

照明制御を用いたセンサノードの動的制御手法

森本 祥之

Shoji MORIMOTO

1 はじめに

近年,工場やオフィス,自然環境などにおいて環境情報を取得するため,無線センサネットワークという技術に注目が集まっている.無線センサネットワークとは,センサや無線機能を実装するセンサノードを無線通信により相互に接続したネットワークのことである.無線センサネットワークにおけるセンサノードはバッテリー駆動であるため,省電力制御が必要となる.また,センサノードは,センシングにより受信したデータを無線通信によりベースステーションへデータ転送を行い,センシング時およびデータ転送時に電力を多く消費する.したがって,センシング周期を長く,無線機能をスリープにすることで省電力制御を行う.センシング周期の変更や無線機能をスリープにするといったセンサノードの挙動変更は,ミドルウェア上で処理することが一般的である.無線センサネットワークにおけるミドルウェアは無線通信により送信した命令の解釈を行うため,センサノードを一台ずつ回収してセンサノードの挙動を変更する手間を解決する.しかし,既存のミドルウェア¹⁾では,ブロードキャストによって挙動変更命令を送信するため,ベースステーション付近のセンサノードでネットワーク上のトラフィックが生じ,消費電力の偏りが生じる可能性を高める.ネットワークトラフィックを改善する手法として全センサノードへのデータ送信を可能とする照明制御を用いたデータ送信手法が提案されている.しかし,照明制御により受信したデータを命令として解釈する機能を持つミドルウェアは提案されていない.以上の背景から,本研究では照明制御によるデータ送信を用いてセンサノードの挙動を動的に変更するミドルウェアを提案する.

2 想定環境

本研究が対象とする環境は,コンピュータによる調光が可能な屋内の照明環境である.既にコンピュータによる制御が可能なオフィスビルは複数存在している.本研究が想定する無線センサネットワークのセンサノードは小型かつバッテリー駆動である.センサノードの無線機能は,低スループットかつ省電力性を指向した無線媒体を対象とする.また,センサノードを送信する機能のみを持ち,受信機能がないセンサノードも対象とする.本研究では,以上の前提をもとに,オフィスにおいて照明制

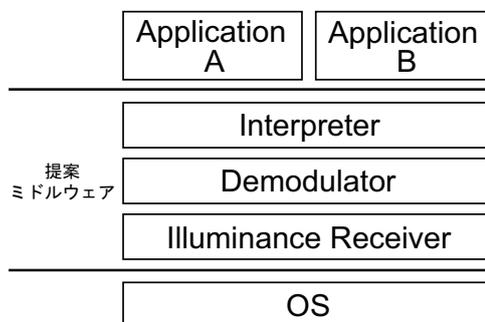


Fig. 1 アーキテクチャ

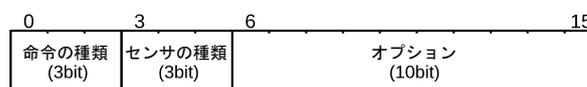


Fig. 2 パケット構造

御システムを無線センサネットワーク上で動作することを想定する.また,照明制御システムは照度の取得が必要であるため,センサノードは照度センサを持つことを想定する.

3 提案ミドルウェア

本研究で提案するミドルウェアは,調光可能な照明を用いて,センシング周期の変更やスリープといった命令受信を可能にする. Fig. 1 に提案ミドルウェアのアーキテクチャを示す.提案ミドルウェアは, Illuminance Receiver, Demodulator, Interpreter の3つから構成される. Illuminance Receiver では,照度センサを用いて照度値を取得する. Demodulator では Illuminance Receiver により受信したデータをバイナリデータに復調する. Interpreter では, Demodulator で復調したバイナリデータを Fig. 2 のパケット構造に適用することで命令解釈を行う.パケット構造における命令の種類は,取得周期変更やスリープなどの命令を指定する.センサの種類は,照度センサや温度センサなどのセンサを指定する.オプションでは,時間の指定やセンサノードを指定する.本研究で提案するミドルウェアのパケット構造はプロトタイプであり,命令の種類が3ビット,センサの種類が3ビット,オプションが10ビットで構成する.

Table. 1 命令実行にかかるオーバーヘッド [μs]

	スリープ	スリープ解除	取得周期変更
命令解釈時	16.39	16.76	16.62
命令実行時	1.27	1.24	1.88
合計	17.66	18.00	18.50

4 提案ミドルウェアの有効性検証実験

4.1 実験概要

本実験では、提案ミドルウェアの有効性を示すために、照明制御により送信したデータをセンサノードで受信した後、センサノードの挙動変更が完了するまでのオーバーヘッドおよび1回のプログラム変更で消費する電力量を検証する。本実験では、センサノードには Zigduino を使用し、OS には Contiki を使用した。また、リードタイプの照度センサ NaPiCa を組み込むことで、無線センサノードによる照度取得を実現する。照明制御によるデータ送信は人の目に知覚できない範囲の調光で行った。

4.2 オーバヘッドの検証実験

本実験は、提案ミドルウェアにおいて、照明制御によりデータを受信した後、センサノードの挙動が変更されるまでに要するオーバーヘッドを計測する。本実験で使用した命令の種類はスリープとスリープ解除、取得周期変更の3種類である。また、各命令ごとにデータ受信後からセンサノードの挙動が変更されるまでに要するオーバーヘッドを50回計測した。Table. 1に各命令ごとのオーバーヘッドの平均を示す。スリープ、スリープ解除、取得周期変更の3種類の命令におけるオーバーヘッドは、それぞれ $17.66 \mu\text{s}$ 、 $18.00 \mu\text{s}$ 、 $18.50 \mu\text{s}$ であった。本実験より、提案ミドルウェアではデータ受信後、最大 $18.50 \mu\text{s}$ のオーバーヘッドでセンサノードの挙動変更が完了することを明らかにした。また、提案ミドルウェアにより要するオーバーヘッドは同一照明環境下の全てのセンサノードに同時にデータ送信できる。したがって、センサノード数の増加に関わらず、各センサノードのデータ受信に要するオーバーヘッドは常に一定である。一方、既存のミドルウェアは無線通信を用いるため、センサノード間でマルチホップによるデータ転送が発生し、データの送受信に要するオーバーヘッドが増加する。

4.3 消費電力量の計算

本実験では、提案ミドルウェアを用いたプログラム変更において消費する電力量の検証を通して、照明制御によるデータ送信手法の電力消費の傾向およびその傾向から得られる利点を明らかにする。提案ミドルウェアを用いた命令受信によりセンサノードが消費する電力量の算

出方法を式 (1) に示す。

$$W = \sum_{i=0}^n V(I_s t_s + I_c(t_c + t_d)) \quad (1)$$

消費電力量の計算に用いるパラメータを Table. 2 に示

Table. 2 消費電力量計算に用いるパラメータ

センサノード	Zigduino
印加電圧 (V)	5.0 V
センサノード稼働時の消費電流 (I_c)	15 mA
命令実行時の計算に要する時間 (t_c)	18.1 ms
復調の計算に要する時間 (t_d)	672 μs
照度センサ	NaPiCa
照度センシング時の消費電流 (I_s)	260 μA
照度センシングに要する時間 (t_s)	8.00 s

す。Zigduino および NaPiCa 照度センサの消費電力に関して、各機器の個体差による消費電力の差をなくすため、データシートの理論値を使用する。また、提案ミドルウェアによるプログラム変更に要する時間は、実環境にて計測を行い、実測値を使用する。提案ミドルウェアによる命令受信で1台のセンサノードが消費する電力量を算出した結果は 10.45 mJ であった。提案ミドルウェアでは、照明制御によるデータ送信を利用することで、同一照明環境下の全センサノードは同時にデータを受信できる。したがって、無線通信を利用した場合と異なり、データの転送が発生しないため、全てのセンサノードで消費電力量は一定となる。

5 結論

本研究では、照明制御により受信したデータを命令として解釈し、センサノードの挙動を変更するミドルウェアを提案した。オーバーヘッドおよび消費電力量の実験を行い、同一照明環境下においてオーバーヘッドおよび一台のセンサノードの消費電力量ともに常に一定であることを示した。オーバーヘッドは平均 $18.05 \mu\text{s}$ であり、最大 $18.50 \mu\text{s}$ であるため、命令受信後すぐに命令実行が可能である。また、一台のセンサノードで消費する電力量は 10.45 mJ であり、センサノード台数の増加に関わらず、全てのセンサノードが 10.45 mJ という消費電力量であった。本研究で提案したミドルウェアにより、今後オフィスにおいて省電力制御が可能なセンサノードを用いて、無線センサネットワークを稼働できると考えられる。

参考文献

- Jonathan W Hui and David Culler. The dynamic behavior of a data dissemination protocol for network programming at scale. In *Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 81–94. ACM, 2004.