

分散制御照明システムにおける照度センサの位置推定方法

Estimating the position of illuminance sensors for Distributed Lighting Control System

三木 光範*1 吉田 健太*2 小野 景子*3 平野 裕也*2
Mitsunori Miki Kenta Yoshida Keiko Ono Yuya Hirano

*1同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

*2同志社大学 大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

*3龍谷大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Ryukoku University

We propose Intelligent Lighting System that provides illuminance needed office-workers and achieves energy conservation. This system estimates that degree of influence that lightings influence illuminance sensors by the least squares method, and controls luminance of lightings effectively. And we propose further effectively to control luminance of lighting method that estimating the position of illuminance sensors and correct influence by the least squares method. This paper examine about accuracy that estimating the position of illuminance sensors.

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 [1]。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。

知的照明システムでは消費電力が小さくなるような点灯パターンを実現するために照度センサに及ぼす照明の影響を推定する。その推定結果を基に各照明の光度を制御するため照度センサ位置を必要としない。しかし、照明および照度センサの台数が多くなると、照度センサに及ぼす照明の影響を正しく推定することができない場合があり、正しく推定した場合と比較すると消費電力が最小となる点灯パターンの実現まで多くの時間が必要となる。そこで、照明の光度と照度センサで測定される照度を用いて照度センサ位置を推定し、照度センサ位置を照明の光度制御に用いることで効率的に照明の光度を制御することを確認した [2]。照度センサ位置の推定誤差が小さいほど照明の光度をより効率的に制御する事ができると考えられる。そこで、本論文では照度センサ位置の推定精度を向上する方法について検証を行う。

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ワークの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) を用いる [3]。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 を影響度係数と呼ぶ。

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

連絡先: 吉田 健太, 同志社大学 大学院 理工学研究科 情報工学専攻, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924, kyoshida@mikilab.doshisha.ac.jp

E : 照度 [lx], I : 光度 [cd], R : 影響度係数 [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影響度係数 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、照明と照度センサ台数の増加に応じて影響度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。そこで、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影響度係数を計測する方法を用いることで、他の照明の光度変化の影響を受けない影響度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影響度係数を誤差の無い値とする。

単一照明の点灯によって求める影響度係数は照明環境に変化が生じる都度、照明を 1 灯ずつ点滅させる必要がある。そのため、照明環境の変化に対応することが容易ではない。一方、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求める影響度係数は逐次的に計算を行うため、照明環境の変化に柔軟に対応することができる。

複数の照明の光度を変化させて求める影響度係数と単一照明の光度を変化させて求める影響度係数を図 1 に示す。図 1 は複数の照明の光度を変化させて求めた影響度係数を横軸、単一照明の光度を変化させて求めた影響度係数を縦軸に示す。また、影響度係数の測定環境の平面図を図 2 に示す。

図 1 に示すように、単一照明の点灯により求める影響度係数の値が大きい場合は複数の照明の光度を変化させて求める影響度係数も同程度の値となっているが、単一照明の点灯により

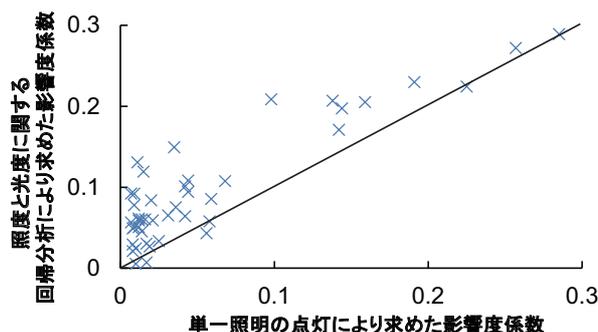


図 1: 影響度係数

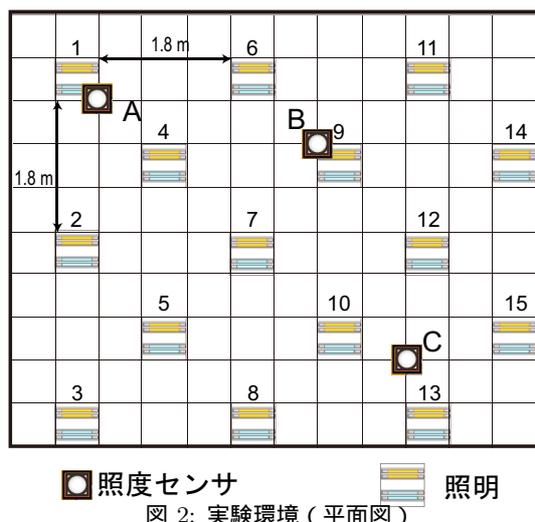


図 2: 実験環境 (平面図)

求める影響度係数の値が小さい場合は複数の照明の光度を変化させて求める影響度係数の値が大きくなっている。図 1 から、複数の照明の光度を変化させて求める影響度係数において、値が大きいくほど信頼性が高いと考えられる。そこで、値の大きい影響度係数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

複数の照明の光度を変化させて求める影響度係数の値が大きい、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影響度係数から照明と照度セン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]

θ : 光源と被照面との仰角 [rad], R : 影響度係数 [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。

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

表 1: 式 (3) により求めた照度センサに関する誤差

重み	距離情報数	照度センサ A [m]	照度センサ B [m]	照度センサ C [m]	平均誤差 [m]
無し	3	1.35	1.63	1.09	1.36
	4	1.97	1.92	20.93	8.27
	5	28.3	0.24	1.30	9.95
距離の逆数	3	0.59	0.85	0.63	0.69
	4	1.54	0.52	0.28	0.78
	5	1.34	0.44	0.88	0.89
距離の逆数の 2 乗	3	0.84	0.69	0.12	0.55
	4	0.66	0.82	0.31	0.60
	5	0.88	0.68	0.31	0.63

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。しかし、照明と照度センサ間の推定距離の数、および重みの値によって照度センサ位置の推定精度は異なると考えられる。そこで、照度センサ位置の推定において、誤差が小さくなる照明と照度センサ間の推定距離の数および重みの値を検証する。

4. 照度センサ位置推定の精度

式 (3) を用いて、照度センサ位置を推定する実験を行う。また、照明と照度センサ間の距離情報数および重みの値を変更し、照度センサ位置の誤差を比較する。影響度係数の値が大きいくほど、照明と照度センサ間の推定距離が短くなるため、式 (3) では照明と照度センサ間の距離情報が短いものから順番に計算に用いる。重みの条件は、重み無し、照明と照度センサ間の距離の逆数、および照明と照度センサ間の距離の逆数の 2 乗とする。

実験環境は図 2 と同様である。実験には白色蛍光灯 15 灯、照度センサ 3 台を用いる。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。照明の位置推定は実験開始から 50 ステップ経過した時に行う。それぞれの重み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。

実験結果を表 1 に示す。表 1 に示すように、照明と照度センサ間の距離情報数が少ないほど照度センサ位置の誤差が小さくなる。また、重みの値が距離の逆数の 2 乗の場合に照度センサ位置の推定誤差平均が一番小さくなる。

この実験結果から、式 (3) を用いて照度センサ位置を推定する場合には、照明と照度センサ間の距離情報数は 3、重みには照明と照度センサ間の距離の逆数の 2 乗を用いることで、照度センサ位置の誤差が小さくなることを示した。

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, 人工知能学会誌, Vol.22, No.3 (2007), pp.399-410.
- [2] 吉田健太, 三木光範, 吉見真聡, 笠原佳浩. 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の推定と学習. 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, Vol. 2, pp. 305-306, 2012.
- [3] 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.