

知的照明システムにおける照明光度とセンサ照度に関する影響度係数の 数理計画法を用いた推定

Estimation of Influence Level Coefficient between Luminous Intensity and Illuminance in the Intelligent Lighting System using Mathematical Programing

三木 光範[†] 榊原 佑樹^{*} 善 裕樹^{*} 吉田 健太^{*} 池上 久典^{*}
Mitsunori Miki Yuki Sakakibara Yuki Zen Kenta Yoshida Hisanori Ikegami

1. はじめに

我々はオフィス環境において、執務者の知的生産性の向上および省電力を目的とした知的照明システム [1] の研究を行っている。知的照明システムは、照明が照度センサに与える影響度合い（光度/照度影響度係数）を推定し、その値を基に各照明が自身の光度を変化させることで効率的に、要求された照度を最小の電力で実現する。

現在、実証実験のため知的照明システムを実オフィスに導入している [2]。ここではシステム導入時に 1 灯ずつ点灯・消灯を行って計測した光度/照度影響度係数を制御に用いている。光度/照度影響度係数は環境変化に伴い変化するので定期的な計測が望ましいが、この計測は点灯・消灯を繰り返すため実オフィスにおいて頻繁に影響度係数の測定を行うことは現実的でない。

そこで、本研究では知的照明システムの稼働ログデータから光度/照度影響度係数を推定する手法を提案し、検証実験によってその有効性を検証する。

2. 実オフィスにおける知的照明システムの課題

知的照明システムは調光可能な照明器具、照度センサおよび電力計をネットワークに接続して構成する。各照明は照度センサおよび電力計からの情報に基づき焼き鈍し法をベースに改良した適応的近傍アルゴリズム (ANA/RC) [2] を用いて制御する。ANA/RC では、照明光度がセンサ照度に与える影響度合い（光度/照度影響度係数）に基づいて各照明の光度変化に方向性を持たせることで、効率的に最適な点灯パターンを実現する。

一方、知的照明システムを実オフィスに導入した実証実験では、事前に照明を 1 灯ずつ点灯・消灯させて正確な光度/照度影響度係数を計測（以下、光度/照度影響度係数実測法）し、それらをデータベース化して制御している。光度/照度影響度係数実測法で求めた値は ANA/RC で推定した値のように誤差を含まないので、より適切な制御を行うことができる。光度/照度影響度係数実測法はシステム導入時に行い、以降はレイアウト変更まで更新されないが、オフィスでは衝立の設置や照明劣化等により環境変化が発生するため、定期的に光度/照度影響度係数を更新することが望ましい。しかし、点灯と消灯を繰り返すこの方法は執務者に不快な影響を与える可能性がある。

現実的ではない。

そこで本研究では、光度/照度影響度係数実測法を実施せずに光度/照度影響度係数を推定する手法を提案する。本手法は、知的照明システムの稼働ログデータ中の光度および照度から逐点法 [3] によって式 (1) の関係式を立式し、数理計画法を用いて光度/照度影響度係数を算出し更新を行う。

$$I = \sum_{k=1}^n R_k L_k \quad (1)$$

I : 照度 [lx], n : 照明数

R : 影響度係数 [lx/cd], L : 光度 [cd]

3. 数理計画法を用いた影響度係数推定

数理計画法を適用するため最適化問題として定義する。これは同時刻における照明光度とセンサ照度を 1 系列のデータとし、データ系列毎に式 (1) の左辺と右辺の差を二乗した目的関数を立式し、立式した目的関数の総和を単一の目的関数として最小化する光度/照度影響度係数を求める問題である。目的関数を式 (2) に示す。

この目的関数に対して数理計画法を用いることで影響度係数の推定が可能である。数理計画法の手法には最も有効とされている準ニュートン法を適用する。また、ヘッセ逆行列近似の更新公式には BFGS 公式を用いた。

$$\min \sum_{i=1}^d f_i(\mathbf{R}) \quad (2)$$

$$f_i(\mathbf{R}) = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{k=1}^n (R_{jk} L_{ik}) - I_{ij} \right)^2$$

R : 影響度係数 [lx/cd], d : データ系列, m : 照度センサ数

n : 照明数, I : 照度 [lx], L : 光度 [cd]

提案手法を用いて光度/照度影響度係数の推定を行う場合、全てのログデータを用いて推定はできない。知的照明システムの制御上、目標照度を実現している場合、あるいは実現していなくても照度が安定している場合は、各照明の光度値の変化が発生しない状態が続く。このような場合、出力されるログデータは毎回類似した値になる。類似したデータ系列を用いて推定を行った場合、類似したデータを用いた目的関数が立式され、ある特定のデータ系列に対して重み付けされた目的関数を最小化することとなる。すなわち、推定した光度/照度影響度係数は真値（影響度係数実測法により計測した値）とは異なる可能性がある。

よって、制御アルゴリズムに以下の処理を加える。

* 同志社大学大学院

[†] 同志社大学理工学部

