

知的照明システムにおける照度収束までの最適化繰り返し回数の削減

松下 昌平, 吉田 健太
Shohei Matsushita, Kenta Yoshida

1 はじめに

著者は、執務者が個別に要求する照度を最小の消費電力で実現する知的照明システムの研究・開発を行っている¹⁾。知的照明システムはその有効性の検証のために、東京都内の複数のオフィスにおいて実証実験を行っている。これらの実証実験から、知的照明システムの導入前と比較して消費電力を 50% 程度削減することを確認した。

今後、知的照明システムはより大規模なオフィスに導入することが想定され、システムのクラウド化も検討される。しかし、導入規模が大きくなるに応じて明るさのセンシングやその情報の送受信に時間がかかることから、執務者が個別に要求する照度を最小の消費電力で実現する照明の点灯パターンの実現までに必要な時間が長くなることが考えられる。そこで本研究では、照明制御の最適化の繰り返し数を減らすことで、大規模なオフィスに導入した場合でも、一般的なオフィスに導入した場合と同程度の時間で執務者の要求する照度を実現できる手法を提案する。

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 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。このシステムは執務者の要求する照度（目標照度）を実現し、かつ照明の消費電力が最小になるようにそれぞれの照明の光度を制御する。

知的照明システムの制御アルゴリズムには、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 (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC) を用いる²⁾。

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。

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

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

知的照明システムでは、照度情報と消費電力情報を用い、定式化した目的関数を最小化する照明の点灯パターンを探索する。つまり、知的照明システム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、最適解の探索を行う。知的照明システムの目的関数を式 (2) に示す。

$$f = P + w \sum_{i=1}^n g_i \quad (2)$$

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

n : 照度センサ数, w : 重み, P : 消費電力量

I_c : 現在照度, I_t : 目標照度, R_j : 影響度係数

設計変数を照明の光度とし、式 (2) の目的関数 f を最小化する。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 からなる。 g_i は現在の照度が目標照度を下回った場合にのみ加算する照度ペナルティ項となっている。

3 照度収束までの最適化繰り返し回数の削減

従来の知的照明システムでは、照度情報と消費電力情報をを用い、目的関数 f 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 秒程度の時間が必要であった。しかし、知的照明システムを大規模なオフィスに導入する場合、導入規模が大きくなるに応じて明るさのセンシングやその情報の送受信に時間がかかることから、照明の点灯パターンの探索に必要な時間が長くなることが考えられる。すなわち、照明制御の最適化 1 回当たりにかかる時間が延びることが考えられるため、従来の知的照明システムのように、1 回当たり 2 秒程度の最適化を 50~100 回程度繰り返すことで執務者の目標照度を実現する手法では、照度収束までにかかる時間が大幅に延びることが考えられる。

そこで本論文では、照度シミュレーションを行い、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、算出した点灯パターンを実環境の照明に反映する手法を提案する。提案手法では、1 回の照明制御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、従来手法と比べ最適化 1 回当たりにかかる時間は延びるが、照度収束までに 50~100 回程度必要であった最適化の繰り返し回数を大幅に削減することが可能だと考えられる。

各照度センサの照度は式 (1) から算出することが可能であるため、提案手法では影響度係数を実測し、式 (1) を用いて照度シミュレーションを行い、最適化問題を解く。

提案手法では、複数の照度シミュレーションを同時に実行し、目標照度を実現する照明の点灯パターンをそれぞれ算出する。そして、シミュレートした照明の点灯パターンの中で、目的関数の最も小さい点灯パターンを照

明に反映する。このように提案手法では、最適化1回ごとに照度シミュレーションを行い、最適な点灯パターンを探索する。

また、式(1)を利用した照度計算では、各照度センサの照度の値しか求めることができない。そのため、外光は照度センサの実測照度と影響度係数を基に算出した照度との差として求める。そして、照度シミュレーション時に、目標照度から外光の推定値を減算することで、外光のある状況においても個別の目標照度を満たす点灯パターンを求めることが可能となる。

4 検証実験

提案手法を用いて、各執務者の個別の目標照度を実現可能か検証実験を行った。検証実験には白色蛍光灯15灯、照度センサ3台を用いた。照度センサA、B、およびCにはそれぞれ400、500、700 lxの目標照度を設定する。また外光として、実験の途中でランプを照度センサCに点灯する。

従来手法の知的照明システムの照度履歴を図1に、本検証実験の照度履歴を図2に示す。なお、1回の最適化繰り返しに要する時間は、従来の知的照明システムで約2秒、提案手法では約40秒としている。

図2から、提案手法では1回の最適化繰り返しで、すなわち約40秒で、各センサの目標照度を満たしていることがわかる。また図1および図2から、提案手法では従来手法より速く各センサの目標照度を満たしていることがわかる。さらに、従来手法および提案手法における、実験開始後200秒時点での光度分布図を図3および図4に示す。図3および図4において、従来手法の照明の光度和と比べ、提案手法の光度和は小さくなっている。ここで、光度は消費電力と線形関係にあるため、従来手法に比べ提案手法はより省電力な点灯パターンを実現していると言える。

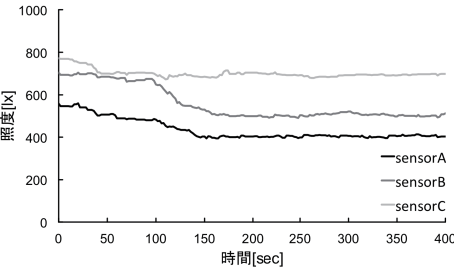


Fig.1 従来手法の照度履歴

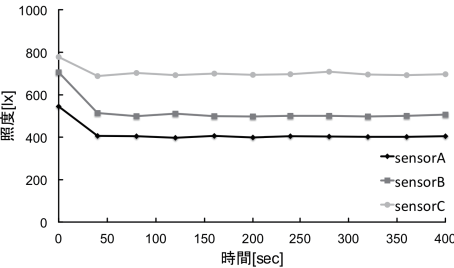


Fig.2 提案手法の照度履歴

また実験の結果、提案手法を用いた場合、従来手法より速い時間で各センサの目標照度を満たし、かつ最適化繰り返し回数が大幅に削減されることを確認した。

次に、ランプを用いて照度センサCに200 lxの外光を与え、外光の変化があった際にも目標照度を実現可能かを確認する。外光を与えた場合の照度履歴を図5に示す。図5から、外光を与えた場合にも、1回の最適化で照度が収束していることがわかる。実験の結果より、外光のある状況においても、瞬時に目標照度を実現することを確認した。

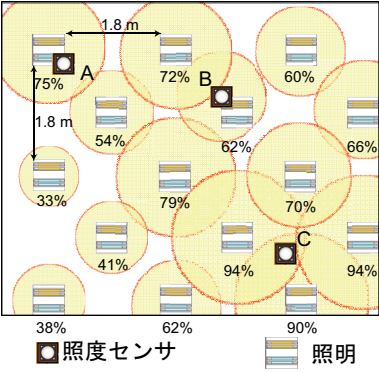


Fig.3 従来手法の光度分布図

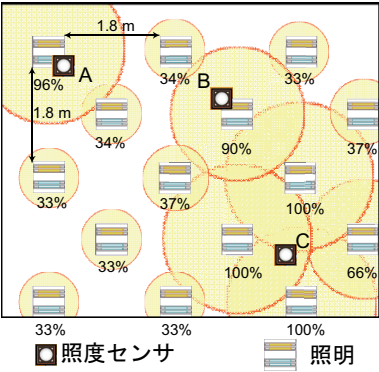


Fig.4 提案手法の光度分布図

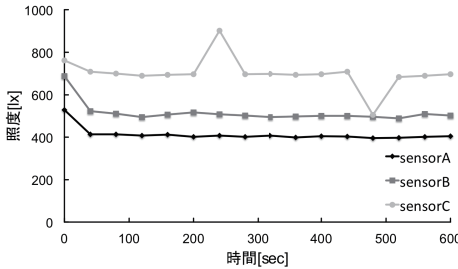


Fig.5 提案手法の照度履歴（外光あり）

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.