

知的照明システムにおける照明光度の照度センサに対する影響度学習の高速化 Fast Algorithm for Learning the Influence Level Coefficient between Luminous Intensity and Illuminance in an Intelligent Lighting System

三木 光範* 町田 啓悟* 間 博人* 松谷 和樹† 東 陽平†
Mitsunori Miki Keigo Machida Hiroto Aida Kazuki Matsutani Yohei Azuma

1. はじめに

近年、オフィスにおける執務者の快適性および知的生産性の向上に注目が集まっている。また、オフィス環境を改善することにより、知的生産性が向上すると報告されている [1]。そこで、我々の研究室では、オフィス環境において執務者の知的生産性向上と省エネルギー化を目的とした知的照明システムの研究を行っている [2]。

知的照明システムは、執務者の要求する明るさを制約条件とし、照明の消費電力を最小化する最適化手法により制御を行う。照明の明るさの制御には、各照明が各照度センサに与える影響を数値化した影響度（以後、照度/光度影響度と称する）を用いる。よって、正確な照度/光度影響度をより短時間で推定することで、執務者の要求する明るさをより高速に実現できると考えられる。そこで、本研究では照度センサ移動時における新たな照度/光度影響度を従来よりも素早く推定する手法を提案する。

2. 知的照明システム

2.1 知的照明システムの制御

知的照明システムの制御アルゴリズムは山登り法をベースとしている。各照度センサに個別に設定された目標照度、計測された現在照度ならびに現在の点灯状況での消費電力から、人に感知できない範囲で照明の光度を変化させ続ける。このような動的な制御を行うことにより、照度センサの移動といった環境の変化に対しても対応することができる。

さらに、知的照明システムは個別の照度環境を省電力で実現するために、各照明が各照度センサに与える影響を動的に求める。探索効率向上のため、照度/光度影響度は照明の光度変化量と照度センサの照度変化量の値による回帰分析から求める。

2.2 照度/光度影響度学習における課題

知的照明システムは各々の照明が、人に感知できない範囲で自律的に光度を変化させ続ける。それにより、執務者に要求された明るさを実現すると共に、各々の照明ごとに照度/光度影響度を推定している。なお、低光度の場合の大きな変化はちらつきの原因になるため、光度は絶対量ではなく相対量で変化させる。このため、点灯光度が低い照明は変化量が少なくなる。しかし、わずかな光度変化ではセンサの変化もわずかになるため、正確な照度/光度影響度の推定に多くのサンプルデータを必要とし、照度/光度影響度の推定に長時間を要する。

そこで、上記の課題を改善するための手法として、光度変化が大きくなるよう確率に重み付けを行う手法ならびに、照度/光度影響度を全ての照明の光度変化から推定する手法の 2 つを提案する。

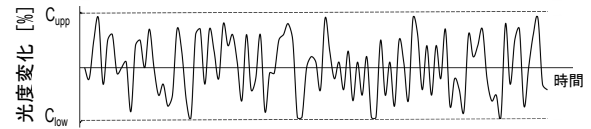


図 1: 光度変化の推移

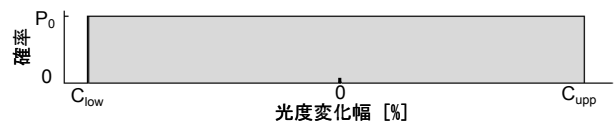


図 2: 一様近傍

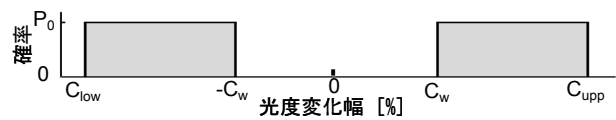


図 3: 一様中抜き近傍

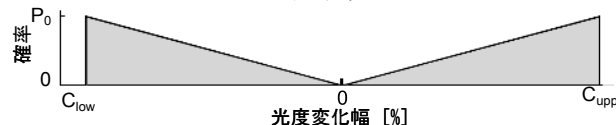


図 4: 三角近傍

3. 照度/光度影響度学習の高速化

3.1 提案する近傍設計

知的照明システムでは、図 1 に示すような光度変化幅によって光度を変化させ続けている。これは、図 2 に示すような一様な確率密度分布により生成している。そこで、本手法では新たに照度/光度影響度を推定する際、各照明の光度の変化が大きくなるよう確率に重み付けを行う。重み付けを行った確率密度分布の形状を図 3、図 4 に示す。以後、光度変化に図 3 の確率密度分布を中抜き近傍、図 4 を三角近傍と称する。

3.2 重回帰分析の導入

知的照明システムは自律分散制御の概念に基づき制御を行っている。分散制御のため各照明ごとに、各々の光度履歴と各照度センサの照度履歴から照度/光度影響度を推定する。このため、照度/光度影響度の推定には重回帰分析が用いられ、ある照度センサの照度を照明 1 台の光度変化とその他の外乱要素によって説明している。

そこで、本手法では室内すべての照明の光度変化により照度/光度影響度を推定する中央集中型の制御システムを提案する。全ての照明光度から、重回帰分析を用いて照度/光度影響度学習を行うことで精度向上を図る。

4. 実験および結果

4.1 実験環境

提案手法が様々な状況において照度センサ移動後の照度/光度影響度の推定に有効であるかを検証するため、シ

*同志社大学理工学部

†同志社大学大学院

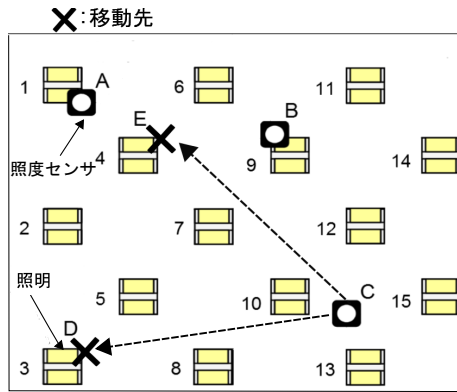


図 5: 実験環境（平面図）

シミュレーションによる評価実験を行った。なお、実験には照明を 15 台、照度センサを 3 台用いた。実験環境の平面図を図 5 に示す。

評価実験開始から 300 ステップ（1 ステップ 2 秒）後に照度センサ C を移動させると想定し、照度収束実験を行った。各照度センサの目標照度と照度センサ移動後の位置を表 1 に示す。なお、設定 1 は比較的目標照度が達成しやすい状況、設定 2 は照度センサが密集している状況、設定 3 はすべての目標照度を満たすことが困難な状況をそれぞれ想定している。

4.2 提案近傍の評価実験

提案する近傍設計と従来用いられている一様な近傍の比較実験を行った。なお、すべての近傍において $C_{upp}=10$, $C_{low}=-10$ とする。中抜き近傍の確率密度関数には、 $C_w=4, 6, 8$ の形状を用いる。従来の一様な近傍、中抜き近傍 3 つおよび三角近傍の、計 5 つの確率密度関数によって表 1 の 3 つの設定における照度収束実験を各設定ごと 50 回行った。なお、評価対象には目標照度を満たすまでに要した時間を用いる。これは、正確な照度/光度影響度をより速く推定することは照度収束の高速化につながるためである。目標照度の ± 50 lx を満たすまでに要した時間の平均を表 2 に示す。

表 2 より、中抜き近傍の $C_w=8$ の確率密度関数が最も照度収束が速いことがわかる。以後、提案近傍と称する場合、中抜き近傍の $C_w=8$ である確率密度関数を用いるとする。

表 1: シミュレーション条件

設定	目標照度 A	目標照度 B	目標照度 C	移動位置
1	400 lx	500 lx	700 lx	D
2	350 lx	500 lx	450 lx	E
3	350 lx	500 lx	650 lx	E

表 2: 提案する近傍設計の収束時間 [step](50 試行)

設定	一様	中抜き近傍			三角
		$C_w = 4$	$C_w = 6$	$C_w = 8$	
1	77	72	74	72	76
2	54	36	30	31	38
3	190	204	186	178	182

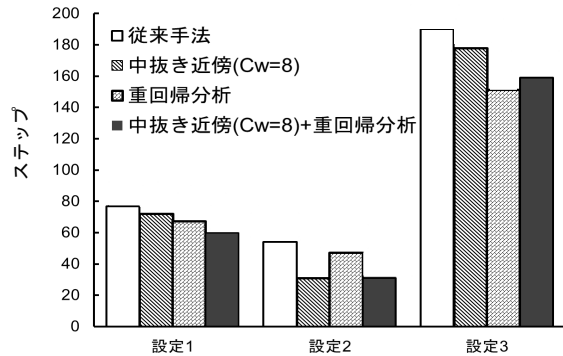


図 6: 照度収束ステップ数 (50 試行平均)

4.3 提案手法の評価実験

各照度センサの照度が目標照度を満たすまでの速度の観点から、以下に示す手法について比較を行った。

- 従来手法
- 中抜き近傍のみを用いた手法
- 重回帰分析のみを用いた手法
- 中抜き近傍および重回帰分析の両方を用いた手法

表 1 に示す 3 つの設定のシミュレーションにおいて各設定ごとに 50 回の試行を行う。照度センサ移動後に目標照度を満たすまでに要した時間を図 6 に示す。なお、すべての照度センサの取得照度が目標照度の ± 50 lx を満たした場合、照度が収束したと判断した。

重回帰分析と従来手法の比較を行う。図 6 より、すべての照度センサが要求照度を満たすまでに要した時間の平均は、3 つの設定とも重回帰分析が小さくなっている。より速く目標照度を実現できていることから、重回帰分析は照度/光度影響度の推定の高速化に有効であると考えられる。

次に、中抜き近傍および重回帰分析の両方を組み込んだ手法に注目する。両方を組み込んだ手法の照度収束時間は、設定 1, 3 は重回帰分析、設定 2 は中抜き近傍の収束時間と類似している。目標照度を満たすまでの時間が、より短い手法に影響を受けていることから、両方を組み込みこんだ手法は、それぞれのみの手法よりも速く目標照度を満たすことができる。

よって、本手法を用いることで、移動後における照度/光度影響度がより速く推定できるといえる。これにより、点灯パターンの最適化がより早く行われるため、消費電力もより削減できると考えられる。

参考文献

- [1] 大林史明, 富田和宏, 服部瑤子, 河内美佐, 下田宏, 石井裕剛, 寺野真明, 吉川榮和. オフィスワークの生産性向上のための環境制御法の研究 - 照明制御法の開発と実験の評価. ヒューマンインターフェースシンポジウム 2006, 2006
- [2] 三木光範. 知的照明システムと知的オフィスコンソーシアム. 人工知能学会, Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007