

数理計画法を用いて個別照度を実現する照明制御アルゴリズム

吉田 健太

1 はじめに

我々はオフィスにおける照明環境の改善と消費電力を削減するために分散制御照明システム (以下, 知的照明システム) の研究を行っている¹⁾。知的照明システムは制御装置が搭載された照明器具, 照度センサ, および電力計から構成される。知的照明システムでは各オフィスワークが要求する照度を満たし, かつ電力が最小となる点灯パターンを実現する。

現在, 知的照明システムはシステムの実用化に向けて東京都内の複数のオフィスにおいてプロトタイプを導入し, 実証実験を行っている。照明の制御アルゴリズムには山登り法をベースとして改良を加えた進化的アルゴリズムを用いている。進化的アルゴリズムを用いることで外光の変化にも柔軟に対応することができる。

本論文では, 外光を推定し, シミュレーション環境によって最適化を行いその結果を反映させることで, 外光のある状況においても瞬時に目標照度を実現する制御アルゴリズムを提案する。

2 知的照明システム

知的照明システムとは任意の場所にオフィスワークの要求する照度を実現するシステムである。知的照明システムは照明の制御に適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC) を用いている²⁾。ANA/RC は各照明が各照度センサに及ぼす影響度に応じて光度を適切に変化させることで, より少ない探索回数で最適な光度へ変化させることができる。照度センサに及ぼす照明の影響は式 (1) のような関係式で表すことができる。また, 照明環境が変化しない限り R は定数とみなすことができる。以後, この定数 R を影響度係数と呼ぶ。

$$E = RI \tag{1}$$

E : 照度 [lx], I : 光度 [cd], R : 影響度係数 [lx/cd]

対象とする環境において, 照明を 1 灯ずつ点滅させることで, その際の照度センサで計測する照度変化量と照明の光度変化量をもとに影響度係数を求めることができる。また, 事前に求めた影響度係数と, 各照明の光度を掛け合わせたものの総和が照度センサの照度値となる。

3 数理計画法を用いた制御アルゴリズム

知的照明システムの問題を最適化問題として定式化すると式 (2) のようになる。

$$f_i = P + \sum_{j=1}^n g_j \tag{2}$$

$$g_j = \begin{cases} 0 & (Ic_j - It_j) \geq 0 \\ (Ic_j - It_j)^2 & (Ic_j - It_j) < 0 \end{cases} \tag{3}$$

P : 消費電力量 [W], ω : 重み, I_c : 現在照度 [lx]

I_t : 目標照度 [lx], i : 照明番号, n : 照度センサ数

設計変数を照明鉛直下方の光度 L , 最小化対象を消費電力量 P とする。目的関数 f_i は消費電力量 P と照度センサ j の目標照度に関する制約を表現するペナルティ項 g_j からなる。ペナルティ項 g_j は, 目標照度が満たされない場合に目標照度と照度との照度差の 2 乗を加算する。また, ペナルティ項 g_j には重み ω を乗算しており, 重み ω によって目標照度への収束を優先するか, 消費電力量の最小化を優先するかを決定することが可能となる。

この目的関数は消費電力量と照度に関するペナルティ項により表現されており, 設計変数で表現されていない。数理計画法による制御アルゴリズムを用いるためには, 目的関数を設計変数である光度の関数で表現する必要がある。

光度と消費電力量の関係を Fig.1 に示す。

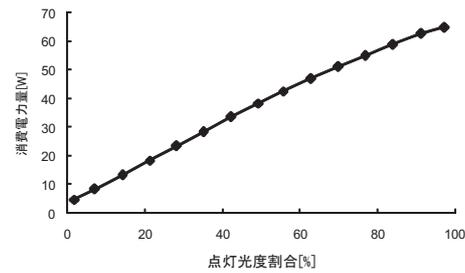


Fig.1 光度と消費電力量の関係

Fig.1 から光度と照明の消費電力量は 1 次式により近似可能であることが分かる。よって, 複数の照明機器によって構成される場合の知的照明システムの消費電力量は式 (4) で表し, 設計変数による表現が可能となる。式 (4) の係数 α および定数項 β は照明ごとに固有の値である。

$$P \simeq \sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot L_i) + \beta \tag{4}$$

P : 消費電力量 [W], n : 照明数

α : 係数 [W/cd] β : 定数項 [W] L : 光度

一方, 照度に関するペナルティ項は, 式 (1) に示す影響度係数を用いることによって光度の関数で表現可能となる。

以上で, 目的関数を設計変数についての関数で表現することが可能となった。また, 消費電力は光度に関する 1 次式, 照度に関するペナルティ項は光度に関する 2 次式であり, 目的関数は設計変数に関して 2 次関数である。そのため, 照明台数分の多変数 2 次関数となる目的関数

は単峰性である。

以上のことから、制御アルゴリズムとして数理計画法を用いるための条件を満たし、実装することが可能となった。

また、外光は照度センサの実測照度と影響度係数から算出した照度の差として求めることができる。そのため、目標照度から外光の推定値を減算することで、外光のある状況においても、数理計画法を用いて照明の光度を求めることが可能となる。

4 検証実験

数理計画法を用いて個別照度を実現可能か検証する。実験環境を Fig.2 に示す。Fig.2 に示すように、照明 15 台、照度センサ 3 台の環境で照度収束実験を行った。照度センサ A, B, および C にはそれぞれ 300, 700, および 500 lx の目標照度を設定する。また、実験の途中で外光としてランプを照度センサ C に点灯する。本論文では、数理計画法として、準ニュートン法を用いた。

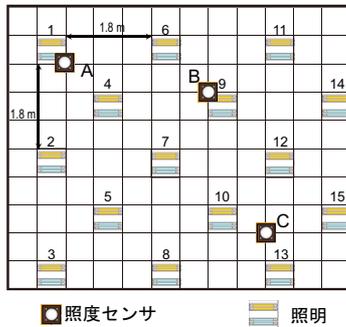


Fig.2 実験環境（平面図）

目標照度値と実測照度値を Table1 に、光度状況を 3 に示す。人間は ± 50 lx 以内の範囲であれば明るさの変化を感じにくいことから知的照明システムでは実測照度と目標照度の差が ± 50 lx 以内であれば目標照度を満たしていると定義する。よって Table1 の目標照度と実測照度の照度差は最大で 5 lx であるため、すべての照度センサに対して目標照度を満たしていると言える。

Table1 目標照度値と実測照度値の比較

	目標照度 [lx]	実測照度 [lx]
センサ A	300	298
センサ B	600	595
センサ C	500	498

次に、ランプを用いて照度センサ C に 200 lx の外光を与える。この際に、目標照度を実現可能か確認する。目標照度値と実測照度値を Table2 に、光度状況を 4 に示す。

Table2 に示すように、目標照度と実測照度の誤差は最大 33 lx であることから、目標照度を満たしていることが確認される。提案手法によって外光のある状況においても瞬時に目標照度を実現することを確認した。今後の課題として、照明の劣化により影響度係数の値が変化し

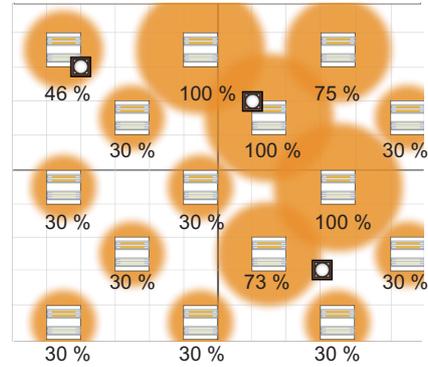


Fig.3 光度状況

Table2 目標照度値と実測照度値の比較

	目標照度 [lx]	実測照度 [lx]
センサ A	300	298
センサ B	600	584
センサ C	500	533

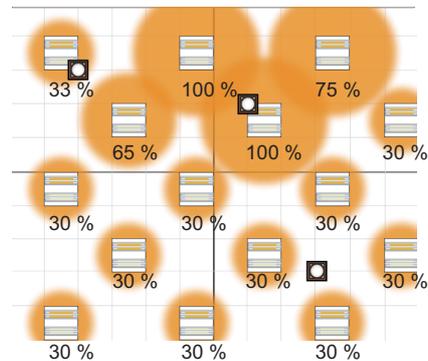


Fig.4 光度状況（外光あり）

た場合の対応が必要になると考えられる。この課題の対応方法として、我々の研究室で取り組んでいる自律分散制御システムと組み合わせる方法と影響度係数を日々更新する方法が考えられる。前者の方法では、影響度係数の誤差が大きくなるにつれ、目標照度の実現までに必要な時間が多くなるが、目標照度は実現できると考えられる。後者の方法では、正しい影響度係数を更新することができれば瞬時に目標照度を実現することができるが、誤った影響度係数で更新してしまうと目標照度を実現することが難しくなると考えられる。今後はこの 2 通りの方法で検証を重ねていく。

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 (2007), pp.399-410.
- 2) 後藤和宏, 三木光範, 廣安知之. 知的照明システムのための回帰係数を用いた自律分散最適化アルゴリズム. 照明学会全国大会講演論文集, Vol. 40, pp. 123-124, 2007.