

## 個別照度を実現する分散制御照明システムにおける 有線および無線照度センサ位置の推定と学習

吉田 健太<sup>†</sup> 三木 光範<sup>†</sup> 吉見 真聡<sup>†</sup> 笠原 佳浩<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>同志社大学理工学部 <sup>‡</sup>同志社大学大学院工学研究科

### 1 はじめに

我々は、オフィスの照明環境改善を目的とする知的照明システムの研究を行っている [1]。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し、位置関係を推定することで、効率的に照明を制御する。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精度を得られないことがある。そこで本研究では、学習結果と照明の位置情報を組み合わせることで照度センサの位置を推定する。そして、推定結果から学習結果を補正する方法を述べる。

### 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し、最適化アルゴリズムに基づいて各照明の光度を制御するシステムである。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用いる照度センサには有線照度センサと無線照度センサがある。

無線照度センサは頻りに機の配置を変更する場所に用いる。無線照度センサは移動することを考慮すると動的に学習を行う必要がある。そのため、アルゴリズムは山登り法を照明制御用に改良した適応的近傍アルゴリズム (ANA/RC) を用いる [2]。ANA/RC では照明が照度センサに及ぼす影響度合いを最小二乗法により計算することで、回帰係数を求める。回帰係数の値から照明と照度センサの位置関係を推定する。推定結果から各照明の光度変化量を決定することで、効率的に制御を行う。しかし、照明台数の増加に伴い、照明の光度変化に相関が発生しやすくなり、制御を行うのに十分な精度を得られないことがある。照度センサに近い照明の回帰係数が低くなると照度センサに及ぼす影響が小さいと判断し、照明の光度が小さくなる。一方、遠い照明の回帰係数が高くなると照度センサに及ぼす影響が大きいと判断し、照明の光度が大きくなる。

有線照度センサは固定席に用いるため、動的に学習を行う必要がない。そのため、アルゴリズムは学習結果をデータベースに保持し利用する ANA/DB を用いる [3]。光度  $I$  [cd] と照度  $E$  [lx] の関係は、環境が変化しない場合には係数  $R$  [lx/cd] (以下、影響度係数) を用いて式 (1) のように表現できる。

$$E = IR \quad (1)$$

ANA/DB は知的照明システムの導入時に照明を1灯ごとに消灯、点灯することで照明の光度変化量と照度センサの照度変化量を計測し、式 (1) を用いて影響度係数を学習する。ANA/DB は、ついたでの設置、照度センサの移動のように、環境に変化が生じた場合に影響度係数を再学習する必要がある。ANA/DB において影響度係数を再学習するには照明を点滅させる必要がある。しかし、照明を点滅させると執務時間内はオフィスワークが不快に感じる、執務時間外はセキュリティの問題が生じる。そのため、再学習を行うことは容易ではない。本研究はこのような背景から、ANA/RC では学習精度の向上、ANA/DB では環境の変化に対応することを目的とする。そのために、照明と照度センサの位置関係を動的に学習し、学習結果から照度センサの位置を推定する。そして、推定結果を用いて学習結果を補正する手法を提案する。

### 3 照度センサ位置の推定および学習

本研究では、照度センサ位置を推定するために動的な学習により得られる回帰係数から照明と照度センサ間の距離を求める。少なくとも3箇所の照明と照度センサ間の距離がわかれば照度センサの位置を推定することができる。

式 (2) は照明の光度  $I$  [cd] および照明と照度センサ間の距離  $m$  [m] から照度  $E$  [lx] を求める式である。

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

影響度係数  $R$  [lx/cd] および照明と照度センサ間の距離  $m$  [m] の関係を式 (3) に示す。式 (3) は式 (1) と式 (2) から導出する。

$$m = \sqrt{1/R} \quad (3)$$

次に、影響度係数  $R$  [lx/cd] と回帰係数  $r$  は影響度係数と回帰係数の比  $\varepsilon$  を用いると式 (4) のように

Position Estimation and Learning with Wired and Wireless Illuminance Sensors for Distributed Lighting Control System that Provides Individual Illuminance

<sup>†</sup> Kenta YOSHIDA (kyoshida@mikilab.doshisha.ac.jp)

<sup>†</sup> Mitsunori MIKI

<sup>†</sup> Masato YOSHIMI

<sup>†</sup> Yoshihiro KASAHARA

Doshisha University (<sup>†</sup>)

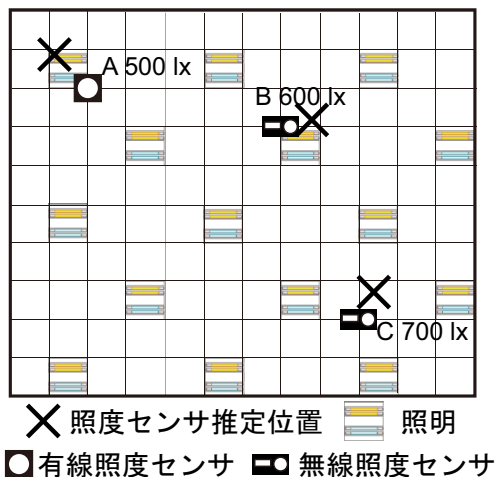


図 1: 実験環境

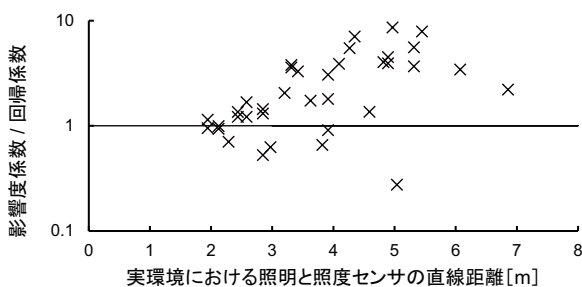


図 2: 影響度係数と回帰係数の比

表すことができる。

$$R = \varepsilon r \quad (4)$$

式 (3) と式 (4) から、式 (5) を導出する。

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

理想環境では影響度係数と回帰係数の比は 1 となる。この関係から式 (6) を導出する。

$$m = \sqrt{1/r} \quad (6)$$

$\varepsilon$  の値を実験的に測定し、式 (5) と式 (6) の誤差を検証する。実験環境を図 1 に示す。照度センサは有線照度センサと無線照度センサを模した図の位置に設置した。照明と照度センサの鉛直方向の距離は 1.9 m である。図 2 に  $\varepsilon$  の計測結果を示す。横軸は照明と照度センサの直線距離、縦軸は  $\varepsilon$  の値である。図 2 から、照明と照度センサ間の直線距離が 3 m 以内の場合には、 $\varepsilon$  の最大値は 1.67 であった。この場合における、式 (5) と式 (6) の差は最大 0.68 m である。一方、照明と照度センサ間の直線距離が 3 から 4 m の場合、式 (5) と式 (6) の差が 1 m を超える場合も確認できた。以上の結果から、式 (6) を用いた計算結果が 3 m 以下の場合には誤差が 1 m 未満であることが期待できる。そのため、計算結果が 3 m 以下の場合のデータを用いて照度センサの位置を推定する。

学習結果の補正は推定した照度センサ情報を用いる。

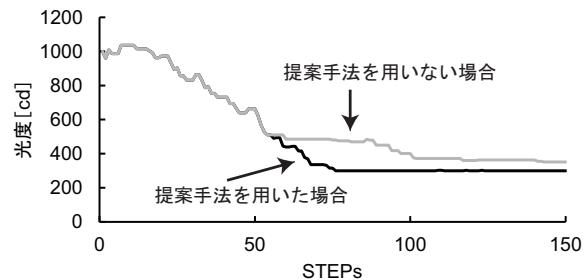


図 3: 照明 1 の光度履歴

各照明と推定した照度センサ間の距離に応じて回帰係数の値を修正する。本研究では、照明と推定した照度センサ間の距離が 5 m 以上になった場合に回帰係数を 0 にした。これは、照明と照度センサ間の距離が 5 m 離れた場合には照明が照度センサに与える影響がほとんどないことからである。

#### 4 照度センサの位置推定および学習結果補正実験

提案手法の有効性を検証するために提案手法を用いた場合と用いない場合で照度収束実験を行い光度を比較する。実験環境は図 1 と同じである。照度センサ A は有線照度センサ、照度センサ B, C は無線照度センサであり、目標照度はそれぞれ 500, 600, および 700 lx とする。照明の位置推定および学習結果の補正は実験開始から 50 ステップ経過した時に行う。2 種類の実験で条件を等しくするために、照明の光度変化の乱数は同じものを使用する。

位置推定の結果を図 1 に示す。実際の照度センサ A, B, および C と推定した照度センサの直線距離での誤差はそれぞれ、0.73, 0.47, および 0.40 m であった。この結果から、式 (6) の計算結果に誤差が含まれていても実際の照度センサと推定した照度センサの直線距離での誤差は 1 m 以内であることが確認できる。

提案手法を用いる場合と用いない場合の照明 1 における光度履歴を図 3 に示す。図 3 より提案手法の方が少ない探索回数で照明の光度が適切な値に変化していることが確認できる。以上の結果より、今回提案する手法を用いることで、照度センサの位置を誤差 1 m 以下で推定することができ、照度センサから離れている照明の学習結果を補正することができた。その結果、より適切に照明の光度を変更することが可能となった。

#### 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] 後藤和宏, 三木光範, 廣安知之. 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.
- [3] 三木光範, 米本洋幸, 廣安知之. 照明と照度センサ間の影響度をデータベース化する個別分散最適制御照明システム. 情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集, pp. 395–396, 2011.