

照明と照度センサの配置図を用いた知的照明システムの検討

上南 遼平, 町田 啓悟
Ryohei JONAN, Keigo MACHIDA

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と照明の消費電力の削減を両立する知的照明システムの研究・開発を行なっている。知的照明システムは照度センサがある場所に、各執務者が個別に要求する照度(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目標照度および最適な点灯パターンをより短時間で実現するために、各照明光度の変化が各照度センサの照度に及ぼす影響度合い(以下、照度/光度影響度)を測定している。各照明は各照度センサを照度/光度影響度の大ききで分類し、この分類および目標照度と現在照度の差に応じて光度を適切に変化させる。照度/光度影響度は、システムの導入時等に照明を1灯ずつ点灯し、そのとき各照度センサから得られた照度から算出する。しかし、照明台数が増加するにしたがって各照明のすべての照度センサに対する照度/光度影響度の測定の手間が増大する。本研究では、この課題を改善するため照度/光度影響度ではなく、照明と照度センサの配置図を用いてより簡便に照度センサを分類し、従来の手法と同程度の精度で目標照度に収束させる手法を提案する。

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。各照明光度を人の目に感知されない変化幅²⁾でランダムに微小変化させながら最適解を探索することで、目標照度を実現するとともに照明の消費電力を最小化する。

各照明は照度/光度影響度に応じて各照度センサを2から4種類に分類する。例えば、影響が大きい、影響が小さい、影響がないの3種類に分類する。その分類および目標照度と現在照度の差に応じて、数種類の光度変化幅から適切なものを選択し、その範囲内でランダムに光度を変化させる。これにより、より少ない探索回数で最適な点灯パターンに変化させることができる。

知的照明システムでは、目標照度を実現しながら、消費電力を最小化するという目的を定式化している。この定式化した目的関数の式の解を見つけることを最適化問題として捉え、最適解の探索を行なう。知的照明システムの目的関数を式(1)に示す。

$$f = P + w \sum_{i=1}^n g_i \tag{1}$$

$$g_i = \begin{cases} 0 & (I_{c_i} - I_{t_i}) \geq 0 \\ R_j(I_{c_i} - I_{t_i})^2 & (I_{c_i} - I_{t_i}) < 0 \end{cases}$$

n : 照度センサ数, w : 重み, P : 消費電力量

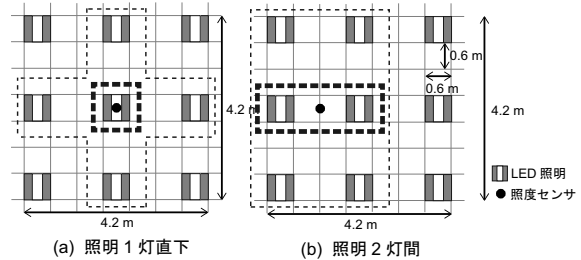


Fig.1 照明と照度センサの配置

I_c : 現在照度, I_t : 目標照度, R_j : 照度/光度影響度
式(1)は各照明ごとに計算する。設計変数を照明の光度とし、式(1)の目的関数 f が最小化することで、最適な光度へと推移する。目的関数 f は消費電力 P と、現在の照度 I_c と目標照度 I_t の照度差を表す g_i を制約条件としたペナルティ項 g_i の総和からなる。

3 配置図を用いた知的照明システム

実オフィスに知的照明システムを導入する場合、システム導入時に照度/光度影響度を測定し、その値を用いて各照明を制御する。対象環境において照明を全て消灯し、1灯ずつ照明を点灯および消灯を繰り返すことで、各照明が各照度センサに及ぼす照度/光度影響度を測定する。照度/光度影響度は、照明の点灯光度から照度センサの照度を算出するために用いられ、照度シミュレータ作成や外光の推定などを行なうことができる。

しかし、導入する環境が大規模になり照明の台数が増加するにしたがい、照度/光度影響度の測定は手間がかかる。また、環境の変化に応じて照度/光度影響度の再計測をすることが望ましいが、執務中に照度/光度影響度を測定するのは、執務者に不快感を与えることが懸念される。本研究では、この課題を改善するために照度/光度影響度ではなく、照明と照度センサの配置図を用いて照度センサを分類し、目標照度に収束させる手法を提案する。

図1の(a)および(b)に示す位置に照度センサがある場合、図1の照明は、この照度センサをTable1の分類方法に基づいて分類する。図1に示す位置とは違う位置に照度センサがある場合、その照度センサの位置から最も距離が近い照明2灯間に位置するとみなし、図1の(b)およびTable1に基づいて照明6灯と関連付ける。最も距離が近い照明2灯間が複数存在する場合は、任意の位

Table1 各照明における照度センサの分類手法

照明の配置	分類の種類
太い破線の枠内	影響が大きい
細い破線の枠内	影響が小さい
その他	影響がない

影響: 照明光度の変化が照度センサの照度に及ぼす影響

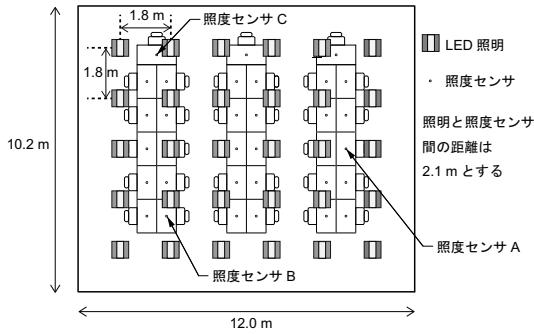


Fig.2 実験環境 (平面図)

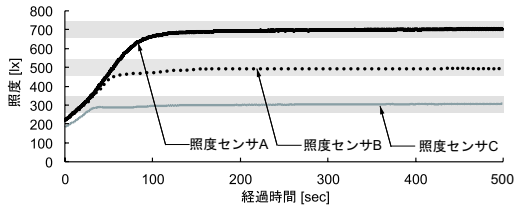


Fig.3 照度/光度影響度を用いた手法の照度履歴

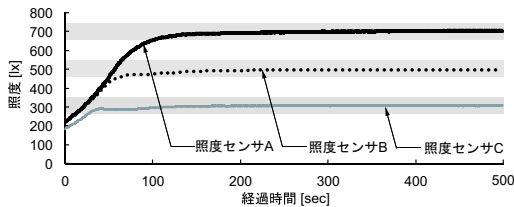


Fig.4 配置図を用いた手法の照度履歴

置を選択する。上記以外の詳細な分類手法については、枚数の都合上ここでは省略する。一般的なオフィスで用いられる最大点灯光度が約 1000 から 1400 cd の照明の場合、5 から 6 灯程度あれば、オフィスの一般的な明るさである 750 lx を満たすことができる。よって、1つの照度センサに関連付ける照明を5灯または6灯とする。

従来手法では、式 (1) において、照度ペナルティ項 g_i は照度/光度影響度 R_j に比例する。よって、照度センサに影響の大きい照明ほどペナルティ項を増加させないように動作する。提案手法では、分類に応じて照度ペナルティ項 g_i に離散値をかける。影響が大きい分類ほど大きい値をかけることで、従来と同じように動作する。

4 比較実験

一般的な対向島型のオフィス環境を想定し、目標照度収束のシミュレーションを行なうことで、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。照明 30 台、照度センサ 33 台を用いて図 2 に示すシミュレーション環境を構築した。図 2 に示した実験環境において、各照度センサに目標照度を 300 から 750 lx の範囲から 50 lx 間隔でランダムに設定し、従来手法と提案手法の目標照度収束時間および省エネルギー性の比較実験を行なう。

各手法を用いて知的照明システムの動作開始から最適化繰り返し数が 250 ステップ (約 500 秒) までのシミュレーションをそれぞれ 100 回行なった。なお、シミュレーションにおける照度計算には、実測した照度/光度影響度を用いた。目標照度を 300, 500, 700 lx に設定した照度センサ A, B, C の動作開始から 500 秒時までの各

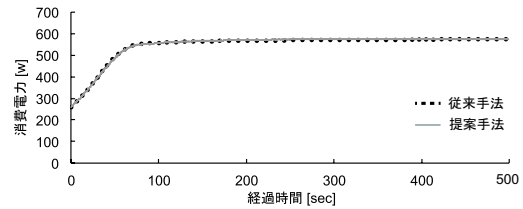


Fig.5 従来手法および提案手法の消費電力の履歴

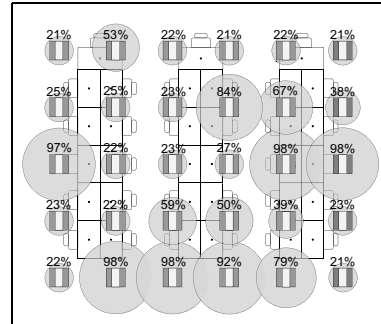


Fig.6 影響度を用いた手法の収束後の光度分布図

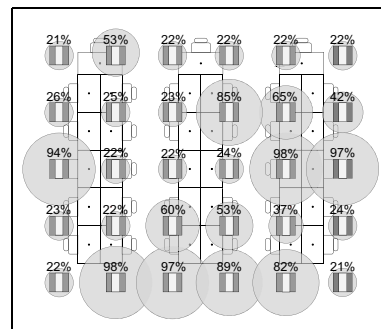


Fig.7 配置図を用いた手法の収束後の光度分布図

手法の照度履歴を図 3 および 4 に示す。

これらの図は、各手法はそれぞれ約 100 秒で目標照度を実現しており、提案手法が従来手法と比べて同程度の精度を実現していることを示している。他の照度センサの照度も目標照度に収束した。

動作開始から 500 秒時までの各手法の消費電力の履歴を図 5 に示す。この図は、各手法は同程度の消費電力で目標照度を実現しており、提案手法が従来手法と同程度の省エネルギー性を実現していることを示している。

従来手法および提案手法における、動作開始から 500 秒時のシミュレーション環境の光度分布を図 6 および 7 に示す。これらの図より、各手法はほぼ同じ点灯パターンを実現していることがわかる。

比較実験の結果より、照度/光度影響度ではなく、照明と照度センサの配置図を用いて照度センサを分類することで、目標照度および最適な点灯パターンを従来手法と同程度の精度で実現できる可能性を示した。

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) 鹿倉智明, 森川宏之, 中村芳樹. オフィス照明環境における明るさの変動知覚に関する研究. 照明学会誌, Vol. 85, No. 5, pp. 346-351, 2001.