に示す。また、各ノードの平均消費電力と分散を Fig. 1 に示す。

Table 1 から、800 bit のデータ送信を行った際の各ノードの平均消費電力は、無線機能を用いた場合と比較して、照明を用いたデータ送信の方が大きいことが分かる。一方、各ノードの消費電力の分散は、無線機能を用いた場合の方が大きいことが分かる。Fig. 1 から、無線機能を用いた場合の各センサノードにおける消費電力は、ノードごと

にばらつきが大きいことが分かる。

4.3 考察

Table 1 から、センサノードの平均消費電力は、わずかに照明によるデータ送信の方が大きくなっている。この原因として、照明によるデータ送信の転送速度が、無線機能を用いた場合に比べて遅いことが挙げられる。無線機能を用いた場合、一度に送信できるデータ量が大きいため、数回のパケット送信で全データを転送できる。一方、照明によるデータ送信は、全データを転送するまで常にセンシングを行う必要があり、消費電力が増加したと考えられる。しかし、無線機能を用いた場合において、パケット受信中でもセンサノードはセンシングしていることを考えた場合、センサノード全体の消費電力量はさほど変わらないと予想できる。

また、無線機能を用いた場合の消費電力の分散が、照明によるデータ送信に比べて大きくなっている原因として、各ノード間においてパケットロスが発生しているためだと考えられる。パケットロスが発生した場合、センサノードにおけるパケット受信時の消費電力が発生しない。本実験ではパケットロスが少ない 5 feet の環境でシミュレーションを行った。しかし、センサノードのパケットロスによる消費電力のばらつきは非常に大きくなっていると考えられる。すなわち、無線機能を用いた場合、消費電力が増加するセンサノードに偏りが発生すると予想できる。一方で、照明によるデータ送信は、各センサノードの分散は非常に小さい。したがって、センサノードの消費電力は偏りが発生しにくいといえる。

5 まとめ

シミュレーションによる実験から、照明によるデータ送信は、無線機能を用いた場合と比較して、やや消費電力が大きいこと、および無線機能を用いた場合に比べ各センサノードごとの消費電力の偏りが小さいことが分かった。

今後は、照明によるデータ送信を用いて、センサノード上のプログラムを動的に変更できる機構を構築する予定である。また、消費電力削減ができるモジュールを開発する必要がある。

参考文献

- 1) Wang, Q. and Zhu, Y. and Cheng, L.: Reprogramming wireless sensor networks: challenges and approaches, *Network, IEEE*, Vol.20, No.3, pp.48–55(2006).
- 2) Levis, P. and Lee, N. and Welsh, M. and Culler, D.: TOSSIM: Accurate and scalable simulation of entire TinyOS applications, *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, pp.126–137(2003).
- 3) Shnayder, V. and Hempstead, M. and Chen, rong B. and Allen, G. W. and Welsh, M.: Simulating the power consumption of large-scale sensor network applications, *Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, pp.188–200(2004).