

移動型照度センサを用いた知的照明システムにおける照明制御回数の削減

上南 遼平

Ryohei JONAN

1 はじめに

我々はオフィスにおける執務者の快適性向上を目的とした知的照明システムの研究を行っている。知的照明システムは照度センサがある場所に、執務者が個別に要求する目標照度を最小の消費電力で提供する¹⁾。

知的照明システムでは、計算機上で照度シミュレーションを行うことで、各執務者の目標照度を最小の消費電力で実現する照明の点灯パターンを算出することができる。算出した点灯パターンを実環境に反映させることで、各執務者の目標照度収束までの時間および照明の制御回数を大幅に削減することが可能となる。一般的なオフィスでは各執務者の自席は固定であるため、各照明の各照度センサに対する影響度係数を実測し、その値を用いて照度シミュレーションを行う。

一方で、個人のデスクをなくしたノンテリトリアルオフィスや執務者が自由に席を移動できるフリーアドレスを採用する企業も増えている。照度センサの移動が生じる環境では、あらかじめ影響度係数を実測することは容易ではなく、照度シミュレーションを行うことができない。

本研究ではこの課題を解決するため、各照明の移動型照度センサに対する影響度係数を推定する手法を提案する。検証実験を行い、推定した影響度係数を用いて照度シミュレーションを行い、目標照度収束までの時間および照明制御回数を大幅に削減できることを示す。

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、移動可能な照度センサ、および電力計をネットワークにつなぐことで構成される。このシステムは山登り法をベースとした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。

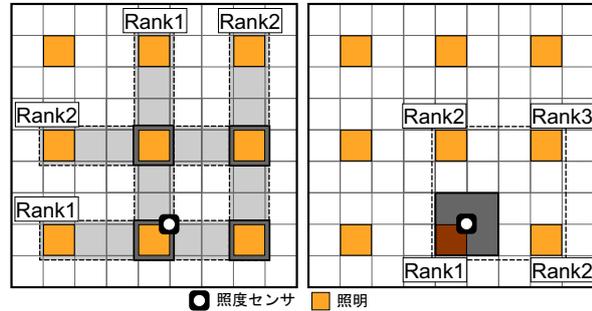
知的照明システムは各照明が各照度センサに及ぼす影響の大小に応じて適切に照明光度を制御することで、より少ない探索回数で最適な光度へと変化させる。照明光度の変化が照度センサの照度に及ぼす影響（以下影響度係数）は式 (1) の関係式で表すことができる。照明環境が変化しない限り R は定数とみなすことができる。

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

E : 照度 [lx], I : 光度 [cd], R : 影響度係数 [lx/cd]

影響度係数が既知の場合、式 (1) を用いることで各照明光度から照度センサの照度を算出することができる。

知的照明システムでは、目標照度を実現しつつ、消費電力を最小化するという目的を定式化している。定式化した目的関数の解を見つけることを最適化問題として捉え、照明光度を人の目に感知されない変化幅でランダムに変化させながら最適解の探索を行う。



(a) 照度センサ近傍照明の抽出 (b) 逐点法を用いた影響度係数の推定

Fig.1 行列探索および逐点法を用いた影響度係数の推定

3 照度収束までの最適化繰り返し回数の削減

知的照明システムでは、目的関数を最小化する照明の点灯パターンの探索を 1 回行うのに 2 秒程度の時間がかかる。執務者の目標照度を実現するためにはこの最適化を 50~100 回繰り返す必要がある。また、導入環境の大規模化に伴い照度情報や光度制御信号の伝搬遅延による最適化 1 回当たりにかかる時間の増加が懸念される。

上記課題を解決するため、実測した影響度係数を用いて照度シミュレーションを行うことで最適化問題を解き、執務者の目標照度を実現する照明の点灯パターンを算出し実環境に反映する。1 回の最適化で執務者の目標照度を実現する照明の点灯パターンを算出するため、最適化 1 回にかかる時間は延びるが、目標照度収束にかかる時間および照明制御回数を大幅に削減することができる。

しかし、照度センサの移動が生じる環境においては、照度センサが設置される位置が決まっていないため、影響度係数を実測することは容易ではない。このような環境においても、より短時間で各執務者の目標照度を実現するためには移動型照度センサに対する各照明の影響度係数をできるだけ高速に推定する手法が必要となる。

4 影響度係数の推定

照度センサが移動する環境において照度シミュレーションを行うため、照明の移動型照度センサに対する影響度係数を推定する手法を提案する。移動型照度センサを用いた知的照明システムでは、照度センサに影響の大きい照明を動的に抽出することで目標照度実現までの時間を短縮し、照度センサに影響のない照明を消灯することで省エネルギー性を向上させている²⁾。執務者の固定席が存在しない環境に導入した知的照明システムでは、照明を縦横のグループに分けることで効率的に照度センサに影響の大きい照明を抽出する手法（以下行列探索）を用いている。本研究では行列探索による照明抽出をもとに影響度推定を行なう。本手法の概念図を図 1 に示す。

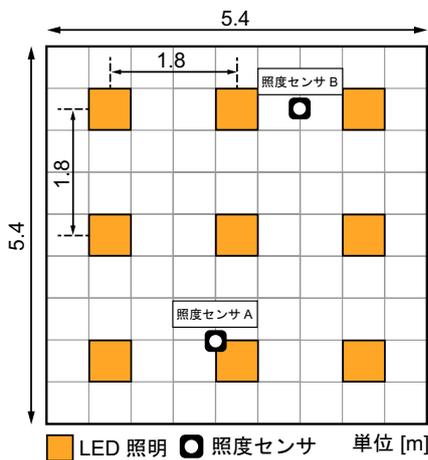


Fig.2 実験環境 (平面図)

順々に各照明グループの照明光度を人の目に感知されない変化幅で変化させる。照明光度を変化させた際の照度センサの照度変化量が大きい縦と横の照明グループの積集合を取ること、照度センサに影響の大きい照明を抽出する。抽出された照明の属する照明グループに応じて、抽出された各照明に照度センサへの影響度合いの順位を付与する。照度センサは図 1-(b) に示すように、1 位を付与された照明近傍の 4 グリッドの範囲に存在する。この範囲の照度を一定の間隔ごとに逐点法で算出し、照度センサの現在照度と最も差の少ない位置に照度センサがあると仮定する。照度センサがあると仮定した位置に対する影響度係数を逐点法により算出し、その値を用いて照度シミュレーションを行なう。

提案手法を用いることで、移動型照度センサに対する影響度係数を推定することができる。推定した影響度係数を用いて照度シミュレーションを行ない、算出した点灯パターンを実環境に反映させることで、照度収束にかかる時間および照明制御回数を大幅に削減できる。

5 検証実験

提案手法を組み込んだ知的照明システムの有効性を示すため、検証実験を行う。照明 9 灯および照度センサ 2 台を用いて図 2 に示す実験環境を構築した。照明には Panasonic 社製 LED 照明 (NSE814S2) を、照度センサは知的照明システムを導入した環境で使用している移動型の無線照度センサを用いた。

照度センサ A, B にはそれぞれ 700, 500 lx を目標照度として設定する。提案手法と従来手法を用いて照度収束実験を行ない、照明制御回数の比較を行なう。

従来手法を用いた場合の照度履歴を図 3 に、提案手法を用いた場合の照度履歴を図 4 に示す。なお、1 回の最適化繰り返りに要する時間は、従来手法で約 2 秒、提案手法で約 10 秒である。また、実験開始 1 時間経過時の各手法における照明の点灯パターンを図 5 に示す。

図 4 より、提案手法は 6 ステップで行列探索による照明抽出を完了し、影響度推定を行なった後、1 回の最適化、すなわち約 10 秒で各照度センサの目標照度を実現している。また、図 3 および図 4 より、提案手法は従来手

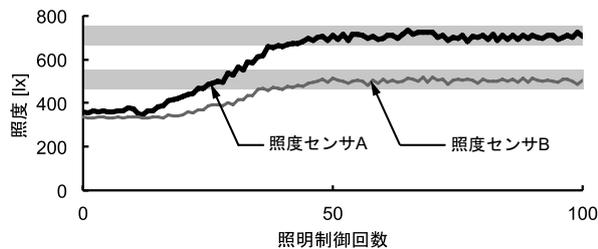


Fig.3 従来手法を用いた知的照明システムの照度履歴

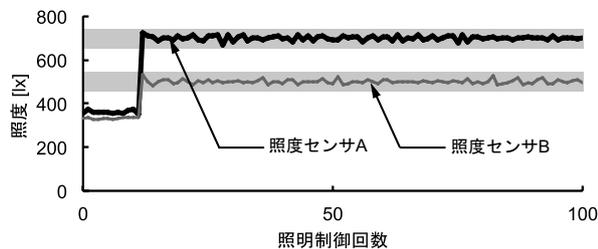


Fig.4 提案手法を用いた知的照明システムの照度履歴

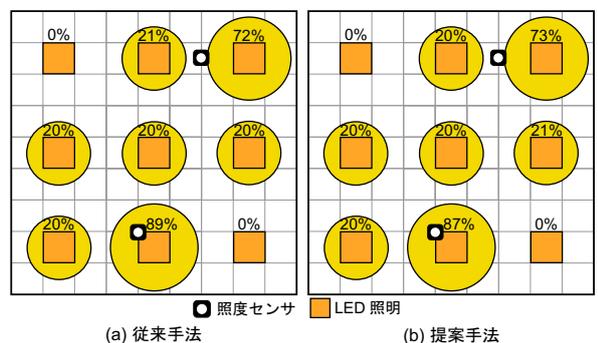


Fig.5 各手法の照明の点灯パターン (1 時間経過時)

法に比べて目標照度に収束するまでの時間および照明制御回数を大幅に削減している。

また、図 5-(a)、図 5-(b) を比較すると、提案手法と従来手法の点灯パターンには大きな差は見られない。提案手法は 1 回の最適化で図 5-(b) と同程度の点灯パターンを実現していることを確認した。

6 今後の展望

検証実験の結果より、提案手法を用いることによって移動型の照度センサを用いた知的照明システムにおける照明制御回数削減の可能性を示した。

提案手法では照度センサの影響度係数を推定する際に、人影や照明の劣化、外光などの外乱の影響は考慮されていない。そのため、外乱がある環境においては正確に影響度係数を推定することができない。今後の展望として、外乱のある環境においても正確に影響度を推定できるよう提案手法の改善を行なう。

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) 三木光範, 東陽平, 吉田健太, 池上久典. 知的照明システムにおける照度センサに影響のある照明の抽出手法及びそれに伴う消灯制御 (オフィスインフォメーションシステム, e-ビジネスモデリング, 特集システム開発論文). 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, Vol. 96, No. 10, pp. 2418-2425, oct 2013.