

# 知的照明システムにおけるワイヤレス照度センサの省電力制御

本谷 陽

## 1 はじめに

我々は、オフィスの光環境に着目し、任意の場所に任意の照度および色温度を実現する知的照明システムの研究・開発を行なっている。知的照明システムは、既に複数の実オフィスで実証実験を行い、その有効性が明らかとなっている。

また、これまで是有線の照度センサを用いて制御を行っていたが、2012 年 9 月に二子玉川のカタリスト BA に導入された知的照明システムでは、ワイヤレス照度センサを用いて照度情報を取得し、照明を制御している。ワイヤレス照度センサを用いることで、利用者がフレキシブルに利用場所を選択できるようになり、照度センサ数の増減およびオフィス内のレイアウト変更に対応することができる。しかし、ワイヤレス照度センサは、バッテリー駆動である。また、知的照明システムでは、制御 PC および照度センサ間において頻繁に通信が行われる。そのため、照度センサのバッテリーの持続時間を考慮する必要がある。

本研究では、照度情報を取得・収集する無線端末に MOTE を使用し、省電力プロトコルを提案する。無線センサノードから制御 PC への照度情報の送信回数を削減し、無線センサノードのバッテリー交換時に生じるコストの削減を目指す。

## 2 省電力プロトコル

### 2.1 照度変化量を考慮した通信回数削減手法

無線センサノードにおけるパケット送信を削減するための手法として、無線センサノード自身が計測した照度値を制御 PC に送信するかどうかの判定を行うことで、無線通信の回数を削減し、バッテリー持続時間を増加させることができる。

無線センサノードが取得した照度値が、前回送信した照度値と比べた場合、その差が閾値以下であれば、1 ステップにおける照明変化は無線センサノードに影響が少なかったと考え、照度値は変化していないものとする。これにより、照度値を制御 PC に送信しない。これにより、無線センサノードの通信回数の削減を行う。

### 2.2 目標照度を考慮した通信回数削減手法

オフィス空間における光環境は、太陽光および障害物などの外的要因により常に変化する。このため、目標照度を満たした場合でも、照明と照度センサにおける影響度を正確に把握するために、常に照度値を得る必要がある。しかし、これらの時間的変化や外的要因については毎秒起こるものではない。そのため、目標照度に収束した後、環境の変化がなければ、照度を送信する必要がないと言える。そこで、照度センサが照度を取得し、目標

照度との差が少ない場合、照度情報を送信しないよう照度センサ自身が判断することで、通信回数を削減することができると考えられる。また、外的要因により光環境が大きく変化した場合、照度センサの値が目標照度値から大きく変化するため、再度照度を送信することで、従来の知的照明システムと同様に、環境の変化にも対応できることが考えられる。

### 2.3 省電力制御アルゴリズム

3.1 節および 3.2 節の通信回数削減手法を無線センサネットワーク内のアルゴリズムに導入する。知的照明システムでは照明と照度センサの位置情報を光度変化量と照度変化量を基にした影響度から把握する。そのため、初期点灯時の 100 ステップおよび照度センサが移動した場合は、影響度を取得するため、全照度通信を行う。また、目標照度を考慮した通信回数削減手法では、目標照度を物理的に満たせない場合、常に照度を送信し続けることになる。そこで、照度変化量を考慮した通信回数削減手法を併用することで、この問題を解決することができる。

## 3 提案システムの評価

### 3.1 実験概要

本実験では、提案システムの有効性を検証するために、無線センサネットワークにおける照明制御アルゴリズムにおいて、照度収束が可能であるかの検証を行う。次に、各無線センサノードに省電力プロトコルを導入することで、提案システムにおける省電力プロトコル導入前と導入後で、通信回数を比較し、通信回数の削減について検証を行う。最後に、無線センサノードから制御 PC に照度値を送信する際に、パケットロスが発生した場合の提案システムの挙動を調査する。

### 3.2 実験環境

本実験は同志社大学香知館の知的システム創造環境実験室にて行う。実験では、白色蛍光灯 15 灯と無線センサノード 3 個を用いる。無線センサノードは、照明 1 灯の直下、照明 2 灯の間、照明 4 灯の間の 3 点の場所に配置する。実験環境の見取り図を 1 に示す。

1 には、蛍光灯および無線センサノードの位置関係を示しており、図中の蛍光灯横の番号は蛍光灯番号を、無線照度センサ横のアルファベットはセンサの識別名を表す。また、照明と無線センサノードの距離は照明の垂直直下に無線センサノードを置いた場合、1.9 m である。

目標照度の設定は、センサノード A を 450 lx、センサノード B を 500 lx、センサノード C を 600 lx とする。また、350 ステップ後にセンサノード C の目標照度を 800 lx に変更し、照度収束実験を行う。なお、目標照度の土

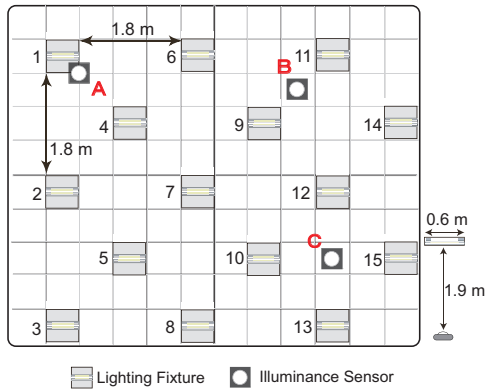


Fig.1 実験環境

50 lx 以内に 50step 以上収束した場合、目標照度収束完了とする。

従来の知的照明システムでは、照度値が高精度で取得可能な ANA-F11 などの照度センサを利用し、環境構築を行っていた。本実験では、無線センサノードとして Crossbow 社の MOTE MICAz を使用した<sup>?)</sup>。MOTE MICAz に汎用外部センサ基盤である MDA088 を設置し、リードタイプの Napica 照度センサ<sup>?)</sup>を組み込むことで、照度値を取得可能とする。その際の MDA088 と Napica センサの間における抵抗は 430 Ω とする。Napica センサまた、各 Napica センサ毎に照度値を補正し実験を行う。

### 3.3 省電力プロトコルの評価

提案システムにおいて、省電力プロトコルを導入した際の送信回数の削減について検証を行った。本実験で用いた省電力プロトコルは、3章で述べたプロトコルを使用し、照度変化幅および目標照度との差の閾値をどちらも ±2%、±4% および ±6% とした 3 種類のパラメータを設定し、その 3 種類のパラメータに対して検証実験を行った。また、提案システムにおける影響度計測のために、初期 100 ステップは省電力プロトコルは稼働しないものとした。

省電力プロトコル導入後の照度収束結果を 2, 3 および 4 に示す。縦軸は実際の照度値ではなく、各ステップ時における制御 PC 側の保持している照度値である。2 は閾値を ±2%、3 は ±4%、4 は ±6% とした。省電力プロトコル導入前の送信回数および省電力プロトコル導入後の閾値 ±2%、±4% および ±6% の 3 種類における送信回数について、比較したグラフを 5 に示す。

2 および 3 より、閾値を ±2% および ±4% に設定した場合には、目標照度変更前および目標照度変更後ともに照度収束範囲内に収束していることが確認できた。しかし、4 の無線センサノード C を見ると、目標照度収束範囲内に収束していないことがわかる。これは、目標照度が 800 lx のように高い値に設定した場合、照度収束範囲である ±50 lx と同等程度の照度値の更新がない限り、照度値の送信が行われない。そのため、照度収束範囲外

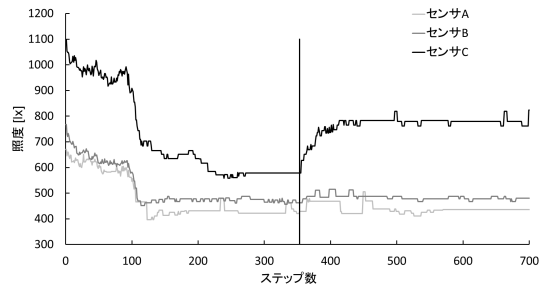


Fig.2 ±2% の閾値における省電力プロトコル導入後の照度収束履歴

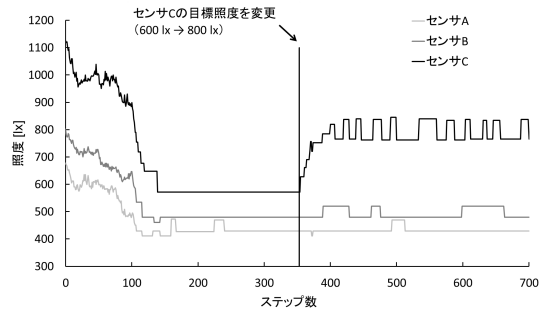


Fig.3 ±4% の閾値における省電力プロトコル導入時の照度収束履歴

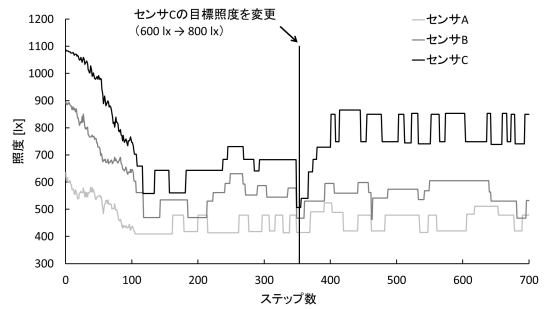


Fig.4 ±6% の閾値における省電力プロトコル導入後の照度収束履歴

を上下する照度変化となっていると考えられる。

また、5 より、無線センサノードからの送信回数では、省電力プロトコル導入前と比較し、送信回数を削減することができた。省電力プロトコルを導入することで、送信回数を約 95% 削減できた。特に、送信回数を最も削減できた閾値 ±4% の場合では、送信回数が約 98% 削減できた。そのため、提案システムの省電力プロトコルは有効であると言える。しかし、??, ?? および ?? を見ると、収束時における点灯パターンが ?? と比較した場合、2,3,5,7 および 8 番の照明のような無線センサノードが近くにない照明が強く点灯しており、点灯パターンが悪化している。これは、送信回数を削減することで、影響度計測のためのサンプル数が減少し、影響度計測に誤りが発生し

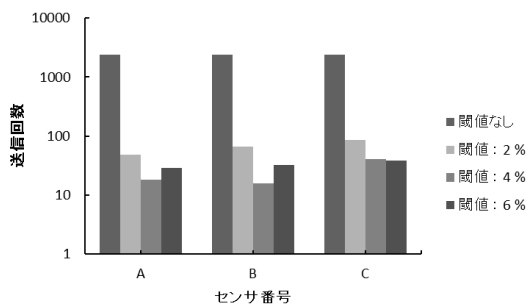


Fig.5 パケット送信回数の比較

やすくなっていることが考えられる。これは、提案システムの環境変数を変更することで、点灯パターンを向上させることも考えられるが、より最適な制御を行うために、照明制御アルゴリズムを考慮した省電力プロトコルを考える必要がある。本実験で用いた提案システムでは、閾値内に入った場合、送信しない制御としている。これを送信を全くしない制御ではなく、送信は行うが送信回数を通常より削減するプロトコルに変更することで、影響度計測の精度が向上できると考えられる。

### 参考文献

- 1) 大林史明, 富田和宏, 服部瑤子, 河内美佐, 下田宏, 石井祐剛, 寺野真明, 吉川榮和: オフィスワーカーの生産性向上のための環境制御法の研究-照明制御法の開発と実験的評価, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2006, Vol.1, No.1322, p.151-p156, 2006
- 2) Peter R. Boyce, Neil H. Eklund, S. Noel Simpson: Individual Lighting Control: Task Performance, Mood, and Illuminance, JOURNAL of the Illuminating Engineering Society, pp.131-142, Winter 2000
- 3) 石田享子, 井上容子: くつろぎ空間に求める雰囲気と明るさに関する研究 第2報 -壁面の色とランプの色温度について-, 日本建築学会近畿支部研究報告集, p13-p16, 2001
- 4) 社団法人 照明学会, 照明ハンドブック, オーム社, 2003
- 5) 谷口由佳, 三木光範, 吉見真聡, 要求された照度・色温度を実現する LED 照明システム, 照明学会全国大会講演論文集, pp. 196-197, 9, 2011