

知的照明システムにおける照度センサ移動時の影響度学習の高速化手法の提案

松谷 和樹

1 はじめに

近年、オフィスにおける、オフィスワーク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。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⁾。我々は、オフィスにおける光環境に着目し、任意の場所に任意の照度を実現し、かつ省電力を実現できる照明システム（以後、知的照明システム）の開発を行っている²⁾。知的照明システムの制御には最適化手法を用いる。ユーザの要求する明るさを制約条件とし、照明の消費する消費電力量を最小化する最適化問題として捉え、最適化手法を用いたアルゴリズムにより照明の制御を行う。現在の知的照明システムでは、回帰分析による影響度推定を利用した制御アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC) を用いている³⁾。ANA/RC は、照明の照度センサに及ぼす影響を、照明の光度と照度センサの照度の単回帰分析によって求めることにより、迅速に解へ収束することが可能である。さらに、照度センサが移動した場合には、影響度を新たに学習することでセンサの移動にも対応することができる。しかしながら、照度が収束した状況下など、光度および照度の変化幅が小さい場合には、影響度を短時間で学習することが難しく、センサが移動に素早く対応できないことがある。そこで、照度が収束した状況においても、影響度を素早く学習できる手法として、新たな近傍を設計し、影響度の学習手法として重回帰分析を用いた制御アルゴリズムを提案する。

2 知的照明システム

2.1 知的照明システムの制御

知的照明システムは、ユーザが照度センサに照度を設定するだけで、照明や照度センサの位置情報必要とすることなく、自動的に有効な照明を判断し、適切な場所に適切な照度を提供することができる。知的照明システムは、山登り法を照明制御用に改良したアルゴリズム ANA/RC を用いる。山登り法は、現在の解を基に次ステップの解を生成し、その際の目的関数値の変化に応じて、その解を受入れ遷移する処理を繰り返すことで最適解を導くアルゴリズムである。そこで、設計変数を光度、目標照度との差と消費電力量の和を目的関数とし制御を行う。さらに、ANA/RC では、照明が照度センサに及ぼす明るさの大小（影響度）を回帰分析により学習する。収束速度の向上には、照明の照度センサに対する影響度を把握することが重要である。なぜなら、照度センサに及ぼす影響を把握することで、その影響が大きい、すなわちその

付近にある照度センサの照度状態に応じた光度変化を行うことができるためである。ANA/RC では、回帰分析を用いて照明が照度センサに及ぼす影響度を把握する。回帰分析は説明変数を変化させた際に観測値がどのように変化するかという 2 変数の因果関係を定式化する手法である。式 (1) に示す説明変数 x_i と観測値 y_j の関係式により明示できる。

$$y_j = r_{ij} \times x_i + \beta \quad (1)$$

y : 観測値, x : 説明変数, r_{ij} : 回帰係数 β : 定数項

式 (1) に示すように、回帰係数 r_{ij} の大きさによって因果関係が数値化される。そこで、ANA/RC では探索の 1 試行における照明の光度変化量を説明変数 x とし、照度センサの照度変化量を観測値 y として回帰分析を行う。これにより、照明が照度センサに及ぼす影響度を回帰係数として数値化することができる。

2.2 課題点

知的照明システムは、常に光度を変化させ続けることで、動的に照明の照度センサに対する影響度を推定している。そのため、照度センサの移動やなどの環境の変化に動的に対応することができる。しかしながら、照度が収束した状態など照明の光度の変化幅が小さい場合、影響度の学習に必要な光度および照度変化が得られないため、知的照明システムの制御に十分な精度の影響度の学習に長い時間を要する。

3 提案手法

点灯光度の低い照明は光度の変化幅が小さく、また、各照度センサの照度が収束した状態では照度値の変化が小さいため、影響度の学習に長時間を要する。照度センサの移動時など、影響度が正しく把握できていない際に、各照明の光度の変化幅を大きくすることで、影響度学習の高速化を目指す。現在の知的照明システムでは、各照明は照度が収束した状況においては光度の変動が小さい。そこで、光度変化量が現在の点灯光度から -10 ~ 10% の近傍内から次光度を生成することで比較的大きな光度変化が発生する確率を高くする。また、ANA/RC では、影響度を単回帰分析により推定しており、照度を 1 台の照明の光度変化より説明していたが、本手法では、影響度の推定に重回帰分析を用い照度センサの照度変化を複数の照明の光度変化から説明することで、影響度学習の精度向上を目指す。

4 シミュレーションによる評価実験

提案手法がセンサ移動後の影響度学習において有効であるかを検証するため、シミュレータによる検証実験を

行う。実験環境を Fig. 1 に示す。Fig. 1 に示す通り、本実験は照明器具を 16 台、照度センサ 3 台を用いる。

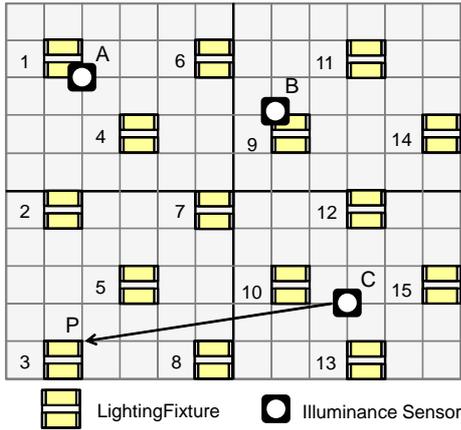


Fig.1 実験環境

設置した照度センサ A, B および C の目標照度をそれぞれ 400, 500, 600 lx とした。また、実験開始から 300 step 後にセンサ C を Fig. 1 中の地点 P に移動させた。また、照度センサの移動後は、センサ C の帰係数は移動後の照度および光度履歴のみを用いて算出した。提案手法および従来手法を用い、それぞれ 100 回照度収束シミュレーションを行った。

センサ移動後、収束に要した時間の平均は、従来手法では 214 step, 提案手法では 121 step であり、収束速度を高速化することができた。照度収束状況の一例として従来手法による照度収束履歴を Fig. 2, 提案手法による照度収束履歴を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より、提案手法では、センサ C に近い照明が適切に増光することで素早く目標照度を満たしているが、Fig. ?? に示した従来手法では、適切な照明が増光しておらず、センサ C の目標照度を満たす際に他のセンサに近い照明が増光しているために、すべての目標照度を満たすまでにより長い時間を要している。

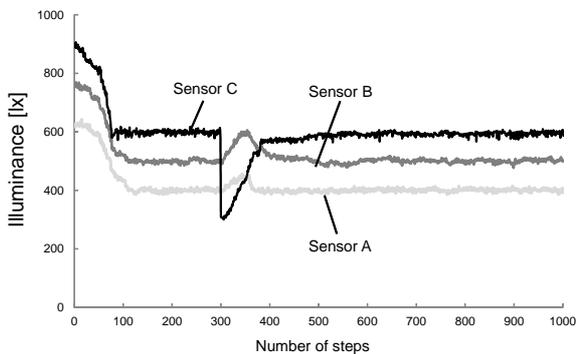


Fig.2 従来手法照度履歴 (一例)

各手法における消費電力の比較を行う。消費電力は、照明の光度と線形関係にあるため、照明の光度が小さいほど消費電力が小さいと言える。従って、ここでは、消

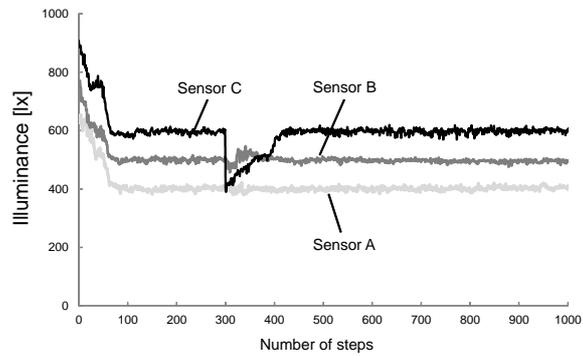


Fig.3 従来手法照度履歴 (一例)

費電力を各照明の光度和により比較する。従来手法では 1000 step 時の光度和の平均が 9318 cd であったのに対し、提案手法では 7949 cd であった。このことから、消費電力の観点からの効率の良い制御ができていることが分かる。照度収束時の照明の点灯状況の一例として、Fig. 4, Fig. 5 に従来手法および提案手法の照度収束時の各照明の点灯状況を示す。Fig. 4, Fig. 5 中の照明の周囲の円は照明の光度を表している。従来手法では、センサ B に最も近い照明 9 が弱く点灯しており、周囲の照明 6 および照明 11 が強く点灯することで、目標照度を満たしているため、効率の悪い点灯パターンである。一方、提案手法においては、センサに近い照明のみが明るく点灯し、効率良く目標照度を満たしていることが分かる。

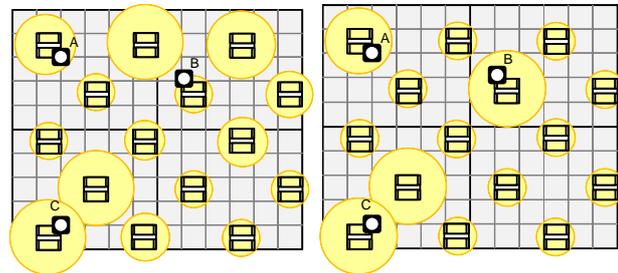


Fig.4 従来手法点灯状況

Fig.5 提案手法点灯状況

以上のことから、提案手法では、センサ移動時に影響度を従来手法より高速かつ正確に学習でき、収束速度および省電力性の観点から性能が向上することが分かった。

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. オフィスワークのプロダクティビティ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, No3, pp.399-410, 2007
- 3) 小野景子, 三木光範, 米澤基. 知的照明システムのための自律分散最適アルゴリズム. 電気学会論文誌, Vol.130, No5, pp.750-757, 2010