

知的照明システムのための初期光度生成アルゴリズム

加来 史也

1 はじめに

近年、オフィス環境を改善することによるオフィスワーカーの知的生産性、創造性の向上を求める声が高まっている。¹⁾ このような背景から、本研究室では任意の場所に任意の照度や光色を提供することで、各個人に最適な光環境を実現する知的照明システムの研究開発を行っている。²⁾

知的照明システムは、各照明の光度を最適化アルゴリズムに基づいて自律分散的に制御することにより、任意の場所に任意の照度や光色を提供する。しかしながら、現行のアルゴリズムは、目標照度や光色に関わらず初期光度が一定であり、その光度から最適化を行うため、目標の実現に時間がかかる。そこで、より迅速な光環境の実現のために、目標照度や光色に応じた点灯パターンを予め生成し、その光度から最適化を行うシステムの実現を目指す。

本報告では、目標に応じた初期点灯パターンの生成アルゴリズムを提案する。そして、提案アルゴリズムによる生成した点灯パターンと、最適化による点灯パターンの比較を行い、提案アルゴリズムの有効性を検証する。

2 目標に応じた初期点灯パターンの生成アルゴリズム

2.1 目標照度および光色の実現方法

2.1.1 照度と光色の特徴

照度は、単位面積あたりに照射される光量を表し、各照明の光度に比例する。このため、目標照度は各照明の光度を制御することにより実現できる。

一方、光色は、白色照明、電球色照明および RGB 照明など、複数の光色の異なる照明から得られる照度の比率に応じて決定される。このため、目標の光色は光色の異なる照明間による照度の比率を制御することにより実現できる。光色は、様々な単位で表現されるが、本報告では uv 色度 (以下、色度) を用いる。

なお、本アルゴリズムでは、光源として白色照明および電球色照明を用いることを想定している。

2.1.2 uv 色度による目標照度および光色の実現

光色を制御するには、白色照明による照度と電球色照明による照度が必要である。

本報告では、色度を利用して、白色照明および電球色照明による照度を算出する。色度には、白色照明による照度と電球色照明による照度の比率で、それぞれの色度を内分することによって決定される性質がある。この性質を逆に利用し、目標色度から、目標照度を白色照明による照度と電球色照明による照度に二分する。

そして、白色照明および電球色照明による照度を実現する点灯パターンを生成し、これらを加算することで、目標照度と目標色度を同時に実現する点灯パターンを生成する。

2.2 目標照度および色度の実現のためのアルゴリズム

2.2.1 目標を実現する点灯パターン

目標を実現する点灯パターンを生成するアルゴリズムのフローチャートを Fig. 1 に示す。

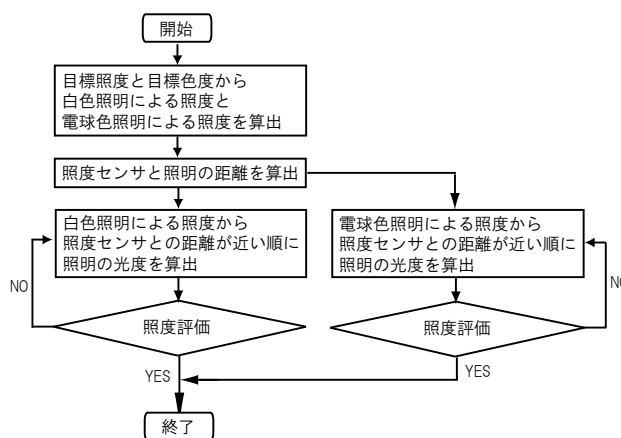


Fig.1 目標を実現する点灯パターンの生成 (出展：自作)

Fig. 1 に示すように、まず、白色照明による照度および電球色照明による照度を前述の手法により算出する。

照度センサと各照明との距離を算出する。この照度センサと照明間の距離の算出手法については 2.2.2 項で述べる。

照度センサとの距離が最も近い照明の光度を式 (1) より算出する。なお、式 (1) は、予備実験により測定した照度データについて重回帰分析を行って得られた式である。

$$cd = a + ilm * dis^3 / (b * dis^2 + c * dis + d) \quad (1)$$

a, b, c, d : 定数
cd : 光度 ilm : 照度 dis : 距離

算出した光度で目標照度が満たせないと判断できる場合、その次に照度センサとの距離が近い照明の光度も同様に算出する。この処理を目標照度が実現できるまで繰り返し、目標照度を実現する点灯パターンを算出する。

この処理を、白色照明と電球色照明それぞれで行い、白色照明の点灯パターンと電球色照明の点灯パターンを生成する。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。

2.2.2 照度センサと照明間の距離の推定方法

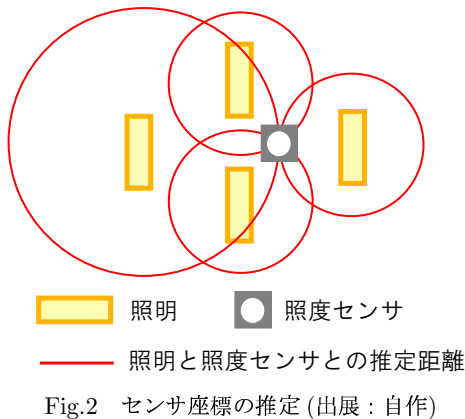
2.2.1 節で述べたアルゴリズムには、照度センサと照明との距離が必要である。しかし、実環境では照度センサと照明との距離は明確に判明しない。そのため、各照明を1灯ずつ光度変化させ、その際の各照度センサの照度変化から、照明と照度センサ間の距離を式(2)より推定する。式(2)は、予備実験により測定した照度データについて重回帰分析を行って得られた式である。

$$dis = a + b * cd + c * (cd/ilm)^{0.5} + d * cd/ilm \quad (2)$$

a, b, c, d : 定数
 cd : 光度 ilm : 照度 dis : 距離

しかし、上記の手法では、全ての照明について照明と照度センサとの距離を推定するために照明数×1秒の時間がかかる。そこで本報告では、照明の位置座標を利用し、以下で述べる手法を用いて照度センサと照明との距離を算出する。

まず、任意の4つの照明について式(2)を用いて距離を推定する。そして、Fig. 2に示すように照明座標を中心点とし、推定距離から照明の高さを除いた推定水平面距離を半径とする4つの円を生成する。照度センサはこれらの円の円周上に存在するため、円同士の交点が照度センサの座標となる。



しかし、実際には推定距離と実測距離との誤差のため、必ずしも全ての円の交点が1点になるわけではない。このため、全ての円について他の円との交点を算出し、照度センサ座標として有効と思われる交点の集合の重心を照度センサの座標とする。そして、その座標を基に照度センサと照明との距離を算出する。

2.2.3 複数の目標を実現する点灯パターン

複数の目標を実現する点灯パターンの生成には、各目標を実現する点灯パターンを、照度センサに対する影響度合いに応じて補正し、組み合わせる手法を用いる。具体的な処理の流れを以下に示す。

1. 各目標を実現する点灯パターンをそれぞれ生成
2. 各点灯パターンにおける、照度センサの照度を推定
3. 照度センサに対する影響度合いに応じて、各点灯パターンの減光比率を算出

4. 各点灯パターンを減光比率に応じて減光した後、加算

なお、2の照度の算出には、式(3)を用いる。式(3)は、予備実験により測定した照度データについて重回帰分析を行って得られた式である。

$$ilm = a + b * cd + c * cd/dis + d * cd/dis^2 + e * cd/dis^3 \quad (3)$$

a, b, c, d, e : 定数

cd : 光度 ilm : 照度 dis : 距離

3の減光比率の算出には、式(4)を用いる。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、減光比率 X_n を算出する。

$$目標 y = \sum_{i=1}^n X_i * 目標 i \text{ を満たす点灯パターンの照度センサ } y \text{ における照度} \quad (4)$$

なお、4の処理の際、最大光度を上回る、または最小光度を下回る点灯パターンが生成されることがある。その際は、規定範囲外の光度が各照度センサに及ぼす照度を式(3)より算出し、その照度を他の照明の光度を制御することで補い、光度を規定範囲内に収めている

以上の処理によって、目標照度および目標色度を実現する初期点灯パターンが生成できる。

3 提案アルゴリズムの検証

3.1 実験環境

2章で述べたアルゴリズムにより算出した点灯パターンについて、シミュレータを用いて検証を行った。実験環境をFig. 3に示す。

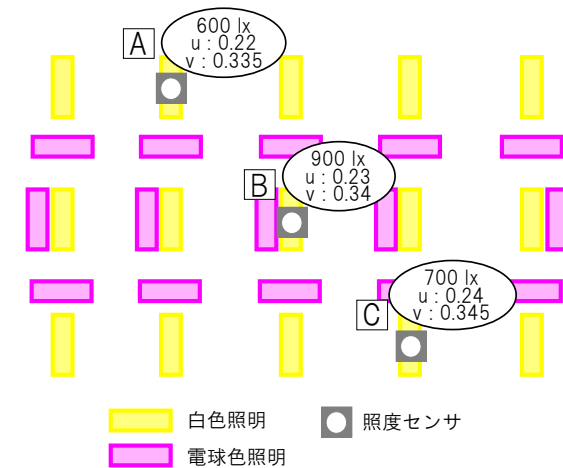


Fig.3 実験環境 (出展：自作)

Fig. 3に示す通り、光源として白色照明15灯と電球色照明15灯を用い、照度センサを3基設置した。そして、A点の目標照度を600 lx、目標色度 u を0.220、目標色度 v を0.335とし、B点の目標照度を900 lx、目標色度 u を0.230、目標色度 v を0.340とし、C点の目標照度を700 lx、目標色度 u を0.240、目標色度 v を0.345とし、検証実験を行った。

3.2 生成した解の検証

提案アルゴリズムによる光度分布図と最適化による光度分布図を Fig. 4 に示す。



(1) 提案アルゴリズムによる光度分布



(2) 最適化による光度分布

Fig.4 光度分布の比較 (出展：自作)

Fig. 4(1) に示す提案アルゴリズムによる光度分布は、照度センサのある A 点、B 点および C 点付近の照明の光度が高く、それ以外の照明の光度が低くなっている。そして、Fig. 4(2) に示した最適化による光度分布と比較すると、ほぼ同じ光度分布になっている。このことから、提案したアルゴリズムによる点灯パターンが初期光度として有効であると考えられる。

そして、提案アルゴリズムによる点灯パターンでは、A 点における照度は 597 lx、B 点における照度は 906 lx、C 点における照度は 641 lx であり、目標照度との平均誤差は 21 lx、最大誤差は 59 lx であった。また、A 点における色度 u は 0.2195、B 点における色度 u は 0.2299、C 点における色度 u は 0.2391 であり、目標色度 u との平均誤差は 0.0005、最大誤差は 0.0009 であった。また、A 点における色度 v は 0.3344、B 点における色度 v は 0.3394、C 点における色度 v は 0.3438 であり、目標色度 v との平均誤差は 0.0008、最大誤差は 0.0012 であった。

4 まとめと今後の展望

本報告では、目標に応じた初期点灯パターンを生成するアルゴリズムを提案した。そして、提案したアルゴリズムによる初期点灯パターンが、最適化による点灯パターンとほぼ同じ光度分布になっており、初期光度として有効であることを示した。

今後は、重回帰式や距離推定の手法を改良することに

よる点灯パターンの精度の向上や、実環境での提案アルゴリズムの検証などを行う

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改善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, No.1322, pp.151-156, 2006
- 2) 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(2007), pp.399-410, 2007