

# 知的照明システムにおける照度センサ位置の推定および省エネルギー性の向上

吉田 健太

Kenta YOSHIDA

## 1 はじめに

我々は、オフィスの照明環境を改善することを目的とした分散制御照明システム（以下、知的照明システム）の研究を行っている<sup>1)</sup>。知的照明システムは照明が照度センサに及ぼす影響を学習することで、照明と照度センサの位置関係を推定し、効率的に照明を制御するシステムである。しかし、照明台数の増加に伴い、照明の制御を行うのに十分な学習結果が得られないことがある。

そこで、本研究では照度センサの位置座標を推定することで照明と照度センサ間の距離を求める。そして、照明と照度センサ間の距離から、照明が照度センサに影響を与えるか判断し、影響を与えない場合は学習結果を補正する。学習結果を補正することで効率的に照明を制御することができ、消費電力を削減することを確認した。

## 2 知的照明システム

知的照明システムは制御装置、照明器具、照度センサ、および電力計を1つのネットワークに接続することで構成されている。各制御装置は照度センサからの照度情報および電力計からの電力情報を用いて、最適化アルゴリズムに基づいて各照明の光度を制御している。知的照明システムは照明が照度センサに及ぼす影響を学習することで、効率的に照明を制御している。

知的照明システムにおける照明を制御する方法として、Simulated Annealing(SA)を照明制御用に改良したアルゴリズムである適応的近傍アルゴリズム(ANA/RC)を用いる<sup>2)</sup>。

ANA/RCは照明が照度センサに及ぼす影響を回帰分析により学習し、影響度合いに応じて光度を適切に変更することで、効率的に照明の制御を行う。しかし、照明台数の増加に伴い、各照明の光度変化に相関が発生し、制御を行うのに十分な精度を得られないことがある。十分な精度を得られない場合は次のような状況になることがある。

1. 影響を小さく推定すると、照明と照度センサの距離が近くても点灯光度が小さくなる。
2. 影響を大きく推定すると、照明と照度センサの距離が遠くても点灯光度が大きくなる。

この例のように、学習の精度によって、照明の光度制御が適切に行われないことがある。

このような背景から本研究では(2)のような状況を改善することを目的とする。そのために、照明と照度センサの距離が離れている場合に学習結果を補正することで、近くに照度センサが存在しない照明の光度を適切に制御する方法を提案する。ある程度信頼性のある複数の学習結果から照明と照度センサ間の距離を推定し、照度センサの位置座標を求める。照度センサの位置座標がわかれば、各照明と照度センサ間の距離を求めることができる。そして、照明が照度センサに影響を与えるか判断し、学習結果を補正する。

## 3 照度センサの位置推定および学習の補正

### 3.1 照度センサの位置推定方法

複数の照明と照度センサ間の距離情報から照度センサの位置座標を求めることができる。そこで、照度センサの位置座標を推定するために、式(1)を最小化する最適化問題を考える。式(1)における $D$ は照明を中心とし、照明から照度センサまでの距離を半径とした円を表す式である。 $D$ から照明と照度センサ間の推定距離を減算することにより $f$ は0に近づく。 $f$ が0に近づくにつれ、照度センサの位置推定の誤差が小さくなる。式(1)を最小化するような $s_x, s_y$ を求め、その値を照度センサの位置座標とする。

$$f = \sum_{i=0}^n w \{D_i - m_i^2\}^2 \quad (1)$$

$$D = (s_x - l_{xi})^2 + (s_y - l_{yi})^2$$

$w$ : 重み,  $l_{xi}$ : 照明の x 座標,  $l_{yi}$ : 照明の y 座標

$s_x$ : 照度センサの x 座標,  $s_y$ : 照度センサの y 座標

$m$ : 照明と照度センサ間の推定距離 [m],  $n$ : 照明の数

なお、照明の位置座標は設計図など、あらかじめ分かっているものを用いる。そのため、各照明から照度センサまでの推定距離がわかれば照度センサの位置座標を求めることができる。照度  $E$  [lx] と光度  $I$  [cd] と照明と照度センサ間の距離  $m$  [m] の関係は光の減衰の法則から式(2)のように表現できる。

$$E = I/m^2 \quad (2)$$

また、ANA/RCでは、各照明の光度変化量と照度センサの照度変化量から回帰係数を求めている。そこで、照明が1灯の場合には他の照明の影響が無い回帰係数

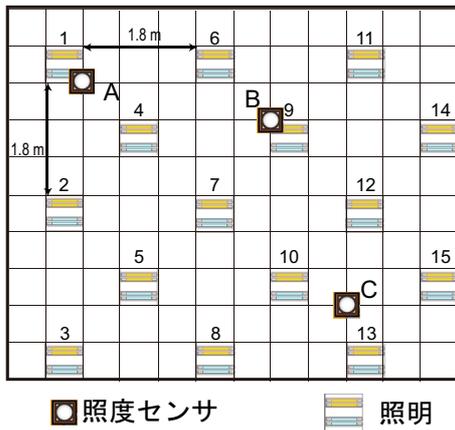


Fig. 1 実験環境

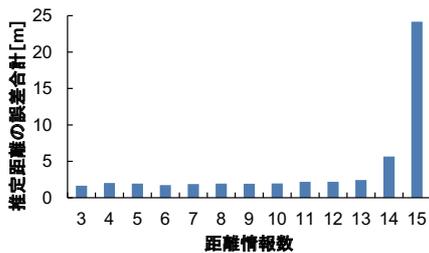


Fig. 2 3台の照度センサの位置推定の誤差合計

の理論値を求めることができる．回帰係数の理論値  $R$  [lx/cd] は照度と光度を用いて式 (3) のように表すことができる．

$$R = E/I \quad (3)$$

式 (2) と (3) から式 (4) を導出する．式 (4) は回帰係数の理論値  $R$  [lx/cd] から照明と照度センサ間の距離  $m$  [m] を求める式である．

$$m = \sqrt{1/R} \quad (4)$$

一方，回帰分析を行うことにより，回帰係数は理論値に近づく．そこで，式 (4) の回帰係数の理論値  $R$  を回帰係数  $r$  とすると式 (5) を導出することができる．

$$m = \sqrt{1/r} \quad (5)$$

式 (5) から照明と照度センサ間の距離を推定し，式 (2) によって照度センサの位置を求めることができる．また，式 (2) から照度センサの位置を求めるには照明から照度センサまでの距離情報が少なくとも3つ必要である．また，距離情報の数によって照度センサの位置推定精度が異なると考えられる．

そこで，照度センサの位置座標の推定精度を実験から求める．実験環境を Fig.1 に示す．実験は白色蛍光灯 15 灯，照度センサ 3 台を用いて行う．照度センサの位置推定に用いる距離情報数は 3 から 15 の 13 パターンとする．照度センサの位置推定結果を Fig.2 に示す．Fig.2 より，距離情報数が少ないほど誤差の合計が少なくなることが確認できる．また，距離情報数が増加することに

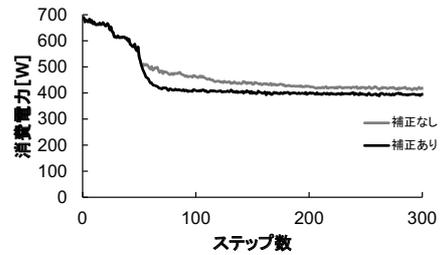


Fig. 3 消費電力履歴

より，照明と照度センサ間の推定距離に含まれる誤差が多くなる．この実験結果より，照度センサの位置推定に用いる距離情報数を 3 つとする．

### 3.2 学習結果の補正

照度センサの位置推定を行うことにより，照明と照度センサ間の距離を誤差 1 m 以内で求めることができる．照明と照度センサ間の距離を基に，照明が照度センサに与える影響を推測する．そして，影響が小さい場合に学習結果を補正する．

光の減衰の法則から，光の強さは光源からの距離の 2 乗に反比例することがわかっている．照明と照度センサが 3.5 m 離れている場合には照明の点灯光度の 10 分の 1 程度の値が照度となる．そこで，本研究では照明と照度センサが 3.5 m 以上離れている場合に，照明は照度センサに影響を与えないとする．

### 4 提案手法の検証

照度センサの位置推定を行い学習結果を補正することで，効率的に照明を制御できるか検証を行う．そのために，学習結果を補正する場合と補正しない場合で照度収束実験を行い，消費電力を比較する．実験環境は Fig.1 と同様であり，A: 500 lx, B: 600 lx, C: 700 lx とする．

消費電力の履歴を Fig.3 に示す．横軸は時間，縦軸は消費電力である．Fig.3 に示した結果から，回帰係数を補正することにより消費電力を 5.3% 削減することを確認した．提案手法を用いることにより，消費電力が削減できたのは，照明から遠く離れた照度センサの学習結果を補正し，適切に照明の光度を変更したからだと考えられる．

この結果から，提案手法を用いることで照度センサに影響を与えない照明の光度を抑え，消費電力を削減できることを確認した．

### 参考文献

- 1) M.Miki, T.Hiroyasu, and K.Imazato. Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness. *Proc IEEE CIS*, pp. 520–525, 2004.
- 2) S.Tanaka, M.Miki, T.Hiroyasu, and M.Yoshikata. An evolutionary optimization algorithm to provide individual illuminance in workplaces. *Proc IEEE Int Conf Syst Man Cybern*, Vol. 2, pp. 941–947, 2009.