

知的照明システムにおける照度センサの移動に適応する消灯メカニズム

東 陽平

Yohei AZUMA

1 はじめに

近年、オフィスにおける省エネルギーに対する意識が高まっている。中でもオフィスにおける照明の消費電力量はおよそ 40%を占めており¹⁾、照明環境を改善することで消費電力量を大きく削減し省エネルギーに貢献することができる。一方、オフィス環境がオフィスワークに及ぼす影響に関する研究も行われており、オフィス環境を改善することにより生産性が向上することが報告されている²⁾。

このような背景から、我々はオフィス環境における光環境に着目し、個々のオフィスワークの要求に応じた明るさ(照度)を提供する知的照明システムの研究を行っている³⁾。知的照明システムは、各オフィスワークの机上に照度センサを設置することで個人が要求する照度を提供し、かつ省エネルギーを実現できる。また、知的照明システムでは不必要な照明を消灯する消灯メカニズム⁴⁾を導入することでさらなる省エネルギー性の向上を図っている。一方、近年フリーアドレスオフィスというオフィスワークが席を自由に決めるオフィススタイルが登場し普及しつつある⁵⁾。フリーアドレスオフィスでは、照度センサが移動し得る環境であるため、照度センサの位置が固定であることを前提とする従来の消灯メカニズムでは対応することができない。そこで、照度センサの移動に適応した消灯メカニズムを提案する。

2 知的照明システム

知的照明システムは、照明、照明制御装置、照度センサおよび電力計から構成されており、これらのハードウェアをネットワークとして接続することで照度センサおよび電力計から随時情報を取得できる。制御アルゴリズムは山登り法を基盤としており、各照明は、照度センサに設定された目標照度および現在照度と、電力計から取得する消費電力量を基に、人に感知できない範囲で明るさ(光度)を変化させ、最適な光度へ推移する。また、山登り法における探索効率向上のために、回帰分析を用いて照明と照度センサの位置関係の学習を行う。回帰分析は、説明変数 x_i を変化させると観測値 y_i がどのように変化するかという 2 変量間の因果関係を説明する関係式(回帰式)を導出する手法であり、式(1)のように表される。

$$y_i = r_i \times x_i + \beta + \varepsilon_i \quad (1)$$

y_i :観測値, r_i :回帰係数, x_i :説明変数, β :定数項, ε_i :誤差

式(1)に示す r_i の大きさにより因果関係を数値化することができる。ここで、照度と光度の関係は式(2)のように一次線形関係で表されるため、照明の光度変化量を説明変数 x_i とし、照度センサの照度変化量を観測値 y_i として回帰分析を行うことで、照明と照度センサの位置関係を学習することができる。なお、回帰分析には最小二乗法を用いる。

$$I = \frac{L}{d^2} + \beta \quad (2)$$

I :照度 [lx], L :光度 [cd], d :照明と照度センサの距離 [m]
 β :定数項

知的照明システムでは、回帰係数に基づく近傍設計を組み込み照度センサの位置に応じて適宜用いる近傍を変更することで光度を増減する。この制御アルゴリズムを用いることで目標照度に速やかに収束し、かつ省エネルギー性を実現する。

3 センサの移動に適応する消灯メカニズム

前述の通り、知的照明システムでは、1探索毎の光度差および照度差を基に回帰分析を行い照度センサの位置を学習している。そのため、照度センサが移動する状況下においても、移動後の位置を学習することが可能である。つまり、照明が消灯してしまうと逐次的に照度センサの位置を推定することができない。このことから照度センサに影響のない照明を消灯し、かつ照度センサの移動に適応する消灯メカニズムを提案する。

提案する消灯メカニズムでは、消灯の判断に照明と照度センサ間の位置把握に用いた回帰係数を利用する。すなわち、室内で設置されているいずれの照度センサに対しても回帰係数が低い場合は照度センサに対して影響のない照明として判断することができる。回帰係数の判定は、回帰係数に対して閾値 T を設定することで行う。そのため、閾値 T が高いほど、多くの照明が消灯する。

しかしながら、消灯している照明において、照度センサとの回帰係数が導出できない。このため、消灯してい

る照明と照度センサとの距離を把握することができない。そこで、照度センサの移動検知を行う。移動検知には、照度センサを移動したときの急激な照度変化を利用する。急激な照度変化が生じた後、数ステップの間を移動検知期間とし、この期間以内に目標照度に収束しなければ移動したと判断する。しかしながら、移動前および移動後における照度値が同じである場合、本移動検知手法では照度センサの移動を検知することができない。こうした状況に対応するため、並列で回帰分析を行うことで移動検知を行う。すなわち、回帰係数の導出に逐次最小二乗法を用いているため、移動前の情報に影響され移動後の位置における回帰係数の算出に時間を要することから、新規的に算出した回帰係数と比較することで移動を検知できる。そのため、急激な照度変化が生じたときから並列で回帰分析を行い、移動検知期間内に目標照度に収束すると、しばらく探索が進んだ時点で従来の回帰係数と並列で算出している回帰係数を比較し大きく異なっていた場合は移動したと判断する。

移動検知後は、消灯している照明を全て最小点灯光度で点灯させ、移動した照度センサの位置関係を改めて学習する。このように、消灯制御と移動検知を設けることで、照度センサの移動に適応した消灯が実現できる。

4 動作実験

4.1 実験概要

消灯メカニズムを導入した知的照明システムにおいて、動作検証のための実験を行った。実験環境を Fig. 1 に示す。白色照明 15 灯、ワイヤレス照度センサ 2 台およびコーディネータ 1 台を用いた。ワイヤレス照度センサ A および B に設定した目標照度は 500 および 600 lx とし、2000 秒後にワイヤレス照度センサ B を地点 P に移動した。本実験により、目標照度へ収束するか、また消灯メカニズムの有無による消費電力量の比較を行った。なお、一度の探索に要する時間はおよそ 4 秒である。

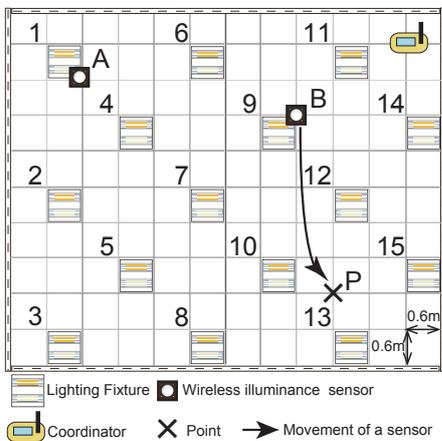


Fig. 1 実験環境

4.2 実験結果

各照度センサの照度履歴を Fig. 2、消費電力量の履歴を Fig. 3 に示す。なお、Fig. 2 における縦軸は照度 [lx]、横軸は経過時間 [m] を示しており、Fig. 3 における縦軸は消費電力 [W]、横軸は経過時間 [m] を示している。Fig. 2 より、一部の照明が消灯している状態でも照度センサの移動に適応し目標照度を提供できることを確認できた。なお、移動前に消灯していた照明は Fig. 1 に示す 3、5、8、10、13 および 15 番の照明であり、移動後は 3、5、7、8、9、11 および 14 番の照明が消灯した。また、Fig. 3 から本実験環境においておよそ 10% 程度の消費電力を削減できることが確認できた。

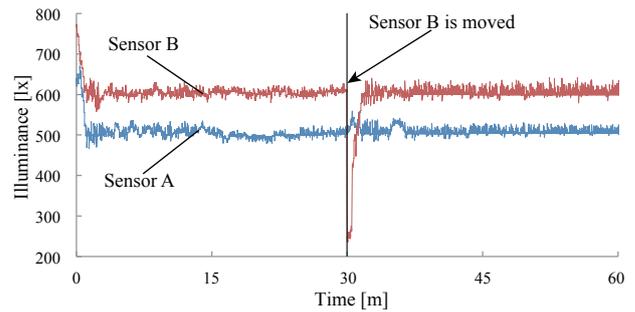


Fig. 2 各照度センサの取得照度の履歴

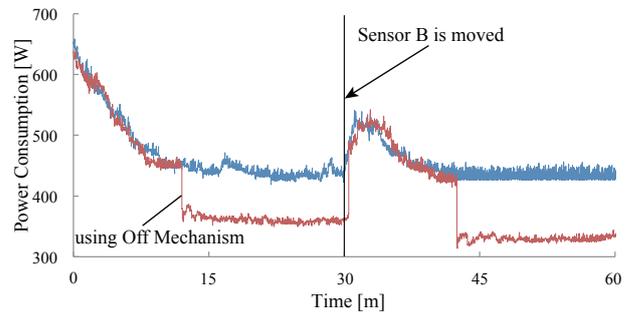


Fig. 3 消費電力の履歴

参考文献

- 1) (財)省エネルギーセンター, オフィスビルにおける照明の消費エネルギー比率, <http://www.eccj.or.jp/office.bldg/index.html>, 2008
- 2) 下田宏, 大林士明, オフィスビルの省エネルギーとプロダクティビティ照明, 電気学会論文誌 C, Vol.128, No.1, 2008.
- 3) 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, 人工知能学会誌, Vol.22, No.3 (2007), pp.399-410.
- 4) 三木光範, 廣安 知之, 吉見 真聡, 田中 慎吾, 加来 史也, 米本洋幸, 消灯メカニズムを組み込んだ知的照明システム, FIT2009, 第一分冊, pp.241-242.
- 5) 岩切一幸, 毛利一平, 外山みどり, 野瀬かおり, 落合孝則, 城内博, 齊藤進, フリーアドレス形式オフィスレイアウトの VDT 作業者の姿勢および身体的疲労感, 産業衛生学雑誌, Vol.48, pp.7-14, 2006.