

# 知的照明におけるワイヤレス照度センサの省電力制御と照度収束の安定性

## The relations between Saving Power of Wireless Illuminance Sensor and Stability of Illuminance Convergence in the Intelligent Lighting System

三木 光範\*  
Mitsunori Miki

長野 正嗣†  
Masashi Nagano

吉見 真聡\*  
Masato Yoshimi

吉井 拓郎†  
Takuro Yoshii

### 1. はじめに

我々は照明制御によって、任意の場所に、任意の明るさ(照度)を提供し、かつ省エネルギー性を実現する知的照明システムの研究を行っている[1].

現在、知的照明システムは実用化に向け、実オフィスに導入し、検証実験を行っている[2]. 現在、実オフィスに導入した知的照明システムでは有線の照度センサを用いているが、実オフィスへ知的照明システムの導入をすすめるにつれて、ケーブル敷設にかかるコストや、ユーザの移動に柔軟に対応する必要があるといった点から、コードレスの照度センサを用いることが望ましいということがわかった。しかし、ワイヤレスの照度センサは、バッテリー駆動が前提となるため、電池持続時間を考慮する必要がある。本稿では、ワイヤレス照度センサを知的照明システムに導入するとともに、ワイヤレス照度センサの省電力制御手法を提案する。

### 2. 知的照明システム

知的照明システムは、ユーザに任意の明るさを提供し、省エネルギーを実現するシステムである。知的照明システムの構成要素として、照明、制御装置、照度センサおよび電力計がある。ユーザは照度センサを机上面に設置し、照度センサに目標照度を設定することで、各照明は明るさをランダムに変化させ、それを繰り返すことで最適な点灯パターンを実現する。知的照明システムは山登り法を照明制御に適応したアルゴリズム(Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC)[3]を用いる。山登り法は、現在の解を基に次ステップの解を生成し、解が良好な方向へ向かえば解を受理するという遷移を繰り返していくことで最適解を導くアルゴリズムである。設計変数を照明の明るさである光度とし、現在照度と目標照度との差および使用電力量からなる目的関数を最小化するように制御を行う。また、知的照明システムでは、照明と照度センサの位置情報を入力する必要はなく、目標照度へ推移する過程の中で、照明は光度の変化量とセンサの照度の変化量から、センサに対する影響を把握し、その情報を制御に組み込むことで素早くユーザの要求する照度を実現する。

### 3. ワイヤレス照度センサ

知的照明システムに導入するワイヤレス照度センサを試作した(東洋電子工業製)。ワイヤレス照度センサは、照度を取得し、受信機にセンサ情報を送信する。受信機は受信したデータを制御装置に送信する。ワイヤレス照度センサおよび受信機間の通信には、Zigbee 通信規格

(IEEE802.15.4) 準拠の無線通信方式を採用した。通信は、500 msec の間隔で行っている。ワイヤレス照度センサの電源には、単三型アルカリ乾電池、マンガン乾電池およびニッケル水素充電電池のいずれかを4本用いる。

### 4. 照度センサの省電力制御

#### 4.1 電池持続時間と通信回数との関係

一般的に Zigbee を用いた通信機器は数分に1回の通信を行うことが多いため電池は長持ちするが、知的照明システムでは、2.章で述べたように、数秒単位で通信を行う必要があるため、ワイヤレス照度センサの通信回数が非常に多くなり、電池持続時間が非常に短くなってしまふ。通信間隔と電池持続時間の関係をしらべた結果を表1に示す。

表1: 通信間隔による電池持続時間

通信間隔	0.5 秒間隔	1.0 秒間隔
連続稼働時間	269 時間	585 時間

表1より、通信回数を削減すると、削減回数に準じて電池持続時間も大きくなっていることが確認できる。

#### 4.2 照度変化量を考慮した通信回数削減

前節で通信回数を削減することで、電池持続時間を大幅に増やすことができるということがわかった。そこで、ワイヤレス照度センサ自身が、計測した照度を送信するかどうかの判定を行うことで、通信回数の削減を行い、電池持続時間を増加させる。ワイヤレス照度センサが取得した照度が前回送信した照度値と比べ、差値が設定された値以内であれば、その照明の変化はあまり照度センサに影響がなかったと考え、照度値は変化していないものとし、照度を送信しない。そうすることで、ワイヤレス照度センサの通信回数の削減を行う。また、この照度を送信するかどうかの一定量の照度値を削減照度差と呼称する。

#### 4.3 目標照度を考慮した通信回数削減

オフィス空間の光環境は太陽光や、障害物によって常に変化する。このため、目標照度を満たした場合でも、正確な照明と照度センサの影響度を把握するために、常に照明の光度を変化させその変化に応じた照度を得る必要がある。しかし、知的照明システムにおいて、人間が認知できない程度に目標照度に近づくと、目標照度を満たしていると言える。そのため、目標照度へ近づいたら照度の送信を行わないという判定を照度センサ自身が行うことで通信回数を削減する。こうすることで光環境が変化した場合でも、照度が目標照度から大きく逸れたと判断し、再度照度を送信するため、環境の変化にも対応できる。

\*同志社大学理工学部

†同志社大学大学院

#### 4.4 照度センサの省電力制御アルゴリズム

4.2節、および4.3節の通信回数削減手法を知的照明システム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ため、最初の50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、常に照度を送り続けることになってしまう。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。また、4.3節の削減照度差を大きく、4.2節の削減照度差を小さく設定することで、大幅に通信回数を削減でき、かつ目標照度から外れた場合も素早く目標照度へ収束する。

### 5. 提案アルゴリズムの検証

#### 5.1 実験概要

通信回数の削減手法を知的照明システムに適応し、正しく動作するか実験を行った。なお、現在のワイヤレス照度センサの仕様では、照度値を記憶し、送信する照度値を限定することができないため、制御アルゴリズム内で照度が送られてこない状況をシミュレーションする。

実験には、調光可能な照明15灯、受信機1台、およびワイヤレス照度センサ3台を用いる。ワイヤレス照度センサ3台は、図1に示したセンサ設置位置A、BおよびCに配置した(それぞれセンサA、センサBおよびセンサCとする)。それぞれの初期目標照度は、450、600および500 lxとする。この初期状態より、800秒後にセンサCの目標照度を700 lxに、1200秒後にセンサCをセンサ設置位置Dへ移動させ、1600秒経過するまで照度取得を行った。

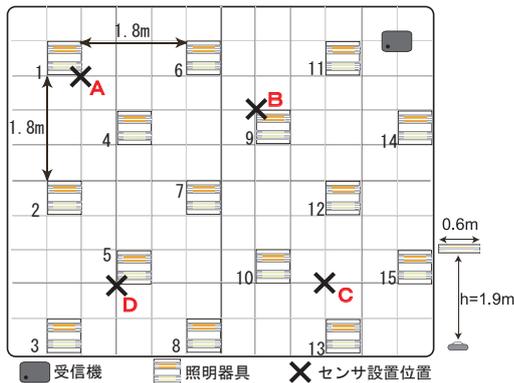


図1: 実験環境

#### 5.2 実験結果

通信回数の削減条件は、「照度変化量の削減照度差を±10 lxの場合および目標照度の削減照度差±30 lxの場合」とした。この状態と、全照度送信を行った場合の収束状況の比較をおこなった。照度履歴を図2および図3に示す。縦軸を照度値、横軸を時間とする、なお、照度は2秒に1度取得するものとする。

通信回数を削減した場合、通信回数は通信回数はそれぞれセンサ1が128回、センサ2が131回、センサ3

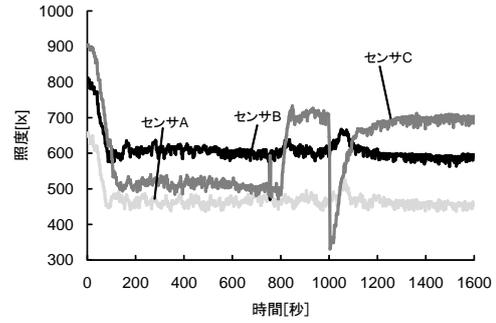


図2: 全照度送信した場合の照度履歴

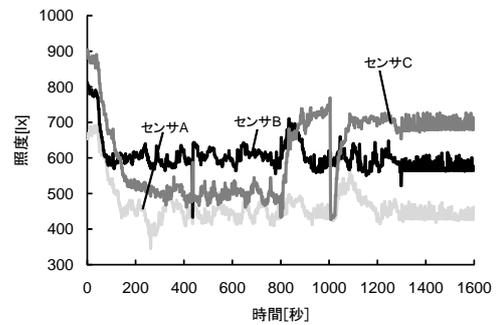


図3: 通信回数を削減した場合の照度履歴

が237回となった。全照度を通信した場合、それぞれのセンサの通信回数は800回である。これより、通信回数は約1/5となり、大幅に通信回数を削減することができ、電池持続時間は単純に5倍程度増加すると考えられる。また照度の安定性は、図2と図3から、全照度送信した場合の方が、収束後もバラツキが少ないが、通信回数を削減した場合は、通信回数を削減した照度の範囲程度のバラツキがでる結果となった。また、異なる照度差閾値で通信回数の削減を行った場合、照度差閾値が小さくなるにつれて、照度が安定して推移した。よって、通信回数削減と照度推移の安定性はトレード・オフの関係にあると言える。しかし、人間の明るさの知覚領域は、6[%]~8[%]である[4]とされているため、照度が500 lx程度であると、この範囲の明るさは知覚できない。よってこの程度の照度のバラツキは、安定して照度が推移しているといえる。この結果より、通信回数を抑えることで、電池持続時間を向上でき、かつ安定した光環境を提供できることがわかった。

#### 参考文献

- [1] 三木光範. 知的照明システムと知的オフィス環境コンソーシアム. 人工知能学会, Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007
- [2] エコツェリアが次世代実証オフィスにリニューアル! プレスリリース <http://www.ecozzeria.jp/information/2009/10/post-4.html>
- [3] 小野景子, 三木光範, 米澤基, 知的照明システムのための自律分散最適化アルゴリズム, 電気学会論文誌 Vol.130, No.5, pp.750-757, 2010
- [4] 鹿倉智明, 森川宏之, 中村芳樹. オフィス照明環境における明るさ変動知覚に関する研究, 照明学会誌, Vol. 85, No. 5, pp. 346-351, 2001