

知的照明システムにおける照度収束までの照明制御回数の削減

松下 昌平

Shohei MATSUSHITA

1 はじめに

著者らは、執務者が要求する明るさ（目標照度）を最小の消費電力で実現する知的照明システムの研究を行っている¹⁾。

知的照明システムを大規模なオフィス環境に導入する場合、知的照明システムを構成する照明台数および照度センサ数が飛躍的に増加し、照明の制御および机上面の明るさ（照度）の取得に要する時間が増加する。知的照明システムでは、照明の明るさ（光度）を変化させ、照度値の変化量を取得することで最適化を繰り返している。そのため、照明の制御および照度値の取得に要する時間が増加した場合、照明の最適な点灯パターンの探索に要する時間が大幅に増加することが考えられる。そこで本研究では、知的照明システム導入規模の拡大に伴う問題を解決するため、照明制御回数を削減する手法を提案する。

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することで構成される。知的照明システムでは各照明を制御対象とし、照度センサおよび電力計から得られる情報を基に、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ことで、最小の消費電力で各執務者の目標照度を実現する。制御に用いる目的関数を式(1)に示す。

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

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

n : 照度センサ数, w : 重み, P : 消費電力

I_c : 現在照度, I_t : 目標照度

目的関数 f は消費電力項 P と照度ペナルティ項 g_i からなり、この値を最小化することで最適な点灯パターンを探索する。

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合いに応じて照明の光度を変化させることで、より少ない探索回数で最適な点灯パターンを探索することができる。照明が照度センサに及

ぼす影響度合いは式(2)の関係式で表すことができ、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 R を影響度係数と呼ぶ。

$$E = RI \quad (2)$$

E : 照度, I : 光度, R : 影響度係数

3 照度収束までの照明制御回数の削減

従来の知的照明システムでは、最適化を20回から30回程度繰り返すことで各執務者の目標照度を実現している。しかし、知的照明システムの導入規模が拡大した場合、構成機器数が増加し、各照明の調光および各照度センサからの照度値取得に要する時間が従来よりも増加することが考えられる。照明の調光および照度値取得に要する時間が増加することで、最適解探索1回に要する時間が増加する。その結果、最適な点灯パターンの探索に要する時間が大幅に増加するという問題が生じる。

そこで本研究では、知的照明システム導入規模の拡大に伴う問題を解決するため、計算機上で最適化を繰り返し、探索した最適な点灯パターンを実環境の照明に反映することで、各執務者の目標照度を実現するまでの照明制御回数を削減する手法を提案する。計算機上で最適化を繰り返すため、照明の調光および照度センサからの照度値の取得に要する時間の増加を考慮することなく最適な点灯パターンを実現することが可能となる。

一方、計算機上で最適化を繰り返すためには、計算機以外の機器から情報を取得することなく目的関数を評価する必要がある。ここで、照明の光度と消費電力は比例関係にあるため、各照明の光度の和を求めることで、任意の点灯パターンにおける電力情報を推定することが可能である。また、照度と光度の関係式は式(2)のように表せるため、任意の点灯パターンにおける各照度センサ地点の照度は、式(2)を用いて照度シミュレーションを行うことで推定することが可能である。このように、任意の点灯パターンにおける電力情報および照度情報、電力計および照度センサから情報を取得することなく計算機上で推定し、それらの値を用いて最適化を繰り返すことで、最適な点灯パターンを探索する。

しかし、式(2)を利用した照度シミュレーションでは、各照明が各照度センサに与える照度値しか算出できず、外光照度を算出することができない。そこで提案手法では、照度センサより得られた実測照度と照度シミュレーションにより算出した推定照度の差を外光照度とする。

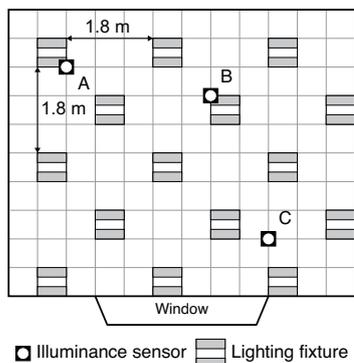


Fig. 1 実験環境 (平面図)

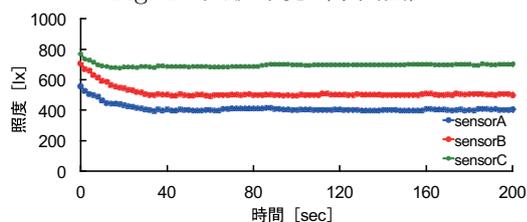


Fig. 2 従来手法の照度履歴 (外光なし)

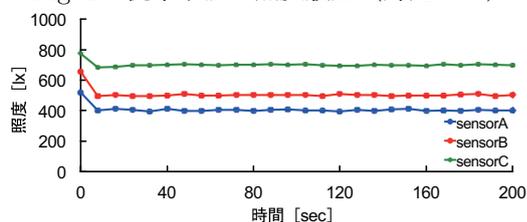


Fig. 3 提案手法の照度履歴 (外光なし)

そして、実際に執務者が設定した目標照度から推定した外光照度を減算し、この値を計算機上での目標照度とすることで、外光のある環境に対応する。

4 検証実験

4.1 実験概要および実験環境

外光のない環境において従来手法および提案手法を用いて照度収束実験を行い、照度収束までの照明制御回数を比較し提案手法の有効性を検証した。その後、外光のある環境において提案手法を用いた照度収束実験を行い、提案手法が外光の変化に対応可能かを検証した。なお、提案手法は大規模なオフィス環境での動作を想定する。ここで、大規模なオフィス環境として照明 1000 灯、照度センサ 600 台の環境を想定した場合、予備実験の結果から、照明の調光および照度値取得 1 回に要する時間は 8 秒程度であることを確認した。そのため提案手法では、照明制御 1 回に要する時間が 8 秒となるように、計算機上で最適化を繰り返す時間を設定した。

実験環境の平面図を図 1 に示す。実験には白色蛍光灯 15 灯、照度センサ 3 台を用いた。

4.2 外光のない環境における照度収束実験

従来手法および提案手法を用い、外光のない環境において照度収束実験を行った。照度センサ A, B, および C にはそれぞれ 400, 500, 700 lx の目標照度を設定し

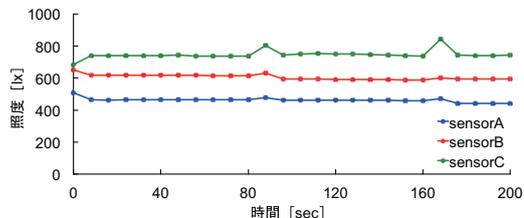


Fig. 4 提案手法の照度履歴 (外光あり)

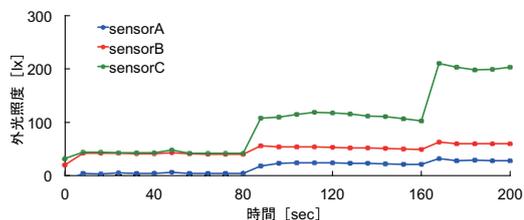


Fig. 5 外光照度履歴

た。従来手法の知的照明システムの照度履歴を図 2 に、提案手法の照度履歴を図 3 に示す。横軸は時間、縦軸は照度を表す。なお、図 2 および図 3 のプロット点は実際に照明を制御した時点を表している。

図 2 および図 3 から、従来手法は 30 回程度の照明制御で照度収束しているのに対し、提案手法では 1 回の照明制御で照度収束していることがわかる。この結果から、提案手法は従来手法と比べ、照度収束までの照明制御回数を大幅に削減していることを確認した。

4.3 外光のある環境における照度収束実験

提案手法が外光の変化に対応可能かを検証するため、提案手法を用い、外光のある環境における照度収束実験を行った。提案手法の照度履歴を図 4 に、またそのときの外光照度履歴を図 5 に示す。図 5 の外光照度の値は、照度センサより得られた実測照度と、照度シミュレーションにより求めた推定照度の差である。照度センサ A, B, および C にはそれぞれ 450, 600, 750 lx の目標照度を設定した。横軸は時間、縦軸は照度を表す。なお、図 4 および図 5 のプロット点は、実際に照明を制御した時点を表している。

図 5 より、実験開始後 80 秒時点、および 160 秒時点で外光照度が大きく変化していることがわかる。外光照度の変化に伴い、図 4 の照度履歴も一時的に高い照度値を示しているが、その後 1 回の照明制御で再び目標照度を実現していることがわかる。以上の結果より、提案手法は外光のある環境においても有効であることを確認した。

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.