

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

1. 照明 i 番目をシステムの制御外に設定して光度変化の割合を決定し光度を変化させる
2. 光度値および照度値を光度/照度影響度係数推定用のログデータとして取得する
3. 照明 i 番目を元の光度に戻して従来の制御に加える
4. $i = i + 1$ として項目 1 へ

以上の処理は、照明の光度を 1 灯ずつ順に変化させることで推定に有効なログデータを生成する方法である。光度変化は現在の光度から $\pm 20\%$ 以内の範囲で変化させる。これは明るさの知覚変動に関する研究 [4] に基づく数値である。

4. 稼働ログデータを用いた影響度係数推定の検証実験

提案手法を用いた光度/照度影響度係数推定の有効性を検証する。Fig.1 に示す環境において照度収束実験を行う。目標照度への収束後、センサ C の前方に衝立を設置して環境を変化させる。環境変化後に 1 灯ずつ照明の光度を変化させ、取得した有効ログデータを用いて光度/照度影響度係数を推定する。その後、光度/照度影響度係数の更新を行うことで環境の変化に対応して制御可能であることを示す。実験室は 350 cd \sim 1000 cd まで調光可能な蛍光灯 15 灯、照度センサ 4 台を設置し、照度センサ A, B, C, および D に 300, 600, 500, および 700 lx の目標照度を設定した。

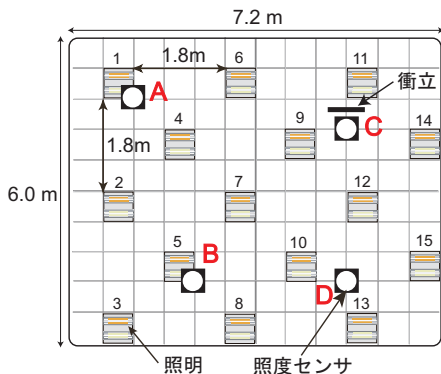


図1 実験環境 (平面図)

Fig.2 に環境変化後の照度センサ C における光度/照度影響度係数の実測値 (影響度係数実測法により計測した値) および推定値の上位 3 個を示す。Fig.2 の実測値と推定値の差の最大値および平均値はそれぞれ 38×10^{-3} , 8.6×10^{-3} lx/cd であり、これは照明が 1000 cd で点灯した場合にそれぞれ 38 lx, 8.6 lx の差が発生することを表している。

推定した影響度係数から算出した照度と実測した影響度係数から算出した照度 (それぞれ 1.0×10^4 パターンを算出) の平均照度差と最大照度差を Table 1 に示す。Table 1 から照度差は最大でセンサ D の 43 lx であることが分かる。この照度誤差は執務者にとって許容できるものであり [4], 十分な精度で影響度推定が可能であると言える。

また、Fig.3 に照度収束実験における衝立設置後の各照明の点灯状況を、Fig.4 に提案手法により光度/照度影響度係数を更新した後の各照明の点灯状況を示す。照明周辺の円は各照明の光度の大きさを示す。Fig.3 からは、衝立設置による遮光

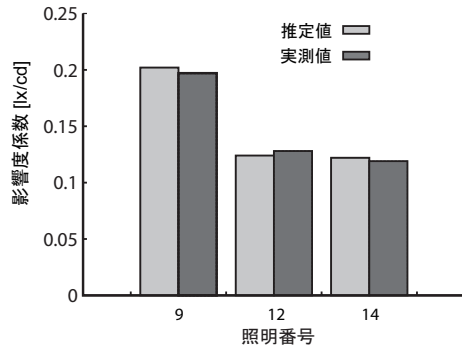


図2 センサ C における光度/照度影響度係数

表1 平均照度差および最大照度差

センサ	平均照度差 [lx]	最大照度差 [lx]
A	10	25
B	14	40
C	9	32
D	14	43

の影響でセンサ C との影響度が小さくなるため減光すべき照明 11 番の光度が大きいたことが分かる。これは、環境が変化したにもかかわらず光度/照度影響度係数が更新されていないため、目標照度を満たすべく増光した結果である。Fig.4 の結果からは、光度/照度影響度係数更新により照明 11 番とセンサ C の影響がないと判断したため、照明 11 番が減光し、最適な点灯パターンで点灯していることが確認できる。

以上のことから、提案手法を用いて光度/照度影響度係数を更新することで、常に最新の影響度係数を用いた知的照明システムの制御を行うことが可能となり、環境の変化に対応可能であることが分かった。

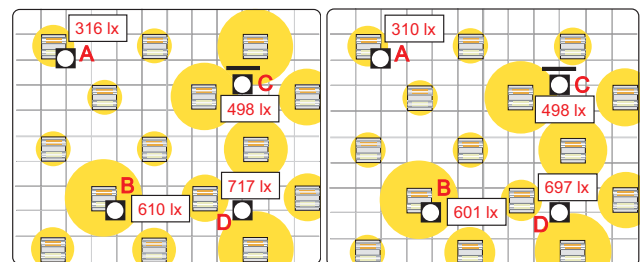


図3 衝立設置後の各照明の点灯状況

図4 光度/照度影響度係数更新後の各照明の点灯状況

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, pp.399-410, 2007
- [2] 三木光範, 加來史也, 廣安知之, 吉見真聡, 田中慎吾, 谷澤淳一, 西本龍生, 実オフィス環境における任意の場所にユーザが要求する照度を提供する知的照明システムの構築, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-D, pp.637-645, 2011
- [3] 照明学会, 照明ハンドブック, オーム社, 2003
- [4] 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