

# 知的照明システムにおける照度センサの位置推定

吉田 健太

Kenta Yoshida

## 1 はじめに

我々はオフィスにおける照明環境の改善と消費電力を削減するために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制御装置が搭載された照明器具, 照度センサ, および電力計から構成される。知的照明システムでは各オフィスのワークが要求する照度を満たし, かつ電力が最小となる点灯パターンを実現する。

知的照明システムは照明が照度センサに及ぼす影響を回帰分析によって学習し, 必要な場所に必要な照度を実現するように照明の光度を制御している。しかし, 照明および照度センサの台数が増えると, 光度と照度に関する回帰係数の誤差が大きくなり, 照明が照度センサに及ぼす影響を正しく推定することができない場合がある。

そこで, 本研究では照度センサの位置座標を推定し, 照明が照度センサに影響を与えるか判断し, 影響がない場合に学習結果を補正する方法を提案する。

## 2 知的照明システム

知的照明システムとは任意の場所にオフィスのワークが要求する照度を実現するシステムである。知的照明システムは照明の制御に適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC) を用いている<sup>2)</sup>。ANA/RC は各照明が各照度センサに及ぼす影響度に応じて光度を適切に変化させることで, より少ない探索回数で最適な光度へ変化させることができる。照度センサに及ぼす照明の影響は式 (1) のような関係式で表すことができる。また, 照明環境が変化しない限り  $R$  は定数とみなすことができる。以後, この定数  $R$  を照度/光度影響係数と呼ぶ。

$$E = RI \tag{1}$$

$E$ : 照度 [lx],  $I$ : 光度 [cd],  $R$ : 照度/光度影響係数 [lx/cd]

ANA/RC は各照明の光度変化量と各照度センサで計測される照度変化量に関する回帰分析により照度/光度影響係数  $R$  を求める。しかし, 複数の照明がランダムに光度を変化すると, 照明の増加に応じて照度/光度影響係数は他の照明における光度変化の影響を大きく受けることとなる。本論文では照明の光度をランダムに変更し, その際の光度変化量と照度変化量から求める照度/光度影響係数を照度/光度影響係数 (推定値) とする。照明を 1 灯ずつ点滅させて, その際の照明の光度変化量と照度センサで計測される照度変化量から照度/光度影響係数を計測することで, 他の照明の光度変化の影響を受けない照度/光度影響係数を求めることができる。本論文

では, 単一照明の点灯によって求める照度/光度影響係数を真値とし, 照度/光度影響係数 (実測値) とする。

照度/光度影響係数の推定値と実測値の関係を Fig.1 に示す。Fig.1 は照度/光度影響係数 (推定値) を縦軸, 照度/光度影響係数 (実測値) を横軸に示す。また, 照度/光度影響係数の測定環境の平面図を Fig.2 に示す。

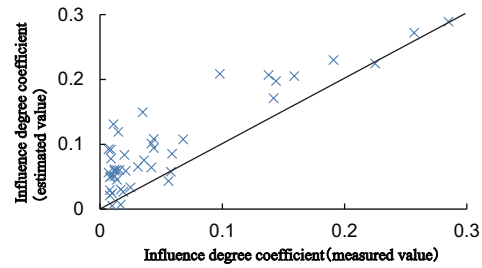


Fig.1 照度/光度影響係数

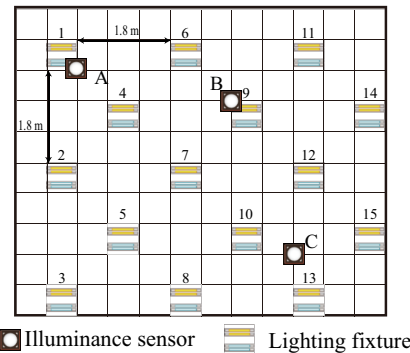


Fig.2 実験環境 (平面図)

Fig.1 に示すように, 照度/光度影響係数 (実測値) の値が大きい場合は照度/光度影響係数 (推定値) もほぼ同じ値となっているが, 照度/光度影響係数 (実測値) の値が小さい場合は照度/光度影響係数 (推定値) の誤差が大きくなっている。Fig.1 から, 照度/光度影響係数 (推定値) において, 値が大きいほど信頼性が高いと考えられる。そこで, 値の大きい照度/光度影響係数 (推定値) を用いて照度センサ位置を推定する。

## 3 照度センサ位置の推定

照度/光度影響係数 (推定値) の値が大きい, すなわち信頼性の高い情報を用いて照度センサ位置を推定する。照度センサ位置は, 照明と照度センサ間の距離がわかれば一意に求めることができる。式 (2) を用いることにより, 照明の光度変化量と照度センサで計測される照度変化量から求める照度/光度影響係数から照明と照度セン

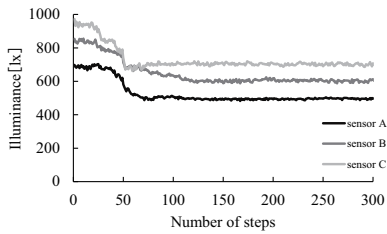


Fig.3 照度履歴 (従来手法)

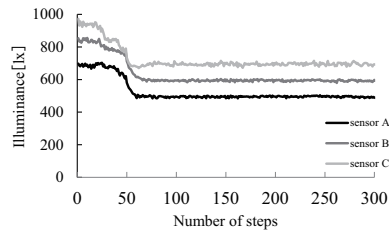


Fig.4 照度履歴 (提案手法)

サ間の距離を求めることができる．

$$m = \sqrt{\cos \theta / R} \quad (2)$$

$m$  : 照明と照度センサ間の推定距離 [ m ]

$\theta$  : 光源と被照面との仰角 [ rad ],  $R$  : 照度/光度影響度係数 (推定値) [ lx/cd ]

式 (2) を用いることで照明と照度センサ間の距離を求めることができる．照度センサの位置座標を推定するために、各照度センサに関して定式化した式 (3) を最小化する最適化問題を考える．式 (3) は  $s_{xj}$ ,  $s_{yj}$  を設計変数とする．そして、照明  $i$  と照度センサ  $j$  間の推定距離  $m_{ij}$  との差がもっとも少なくなるように各変数を決定する．

$$f_j = \sum_{i=0}^n w_{ij} \{ (s_{xj} - l_{xi})^2 + (s_{yj} - l_{yi})^2 - m_{ij}^2 \}^2 \quad (3)$$

$l_{xi}$  : 照明  $i$  の  $x$  座標,  $l_{yi}$  : 照明  $i$  の  $y$  座標

$s_{xj}$  : 照度センサ  $j$  の  $x$  座標,  $s_{yj}$  : 照度センサ  $j$  の  $y$  座標

$m_{ij}$  : 照明  $i$  と照度センサ  $j$  間の推定距離 [ m ]

$n$  : 照明の数,  $j$  : 照度センサ番号,  $w_{ij}$  : 重み

式 (3) を用いることで照度センサ位置を求めることができる．

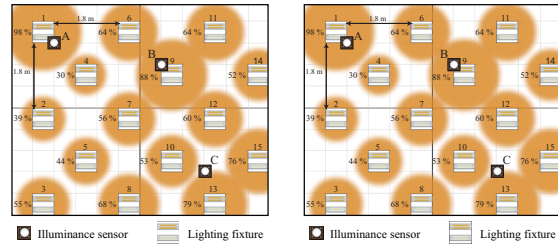
#### 4 照度センサの位置推定実験

光度と照度に関する回帰係数を補正する場合と補正しない場合で照度収束実験を行う．そして、照度収束性、光度分布、消費電力を比較し、提案手法の有効性を検証する．照度センサの位置座標は式 (3) を用いて推定する．なお、照明と照度センサ間の距離情報を 3 つ、重みは照明と照度センサ間の距離の 2 乗の逆数を用いる．光度と照度に関する回帰係数の補正は推定した照度センサと照明が 3.5 m 以上離れている場合に行う．

実験環境は Fig.2 と同様である．照度センサ A, B, および C の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．従来手法と提案手法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．

従来手法の照度収束履歴を Fig.3, 提案手法の照度収束履歴を Fig.4 に示す．横軸はステップ数、縦軸は照度である．

従来手法の光度分布を Fig.5(a), 提案手法の光度分布を Fig.5(b) に示す．照明の光度は収束開始から 100 ス



(a) 従来手法

(b) 提案手法

Fig.5 光度分布図

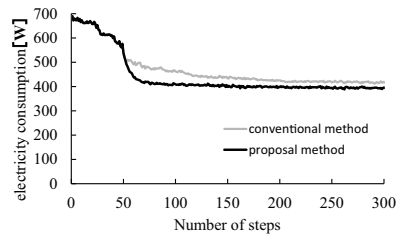


Fig.6 消費電力履歴

テップ経過した時点の光度である．

従来手法および提案手法の消費電力の履歴を Fig.6 に示す．横軸はステップ数、縦軸は消費電力である．

Fig.3 と 4 に示す照度の収束履歴から、提案手法は目標照度に収束しており、従来手法よりも収束速度が向上している．

Fig.5(a) と 5(b) に示すように、照明 3, 5, 6, 7, 8, 11, 14 の点灯光度を比較すると提案手法の方が従来手法よりも 10 % 以上下がっている．この結果から、提案手法は従来手法よりも適切に照明の光度を制御している．

Fig.6 に示すように、提案手法は従来手法よりも消費電力が小さくなっていることが確認できる．300 ステップ経過した時点でおよそ 5 % の消費電力を削減した．以上の結果から提案手法は従来手法よりも有効である．

#### 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, 人工知能学会誌, Vol.22, No.3 (2007), pp.399-410.
- 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.