

クラウド型知的照明システムにおける運用費用の削減

Reduction of operational costs in cloud-based intelligent lighting system

三木 光範*¹ 平野 裕也*² 小野 景子*³ 吉田 健太*²
 Mitsunori Miki Yuya Hirano Keiko Ono Kenta Yoshida

*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 理工学研究科

Graduate School of Engineering, Doshisha University

*³龍谷大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Ryukoku University

In the intelligent lighting system to operate, and requires a variety of cost. The costs can be divided into two main introduction of the system operating costs. The purpose of this study is to be reduced by that can be constructed using the cloud service, the cost of those in the intelligent lighting system. This makes it possible to reduce the cost of the owner of office buildings to introduce intelligent lighting system, the tenant can use a service like intelligent lighting system is possible.

1. はじめに

我々は、オフィス環境がオフィスワーカーの知的生産性に影響を与えるという観点から、知的照明システムを研究している [1]。現在、知的照明システムはオフィス内に設置された制御用 PC によって制御されている。しかし、このシステム形態では初期導入費用に一定のコストを要するため、知的照明システムの制御部分を時間単位での従量課金制をとるクラウドサービスを利用し構築することで、初期導入時の一定コスト削減が可能になる [2]。

本稿では、クラウド型の知的照明システムの可能性と課題について検討する。

2. 知的照明システム

2.1 概要

知的照明システムは、複数の調光可能な照明器具、照度センサおよび電力センサから構成されている。これらのネットワークに接続し、照度センサからの照度情報および電力センサから構成されている。これらをネットワークに接続し、照度センサからの照度情報および電力センサからの電力情報に基づいて最適化することが可能となる。

知的照明システムに用いられているアルゴリズムは、Simulated Annealing (SA) をベースとして照明制御用に回帰係数に基づく近傍設計を組み込んだ Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient (ANA/RC) という進化的アルゴリズムである。システム稼働中は、照度センサおよび電力計の情報をフィードバックしており、そのたびに最適化制御を行なっている。

2.2 知的照明システムの制御

ANA/RC における処理の流れを以下に示す。

1. 初期化パラメータ（初期光度、目標照度、回帰係数の初期値など）を設定する

2. 各照明器具を初期光度で点灯させる
3. 各照度センサから照度情報を取得する
4. 現在光度における目的関数値を計算する
5. 回帰係数に基づき適切な次光度生成範囲（近傍）を決定する
6. (5) の近傍内に次光度をランダムに生成し、次光度で照明を点灯させる
7. 各照度センサから照度情報を取得する
8. (6) で点灯させた光度における目的関数値を計算する
9. 照明器具の光度変化量、および照度センサの照度変化量を基に回帰分析を行う
10. (8) の目的関数値が (5) の目的関数値よりも増加した場合、その光度を棄却し、以前の光度に戻す
11. (3) に戻る

以上の (3) から (10) を探索の 1 ステップ（約 2 秒）とし、この処理を繰り返すことによってできるだけ少ない消費電力量で目標照度を実現できる。クラウド型知的照明システムの場合、さらに通信時間がかかるため、1 ステップを約 3 秒とする。

次に目的関数について述べる。本システムの目的は、目標照度を満足させつつ、消費電力量を最小化することである。したがって、これらを目的関数として定式化する。目的関数を式 (1) に示す。なお、目的関数は照明器具ごとに独立して計算する。

式 (1) に示すように、目的関数 f_i は光度の総和 P と照度センサ j の目標照度に関する制約を表現する罰金項 g_j からなる。罰金項 g_j は、目標照度が満たされず、かつ、回帰係数がある程度大きい（閾値 T 以上）場合にのみ正の値となる。これにより、回帰係数が低い照度センサが目標照度を満たさない場合には目的関数値は増加しない。ゆえに、回帰係数の高い、すなわちその照明器具が与える影響が強い照度センサにのみ最適化の対象を絞ることができる。また、回帰係数は前ステップにおける項目 (9) で求めた値を用いる。ただし、回帰分析の精度が十分でない段階では、あらかじめ定めた初期値を用いる。

連絡先: 平野 裕也, 同志社大学 大学院 理工学研究科 情報工学専攻, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924, yhirano@mikilab.doshisha.ac.jp

$$f_i = P + w \times \sum_{j=1}^n g_j \quad (1)$$

$$P = \sum_{i=1}^m L_i$$

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

$$R_j = \begin{cases} r_j & r_j \geq T \\ 0 & r_j < T \end{cases}$$

n : 照度センサの数, m : 照明の数

w : 重み, P : 消費電力量

Ic : 現在の照度, It : 目標照度, L : 光度, T : 閾値

また、罰金項 g_j には重み w を乗算しており、重み w の設定によって目標照度への取束を優先するか、光度の総和（消費電力量と比例関係）の最小化を優先するかを切り替えることができる。

光度の総和と消費電力量が比例関係であることは、今回用いた照明の光度と消費電力量の関係を予備実験として調べた図1から、一次式に近似できることがわかる。また、0~30%の光度は今回用いた照明では調光できないため0となっている。

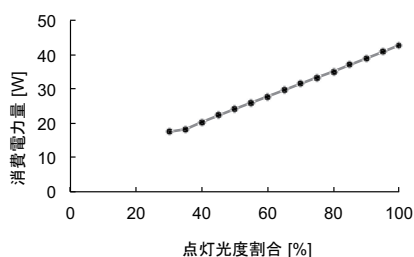


図1: 照明の光度と消費電力量の関係

3. 知的照明システムのクラウド化

知的照明システムを実現するシステム構成として、大別して2種類のシステム構成が存在する。制御装置をオフィスに設置する方法（内部設置型）、制御装置をインターネット上に設置する方法（クラウド型）の2つに分類することができる。

知的照明システムをクラウド化することのメリットとして、以下の点が挙げられる。

- 制御用 PC の初期設置費用を削減することができる
- 制御用 PC の運用費用（保守・管理費用など）を削減することができる可能性がある

これらのメリットから、知的照明システムをクラウド化することで知的照明システムの初期導入が容易になる。

クラウド型の知的照明システムを制御するサーバを運用するにあたって、今回利用したクラウドサービスにおいて必要なコストはサーバの起動時間（1時間単位による課金）とデータ転送量に比例する。ここで扱うデータとは、照度センサから取得された照度データと、それをもとに求められた照明の光度信号値のデータを指す。このサーバの起動時間とデータの転送量を削減することができれば、さらに知的照明システムの導入を

容易にすることができる。そこで、制御サーバのコストであるデータの転送量を削減するにはどのようにすればよいのか。

知的照明システムにはシステムが稼働する必要がない状況が存在すると考えられる。本来、外光や照度センサに人影が入るなど外乱に対応するために、随時システムは稼働する必要がある。しかし、そのような外乱が存在しない状況が存在する場合には、さらにデータ転送量の削減が可能になると考えられる。

外乱がない状況が存在した場合、データ転送量を削減するには、全ての照度センサが目標照度を満たした際に制御を停止することで、データ転送量に関するコストの削減が可能になると考えられる。しかし、この手法を用いるには一つの課題が残る。知的照明システムでは目標の照度を実現した後に、不要な位置の照明の光度を下げっていく。そのため目標照度を満たしたと同時にシステムの稼働を停止した場合、消費電力量の最適化が行われる前にシステムを停止してしまうために、消費電力量のコストを負担する可能性がある。図3に、照明の取束と消費電力の取束例を示す。実験環境は図2に示すように、照度センサを2台、照明15灯を用いた実験室で行った。

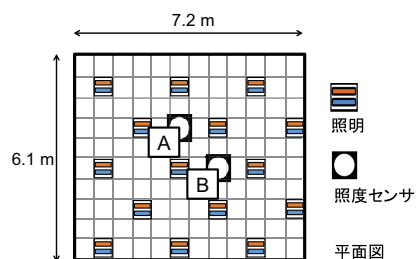


図2: 照度センサの配置図（実験室）

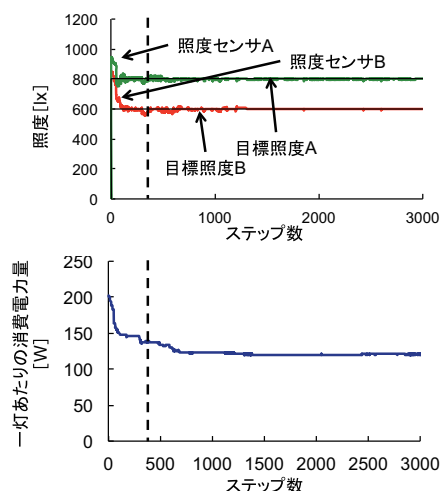


図3: 照度の取束性と、消費電力量の取束性の比較

図3は、目標照度への取束実験を行った。この図はその間の消費電力量の推移を表したものである。図3の点線は、全ての照度センサの照度が目標照度の±50 lxに取束した地点を表わしている。この図から、照度が取束したのちも知的照明システムを稼働させ続けた場合には、照度が取束した地点から一灯の照明につき約20 Wの消費電力量が削減されていることがわかる。しかし、消費電力量を削減するためにはデータ転送量を発生させシステムを稼働させなければならない。つまり、消費電力量とのデータ転送量にはトレードオフの関係が成り立つ。この2つの要素を同時に考えたときの最適解を導き出すことで、データ転送量の削減が可能になると考えられる。

また、照度・消費電力量の収束が1時間以内で収束するようであれば、データ転送量だけでなくサーバの起動時間も削減することが可能になる。そこで、外乱のない状態において照度が収束する場合の消費電力量がどのように変化するか調べた。

4. 照度収束と消費電力量の傾向調査

照度センサの数と配置を変化させ多様なパターンを検証することで、消費電力量がどのように推移するか傾向を調べる。以下に、照度センサ3台を用いたパターンを示す。図4より、グリッド天井に15灯の蛍光灯が設置されている空間で行った。

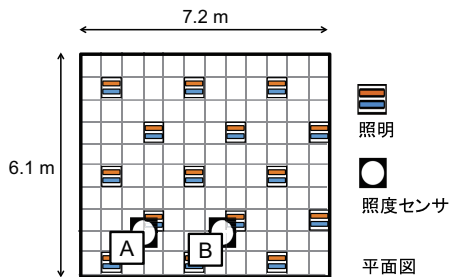


図4: 照度センサの配置図 (実験室)

また図5, 図6にそれぞれ照度の収束結果と照明一灯あたりの消費電力量の収束結果を示す。

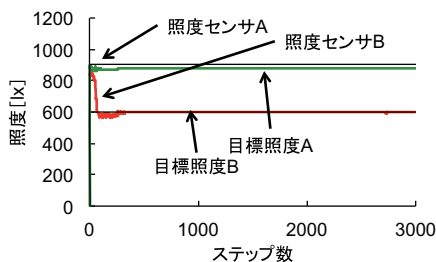


図5: 照度の収束結果

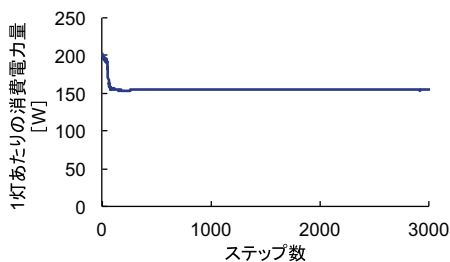


図6: 消費電力量の収束結果

図5から、すべての照度センサは約100ステップ地点で目標照度に収束していることがわかる。また、図6より、消費電力量の収束は約300ステップ地点で収束していることがわかる。この図は、様々なパターンを調べた中で最も早く収束した例である。

次に、消費電力量の収束が最も遅かった例を示す。実験環境は、照度センサを4台用いた。照度センサの配置を図7に示す。さらに、照度の収束結果を図8、消費電力量の収束結果を図9に示す。

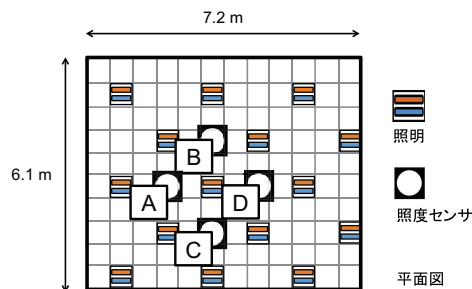


図7: 照度センサの配置 (図実験室)

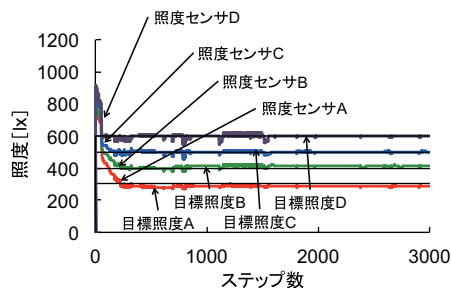


図8: 照度の収束結果

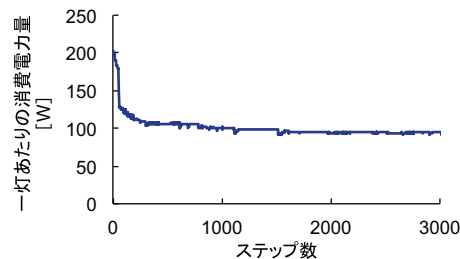


図9: 消費電力の収束結果

図8より、目的の照度への収束は約300ステップ地点にて収束している。照度センサが2台の時と違い、多くの探索回数を要しているのは、照度センサの照度へ影響を与える照明の台数が増加することによって、最適な光度を求めることが照度センサが2台の時よりも複雑になったことに起因する。

また、図9より消費電力量の収束までは約500ステップ地点以降、それ以上下がることはなかった。500ステップとは、クラウド型の知的照明システムでは1ステップに約3秒必要であるとする、約30分間を意味する。

以上のことから、外光がなく、頻繁に目標照度に変更されないような環境において、消費電力量の収束を適切に検知することが可能になれば、クラウド型知的照明システムを運用する場合においてサーバの起動時間、データ転送量を削減することが可能であることがわかった。

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, pp.403-410, 2007.
- [2] 平野裕也. 知的照明システムにおける照明デジタル制御とクラウド化の検討, 第22巻. 第10回情報科学技術フォーラム講演論文集, 2011.