

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アルゴリズム The Lighting Control Algorithm for Saving Power of Wireless Illuminance Sensor in the Intelligent Lighting System

三木 光範* 廣安 知之† 吉見 真聡* 長野 正嗣‡ 米本 洋幸§
Mitsunori Miki Tomoyuki Hiroyasu Masato Yoshimi Masashi Nagano Hiroyuki Yonemoto

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。現在、調光可能な照明、有線照度センサ、制御装置および電力計を用い、ユーザの要求する照度を実現することで、省エネルギー性を実現できることが確認されている [1]。しかし、実際のオフィスに知的照明システムを導入したところ、ユーザの増加によって、照度センサの配線が増加し、配線スペースや、設置コストが問題となっている。また、有線照度センサでは、会議や固定席でない環境で仕事を行う場合、ユーザの要求する明るさを実現することが容易でない。そのため、知的照明システムにおいて、ワイヤレス照度センサを導入することで、これらの問題を解決する。しかし、電池駆動前提となるワイヤレス照度センサを導入するにあたり、電池持続時間を十分に考慮する必要がある。本研究では、ワイヤレス照度センサの電力消費を抑えるため、通信頻度を抑えながら、ワークが要求する明るさを実現する調光アルゴリズムを提案する。

2. 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)。送信機(以後送信機を、ワイヤレス照度センサとする)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PCに送信する。制御PCと受信機の通信には Ethernet ケーブルを使用した。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。ワイヤレス照度センサからの出力信号として、照度センサ ID、照度値 (0~4000 lx)、目標照度値、温度値、目標温度値があり、500 msec の間隔で、受信機とワイヤレス照度センサは 1 対 N のブロードキャスト通信を行っている。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。アルカリ乾電池を用いた場合、連続稼働時間は、120 時間以上となる。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が長持ちするが、知的照明システムでは、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いう問題がある。

3. 照明制御アルゴリズム

3.1 照明と照度センサの位置関係の把握

知的照明システムでは、各照明は自身の明るさ(光度)の変化を繰り返し、最適な光度に変化していく。さらに、照明や照度センサの位置情報を必要とすることなく、照明が照度センサに与える影響度を把握することにより、有効な照明を判断し、任意の場所に任意の明るさを提供することができる。そこで、照明と照度センサの位置関係に基づいた探索を行う。照明と照度センサの因果関係を光度、および照度変化量の線形回帰モデルで定式化し、その回帰式を説明する回帰係数を求めることで両者の影響関係がわかる。

3.2 照明と照度センサの影響度を考慮した適応的近傍アルゴリズム

知的照明システムで用いる制御アルゴリズムは、光度と照度の変化量から逐次型最小二乗法により回帰係数を動的に推定し、求めた回帰係数に基づく近傍設計を組込んだものである。回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC) は、照明の光度を設定された光度の変化幅(近傍内)でランダムに変化させ、各照度センサとすべての照明の影響度を計算し、その影響度より近傍幅を設定しなおす。照明の光度を変化させた場合、照度センサの照度および使用電力量からなる目的関数を計算し、目的関数が悪くなった場合、照明の光度の変化を前の状態に戻し、再度ランダムに光度を変化させる。以上の動作を繰り返すことにより、影響度を学習し、照明と照度センサの影響度を動的に把握し、素早く目標照度を満たすとともに省電力性に優れることが確認されている [2]。

4. 照度センサの省電力制御アルゴリズム

知的照明システムにおいて、照度センサとして、ワイヤレス照度センサを用いた場合、電池持続時間を考慮する必要がある。すなわち、ワイヤレス照度センサの連続通信時間が短いため、電池切れによる知的照明システムの停止や電池コストおよび電池交換の手間など問題がある。そこで、提案手法では、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、差値が微量な場合、照度値は変化していないものとし、センサ情報を送信しない。上記手法を用い、送信頻度を抑えることにより、ワイヤレス照度センサの電力消費を抑える。そのため、ワイヤレス照度センサが照度を取得する際、前回送信した照度値を記録し、照度値の変化幅が設定された値を超えた場合のみ、センサ情報を送信する。上記動作により、照度情報が送信されない場合は、前節で述べた制御アルゴリズムにおいて、前回取得した照度情報を用

*同志社大学理工学部

†同志社大学生命医科学部

‡同志社大学工学部

§同志社大学大学院

い照明制御を行う。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擬似的に同環境を作る。すなわち、前回制御アルゴリズムで使用した照度を記憶し、新たに取得した照度と記憶した照度の変化幅が設定された値を超えた場合のみ、制御アルゴリズムで使用する照度値を更新する。

5. 提案アルゴリズムの検証

5.1 実験概要

3.2節で述べた制御アルゴリズムおよび提案アルゴリズム(±5 lx および ±10 lx を照度値が変化していないものとする)を用いて、比較実験を行い、提案アルゴリズムによるワイヤレス照度センサの省電力性の検証を行う。実験では、調光可能な照明が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のA、BおよびC地点に配置した(それぞれ SensorA, SensorB および SensorC 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。

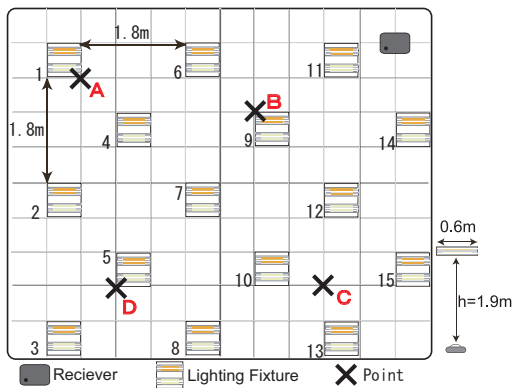


図1: 実験環境

この初期状態より、400ステップで SensorC の目標照度を 500 lx から 800 lx に変更、また 500 ステップで SensorC を D 地点に移動させ、照度履歴および照度情報更新回数を確認する。

5.2 実験結果

提案アルゴリズムを用いた場合の、照度情報更新回数を表1に示す。また、3.2節のアルゴリズムを用いた場合、および提案アルゴリズムを用いた照度履歴を図2、図3および図4に示す。縦軸を照度値、横軸を探索回数とし、1ステップ2秒とする。

表1: 更新回数(単位: 回)

センサ\照度変化幅	± 5 lx	± 10 lx
SensorA	578	696
SensorB	517	743
SensorC	511	681
合計	1606	2120

図2および図3より、照度変化幅±5 lxを照度変化していないものとした場合において、通常アルゴリズム

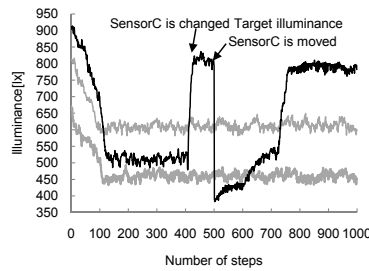


図2: 通常の照度履歴

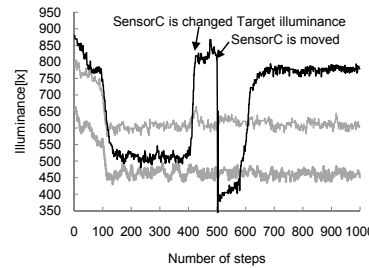


図3: ± 5 lx の照度履歴

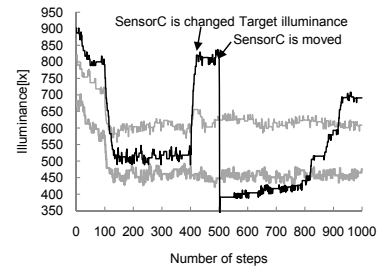


図4: ± 10 lx の照度履歴

と同様に収束することが確認できる。しかし、図4より照度変化幅±10 lxを照度変化していないものとした場合、SensorCをD地点に移動させた場合、目標照度である800 lxを満たすことができなかった。これは、各センサと照明の影響度が通常より低く、光度が十分に上昇しなかったことが原因と考えられる。しかし、センサを移動するまでは、通常と同様に収束することが確認できることから、この問題は、照明制御アルゴリズムの適応近傍の幅を動的に変更することで、改善されると予測できる。しかし、通常アルゴリズム、照度変化幅±5 lxを照度変化していないものとした場合では、センサを移動した場合でも、十分に影響度を学習することができている。ゆえに、照度変化していないとする照度変化幅が影響度学習に与える影響は少なからずあるといえる。照度の変化値をワイヤレス照度センサの省電力性に関しては、表1より、合計更新回数から、更新回数は、ほぼ半分になることがわかる。すなわち、電池持続時間は単純に2倍に伸びると考えられる。以上の結果より、提案アルゴリズムを用い、±5 lxの照度変化を取得せずとも、問題なく照度収束し、かつ送信回数を減らせたことから、提案アルゴリズムによって、ワイヤレス照度センサの省電力性を確認することができた。

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] 後藤和宏. 知的照明システムのための回帰係数を用いた自律分散最適化アルゴリズム, 照明学会全国大会講演論文集, Vol.40, pp.123-124, 2007