

ユーザの要求する照度および色温度を実現する知的照明システム ~ ユーザの位置座標の推定を用いた収束時間の高速化~ Intelligent Lighting System providing desired illuminance and color temperature distributions ~ Improvement in the convergence time using presumption of users' position~

三木 光範*1 加來 史也*2 廣安 知之*3
Mitsunori Miki Fumiya Kaku Tomoyuki Hiroyasu

*1同志社大学理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

*2同志社大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Doshisha University

*3同志社大学生命医科学部

Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University

In recent years, demands for an office environment that improves intellectual productivity have increased. In our previous researches, we have proposed an intelligent lighting system which provides the necessary illuminance and color temperature to desired locations. But, this system needs a few minutes until users' demands are realized. The algorithm for the improvement in the convergence time is proposed in this paper.

1. はじめに

近年、オフィス環境を改善することでオフィスワークの知的生産性の向上を求める声が高まっており、これまで明るさなどの光環境の改善に関する研究が行われている。さらに、ユーザにとって適切な明るさ（照度）や光の色（色温度）を提供することで、知的生産性が向上するという報告もなされている[大林 06, 橋本 04]。

このような背景から、照度および色温度を個別制御する知的照明システムが提案されている[芦辺 08]。このシステムは、各照明の点灯の強さ（光度）を変化させ、その際の照度や色温度の評価を行うことで、徐々にユーザの要求する照度および色温度に近づける。この手法では、光度変化量および照度変化量の相関係数によりユーザの現在位置を推定する手法を用いており、ユーザの要求を実現するまでに数分間の探索時間が必要となる[芦辺 08]。そこで、より少ない探索時間でユーザの要求を実現するために、回帰分析を用いて各ユーザの現在位置を推定し、その情報を基に全ての照明の光度（以下、点灯パターンと呼称する）を算出し、調光する手法を提案する。

本報告では、ユーザの現在位置の推定手法、位置座標を用いてユーザの要求を実現する点灯パターンの生成手法、およびその実験結果について述べる。

2. 照度、色温度および光度の関係

ユーザの要求する照度および色温度を基に各照明の光度を決定するために、照度と光度、および色温度と光度の関係を把握することが必要となる。

照度と光度は、逐点法[オーム社 03]により、以下のような関係性があることがわかる。

- 照度は、照明の光度に比例し、照明からの距離に反比例する
- 全体の照度は、各照明による照度の和である

また、色温度と光度の関係を検討するため、予備実験を行った。なお、光源として白色蛍光灯（色温度 4500K）と電球色蛍光灯（色温度 2800K）を用いた。以下に、予備実験より得られた結果を示す。

- 色温度は、白色蛍光灯による照度と電球色蛍光灯による照度の比で近似的に決定できる

以上の結果より、白色蛍光灯による照度と電球色蛍光灯による照度を適切な比率で提供することで、ユーザの要求を実現できると考えられる。それらの照度を実現するために必要な光度を算出するには、照明と照度センサ間の距離の把握が必要となる。

この距離を把握するには、照明および照度センサの位置座標が必要となる。照明の位置座標は、施工時の設計図面等から読み取り可能である。しかし、照度センサの位置座標をハードウェアを用いて測定することは容易ではなく、ソフトウェアを用いて照度センサの位置座標の推定を行う必要がある。

3. ユーザの位置座標の推定手法

照明の位置座標、および照明と照度センサ間の距離を組み合わせることで、照度センサの位置座標を推定する。

ある一定の光度で点灯している照明下における照度は、照明との距離に反比例するため、光度の変化量と照度の変化量から距離が推定可能である。そこで、全照明のうちの一部の照明の光度を1灯ずつ変化させ、その際の各照度センサにおける照度の変化量から、関係した照明と照度センサ間の距離を式(1)より算出する。

$$L = a + b * \sqrt{\frac{\Delta l}{\Delta i}} + c * \frac{\Delta l}{\Delta i} \quad (1)$$

a, b, c : 定数

L : 距離

Δl : 光度変化量 Δi : 照度変化量

連絡先: 加來史也, 同志社大学大学院,
京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924,
fkaku@mikilab.doshisha.ac.jp

なお、式(1)は、予備実験において照明1灯、照度センサ1灯の条件で得られる照度、光度、および距離のデータを、距離に

ついて重回帰分析を行って得たものである。予備実験では、光度を10%から100%まで5%刻みで変化させ、かつ照明と照度センサ間の距離を0mから5mまで0.1m刻みで変化させた。

以上の処理により、算出した距離、および照明の位置座標から照度センサの推定位置座標が図1のように示される。照度

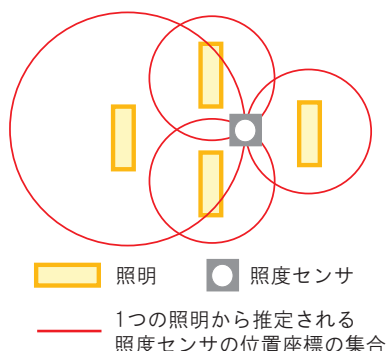


図1: 照度センサの位置座標の推定

センサは各照明ごとに推定される位置座標の集合の交点に存在するため、これらの推定位置座標の集合の交点が照度センサの位置座標となる。

しかし、実際には推定距離と実測距離に誤差が生じるため、全ての推定位置座標の集合が1点で交わるとは限らない。このため、全ての推定位置座標の集合について自身以外との交点を算出し、照度センサの位置座標として有効と考えられる交点集合の重心を照度センサの位置座標とする。

4. ユーザの要求を実現する点灯パターンの生成手法

4.1 提案手法の概要

ユーザの要求を実現するために必要な点灯パターンを、ユーザの位置座標を基に、生成する手法について述べる。

第2章で述べた照度、色温度および光度の関係を基に、ユーザの要求を実現するために必要となる白色蛍光灯による照度と電球色蛍光灯による照度を算出する。さらに、照明およびユーザの位置座標に基づき、白色蛍光灯の点灯パターンおよび電球色蛍光灯の点灯パターンを生成し、組み合わせることでユーザの要求を実現する点灯パターンを生成する。

4.2 ユーザの要求を実現する点灯パターンの生成

目標照度を実現する点灯パターンの生成方法について、具体的な処理の流れを以下に示す。

1. 照明と照度センサ間の距離を算出する
2. 各照明は、照度センサとの距離に近い順に、目標照度に基づいて照明の光度を算出する
3. 目標照度が実現されるまで、処理2を繰り返す

処理2で求める光度は、式(2)を用いて目標照度および照度センサとの距離から算出する。

$$B = a + I * L^3 / (b * L^2 + c * L + d) \quad (2)$$

a, b, c, d : 定数

B : 光度 L : 距離

I : 目標照度

なお、式(2)は、式(1)と同様のデータを光度について重回帰分析を行って得たものである。

この処理を、白色蛍光灯と電球色蛍光灯で独立して行い、白色蛍光灯の点灯パターンと電球色蛍光灯の点灯パターンをそれぞれ生成する。そして、2つの点灯パターンを組み合わせることで、目標照度と目標色度を実現する点灯パターンを生成する。

4.3 複数のユーザの要求を実現する点灯パターンの生成

複数のユーザの要求を同時に実現する場合は、各々の要求を実現する点灯パターンをその照度分布に応じて補正し、組み合わせる。具体的な処理の流れを以下に示す。

1. 4.2節の手法を用い、各ユーザの要求を実現する点灯パターンをそれぞれ生成する
2. 各点灯パターンで照明が点灯した際の全ての照度センサの位置における照度を推定する
3. 処理2の結果を基に、各点灯パターンの補正比率を算出する
4. 補正比率に応じて各点灯パターンを補正する
5. 全ての点灯パターンを加算する

以上の処理を行うことで、複数のユーザに要求を実現する点灯パターンを生成する。

処理2で求める照度は、式(3)を用いて光度および照明と照度センサ間の距離から推定する..

$$I = a + b * B + c * B / L + d * B / L^2 + e * B / L^3 \quad (3)$$

a, b, c, d, e : 定数

B : 光度 I : 照度 L : 距離

なお、式(3)は、式(1)と同様のデータを照度について重回帰分析を行って得たものである。

処理3で求める補正比率 r は、式(4)を用いて算出する。式(4)を各点灯パターンごとに生成し、連立方程式として解くことで補正比率 r を算出する。

$$\sum_{j=1}^n r_j * I_{jk} = I_k \quad (4)$$

n : 照度センサの数

r_j : 点灯パターン j の補正比率

I_{jk} : 点灯パターン j による照度センサ k における照度

I_k : 照度センサ k の目標照度

以上の処理によって、複数のユーザの要求を実現する点灯パターンを近似的に生成する。

4.4 最適化アルゴリズムの利用

提案手法では、天井や壁からの反射光や外光などの外的要因による影響を考慮しておらず、それらの影響によってユーザの要求が実現できない場合がある。そこで、生成した点灯パターンで照明を点灯させた後、知的照明システムの最適化アルゴリズム [芦辺 08] を用いることで、これらの外的要因による影響を補正する。

5. 提案手法の検証

提案手法により生成した点灯パターンの有効性の検証, および提案手法と既存手法との探索時間の比較を行う. また, 生成した点灯パターンを用いて知的照明システムの最適化アルゴリズムを動作させた際の照度および色温度の収束状況を検証する.

5.1 実験環境

9.0m × 9.6m の実験領域に, 光源として色温度 4500K の白色蛍光灯 15 灯, および色温度 2800K の電球色蛍光灯 15 灯を設置し, 図 2 に示す A 点, B 点, C 点に色彩照度センサを設置する. そして, 各色彩照度センサに表 1 のように目標とする照度および色温度を設定する.

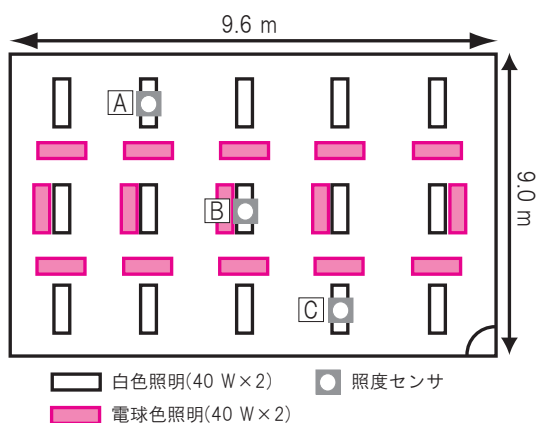


図 2: 実験環境

表 1: 目標設定

	目標照度 [lx]	目標色温度 [K]
A 点	700	4200
B 点	900	3700
C 点	600	3300

5.2 生成した点灯パターンの検証

提案手法を用いて生成した点灯パターンによる各点における照度および色温度を表 2 に示す. 表 2 に示すように, 実現照

表 2: 実現照度および実現色温度

	実現照度 [lx]	実現色温度 [K]
A 点	680	4221
B 点	873	3772
C 点	568	3266

度と目標照度との平均誤差は 23 lx, 最大誤差は 31 lx であった. また, 実現色温度と目標色温度との平均誤差は 53 K, 最大誤差は 72 K であった. 人間は, 50 lx 程度の照度差を認知できないとされている [鹿倉 01]. また, 100 K 程度の色温度差は認知できないと考えられる. このことから, 生成した点灯

パターンがユーザの要求する照度および色温度を実現していることが確認できた.

5.3 既存手法との比較

従来の知的照明システムの最適化アルゴリズム [芦辺 08] (以下, 従来手法と呼称する), および提案手法によって生成した点灯パターンを用いた最適化アルゴリズム (以下, 提案手法と呼称する) の照度および色温度の収束状況を検証し, ユーザの要求を実現するまでの探索時間の比較を行う.

提案手法を用いた場合の照度履歴を図 3 に, 用いなかった場合の照度履歴を図 4 にそれぞれ示す. 横軸は時間 [秒], 縦軸は照度 [lx] を表す.

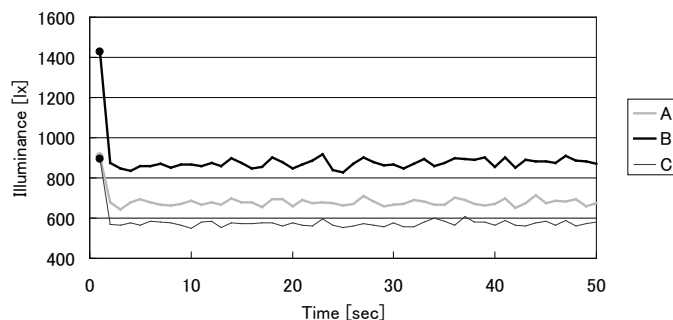


図 3: 提案手法による照度履歴

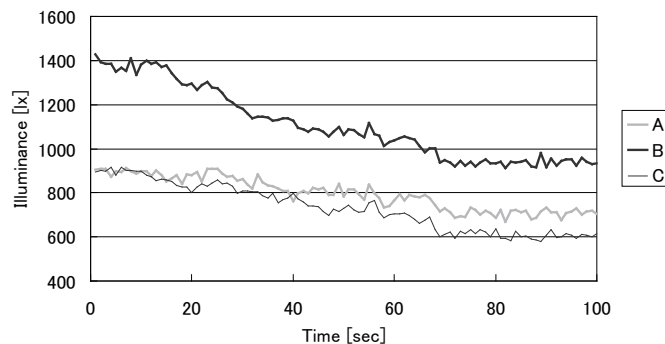


図 4: 既存手法による照度履歴

提案手法では, 図 3 に示すように, 生成した点灯パターンの段階で既に全ての点において目標照度を実現している. 一方, 従来の最適化アルゴリズムでは, 図 4 に示すように, 全ての点において目標照度を実現するまでに, 80 秒程度要している. このことから, 提案手法によって生成した点灯パターンを用いた最適化アルゴリズムが従来手法よりも少ない探索時間でユーザの要求する照度を実現できることが確認できた.

提案手法を用いた場合の色温度履歴を図 5 に, 用いなかった場合の色温度履歴を図 6 にそれぞれ示す. 横軸は時間 [秒], 縦軸は色温度 [K] を表す.

提案手法によって生成した点灯パターンを用いた最適化アルゴリズムでは, 図 5 に示すように, 生成した点灯パターンの段階で既に全ての点において目標色温度を実現している. 一方, 従来の最適化アルゴリズムでは, 図 6 に示すように, 全ての点において目標色温度を実現するまでに, 200 秒程度要している. このことから, 提案手法によって生成した点灯パターンを

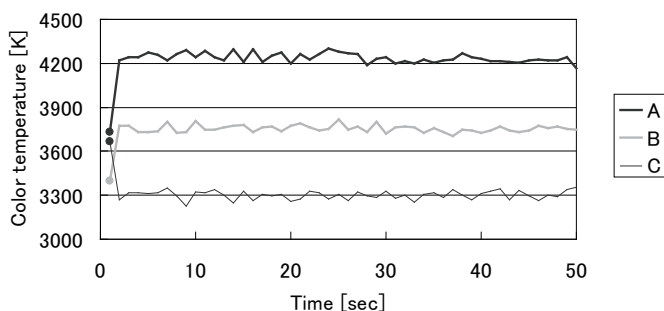


図 5: 提案手法による色温度履歴

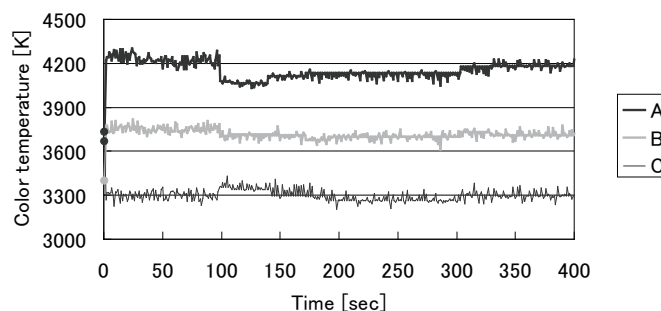


図 8: 色温度履歴

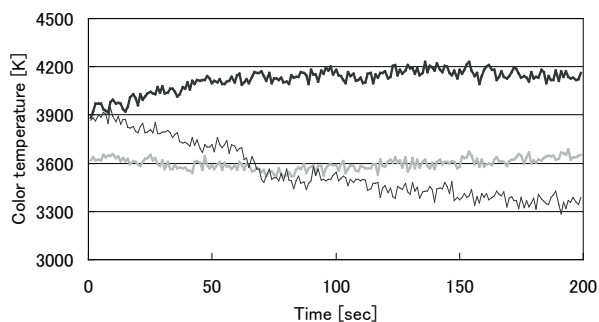


図 6: 既存手法による色温度履歴

用いた最適化アルゴリズムが従来手法よりも少ない探索時間でユーザの要求する色温度を実現できることが確認できた。

以上の結果から、提案手法が、従来手法よりも探索時間の観点において優れていることが確認できた。

5.4 外的要因による影響が生じた場合の検証

生成した点灯パターンで照明を点灯させてから 100 秒後に、部屋全体に 150[lx], 3800[K] の外光が加わったケースを想定し、その際の照度および色温度の収束状況を検証する。

図 7 に照度履歴を示す。横軸は時間 [秒], 縦軸は照度 [lx] を表す。図 7 より、外光の影響により 100 秒後に全ての点にお

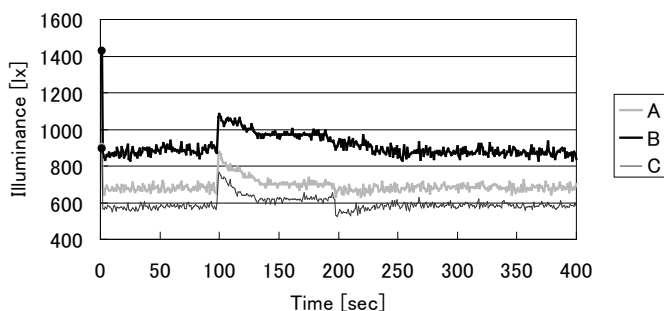


図 7: 照度履歴

いて目標照度と誤差が生じている。しかし、その後 100 秒程度で再び目標照度に収束している。

また、図 8 に色温度履歴を示す。横軸は時間 [秒], 縦軸は色温度 [K] を表す。図 8 より、外光の影響により 100 秒後に A

点および B 点において目標色温度と誤差が生じている。しかし、その後 200 秒程度で再び目標色温度に収束している。

以上の 2 つの実験結果から、提案手法を用いた知的照明システムが、外的要因による影響が加わっても、ユーザの要求を実現できることが確認できた。

6. まとめ

本報告では、従来手法よりも少ない探索時間でユーザの要求を実現するために、各ユーザの現在位置を推定し、その情報を基に各照明の光度を算出し、調光する手法を提案した。システムの評価実験により、提案手法が従来手法よりも少ない探索時間でユーザの要求を実現できることが確認できた。

参考文献

- [大林 06] 大林史明ら, 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的評価, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2006, vol.1, N0.1322, pp.151-156, 2006.
- [橋本 04] 橋本哲ら, 室内環境の改善による生産性向上に関する調査研究, 空気調和・衛生工学会論文集, N0.93, pp.67-76, 2004.
- [芦辺 08] 芦辺 麻子ら, 知的照明システムにおける照度と色温度の個別分散制御, 情報処理学会研究報告, vol.2008, N0.126(2008/12/17,18), pp.69-72, 2008.
- [オーム社 03] 社団法人照明学会, 照明ハンドブック, オーム社, pp.74-76, 2003.
- [鹿倉 01] 鹿倉智明ら, オフィス照明環境における明るさ変動知覚に関する研究, J.II lum.Engng.Inst.Jpn, vol.85, N0.5, pp.346-351, 2001.