

照度を個別制御する知的照明システムにおける自動障害検出手法

Fault Detection Method in Intelligent Lighting System controls individually Illuminances

加來 史也* 三木 光範† 廣安 知之‡ 吉見 真聡†
Fumiya Kaku Mitsunori Miki Tomoyuki Hiroyasu Masato Yoshimi

1. はじめに

近年、オフィスの環境改善に関する研究が広く行われ、オフィスの環境改善によって、オフィスワークの知的生産性が向上すると報告されている [1]。特に、オフィス環境のうち照明環境に着目した研究では、執務に最適な明るさ（照度）を個人ごとに提供することがオフィス環境の改善に有効であると報告されている [2]。

このような背景から、著者らは知的照明システムを提案している [3]。知的照明システムは、照度センサからの照度情報、および電力センサからの消費電力情報に基づき、最適化手法により各照明を制御することで、任意の場所にユーザが要求する明るさを提供する [4]。知的照明システムの実用化に向け、現在複数のオフィスビルにプロトタイプシステムを導入し、実証実験を行っている。実証実験の過程において、執務に必要な書類などが障害となり照度センサが正しい照度情報を取得できないトラブルが報告された。知的照明システムは、各照度センサが取得する照度情報を用いて制御を行うため、照度情報を正しく取得できない状況下においては、適切な制御を行うことが困難である。

そこで、このようなシステム障害を迅速に検出する機構が必要となる。本稿では、知的照明システムにおけるシステム障害をソフトウェアにより検出する手法を提案する。

2. 知的照明システム

2.1 知的照明システムの概要

知的照明システムは、任意の場所にユーザが要求する明るさ（目標照度）を提供する照明制御システムである。照明器具、照度センサ、および電力センサをネットワークに接続することで構成される。照度センサからの照度情報および電力センサからの消費電力情報に基づき、最適化手法により制御装置が各照明の明るさ（光度）を制御することにより、様々な目標照度を実現する。現在、複数のオフィスビルにプロトタイプシステムを導入し、実証実験を行っている。

2.2 実オフィス環境におけるシステム障害

実オフィスにおける実証実験において、照度情報を正しく取得できないトラブルが報告された。知的照明システムは、照度センサ付近の明るさが目標照度となるように制御を行うため、執務において明るさが最も必要となる机上に照度センサを配置する。しかし、机上には執務に必要な書類などがある場合が多く、それらが障害となることで、実際よりも 70%～90%程度低い、誤った照度情報を取得する事例がたびたび発生した。

このような事例によって、実際よりも低い照度情報を取得してしまうと、目標照度を満たしていないと判断した知的照明システムによって、付近の照明が増光し、必要以上の明るさを提供してしまう。知的照明システムは、現在の照度情報に応じて制御を行うため、システム障害の原因を排除することができれば、正常な制御を行えるようになる。そこで、システム障害の発生を迅速に検出する機構が必要となる。

3. システム障害検出

3.1 システム障害検出手法の概要

知的照明システムは、現在の照度情報および消費電力情報を入力とし、各照明の光度情報を出力する制御系である。そこで、入出力情報を検定することで、システム障害を検出する。すなわち、各照明の光度から、各照度センサにおける照度を予測し、予測値と実測値の比較によって障害検出を行う。そこで、光度情報から照度情報を予測できる照明環境のモデルを導出する。光度と照度は線形関係にあるため、知的照明システムにおける照明環境のモデル式は式 (1) となる。

$$E_i = \sum_{j=1}^n (R_{ij} \times I_j) + D \times 1 \quad (1)$$

E : 照度, i : 照度センサ ID, j : 照明 ID, n : 照明の数
 R : 影響度係数, I : 光度, D : 外光による照度

知的照明システムは、各照明の光度をランダムに増減させ、その結果得られる照度情報および消費電力情報から目的関数を算出する。この繰り返しにより、ユーザの要求を満たし、かつ消費電力量が最小となる最適解を導出する。このため、解の探索過程において、様々な光度変化が行われ、それに応じて照度が様々な値に変化する。そこで光度遷移履歴および照度遷移履歴から、数値解析手法によって影響度係数 R および外光による照度 D を算出し、モデル式を導出する。

3.2 カルマンフィルタの多重化を用いたモデル式の導出

式 (1) のモデル式を導出するためにカルマンフィルタを用いる。カルマンフィルタは、誤差のある観測値を用いて、時々刻々と変化する線形システムの状態を推定するための数値解析手法である。カルマンフィルタは逐次推定方式であるため、最新のデータのみで計算可能である。ゆえに、遷移履歴の増加に伴う計算量の増加を抑制できる。また、観測予測誤差に基づき、フィルタの有効性を評価することが出来るため、システム障害として検出するほどではない異常な観測値（人影の影響など）に対して柔軟に対応可能である。

各照度センサが取得する照度情報は、太陽光や人影などといった外乱が多い。外乱は主に以下の 3 種類に分類できる。

*同志社大学大学院

†同志社大学理工学部

‡同志社大学生命医科学部

1. 人影など短期間の外乱
2. 障害物の影響による誤った照度情報の取得
3. タスク照明など中長期間にわたる外乱

(1) および (2) の外乱は、現在のモデル式に影響を与えないように異常な観測値として棄却する必要がある。そこで、カルマンフィルタの更新ごとに、観測予測誤差に基づきフィルタの有効性を評価し、異常な観測値を棄却することで、これらの外乱による影響を最小化する。

一方、(3) の外乱は、環境の変化としてモデル式の補正が必要である。しかしながら、前述のように異常な観測値を棄却する処理を行っているため、(3) の外乱も異常な観測値として棄却され、モデル式に影響を与えない。そこで、更新処理の起点が異なるカルマンフィルタを一定時間ごとに構成する。カルマンフィルタごとにモデル式を導出できるため、時間 t において複数のモデル式をもつ。(3) の外乱が発生した場合、外乱発生以後を更新処理の起点とするカルマンフィルタは、外乱の影響を考慮したモデル式を導出できる。したがって、モデル式を適切に選択することで、(1) および (2) の外乱による影響を棄却しつつ、(3) の外乱による影響を加味したモデル式を導出する。モデル式を選択にあたり、下記の 2 点を満たすカルマンフィルタが導出するモデル式を選択する。

1. 多くのカルマンフィルタが同程度の状態変数を導出する
2. カルマンフィルタの母集団が多い

なお、更新処理を一定回数行ったカルマンフィルタは破棄し、時間の経過に伴うカルマンフィルタの増加を抑える。

4. 提案手法の検証

シミュレーションを用いて提案手法の検証を行う。シミュレーションは、三菱地所株式会社エコツェリア（東京都千代田区新丸ビル）導入システムをモデルとした。エコツェリアでは、 $10.1[m] \times 7.2[m]$ のフロアに 13 名のオフィスワーカーが執務を行っており、光源として、照明器具が 24 台設置されている。照明器具および照度センサの配置を図 1 に示す。なお、図 1 の数字は照明識別用および照度センサ識別用の ID ナンバーである。

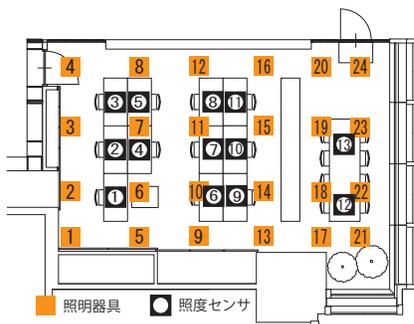


図 1: 実験環境

図 1 の環境において、知的照明システムの目標照度を $800[lx]$ としたシミュレーションを行う。実行時間は $1500step$ とする。また、システム障害を模擬するため、

$500step \sim 800step$ の間、照度センサが取得する照度情報を 70% 低減させた。

図 2 に影響度係数 R の履歴を示す。

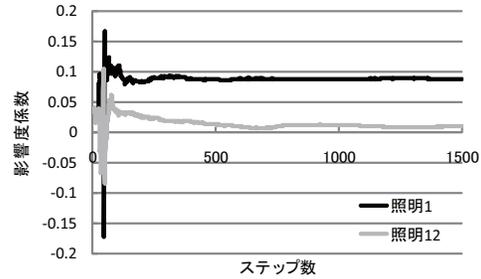


図 2: 影響度係数履歴 (照度センサ 1)

図 2 から、 $800step$ 程度で影響度係数が安定していることが確認できる。また、照度センサ (ID:1) と近い照明 (ID:1) の影響度係数は高く、照度センサと遠い照明 (ID:12) の影響度係数は低くなっていることが確認できる。

図 3 に、導出したモデル式による予測照度と実際の照度の比較を示す。

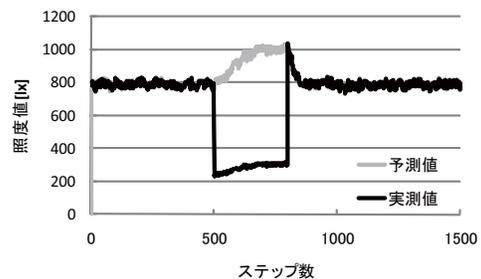


図 3: 照度履歴 (照度センサ 1)

図 3 から、システム障害の発生した時間帯以外は予測照度と実測照度とがほぼ一致していることがわかる。また、システム障害が発生した $500step$ から $800step$ までは予測照度と実測照度に $700[lx]$ 程度の差があることもわかる。以上のことから、予測照度との比較によって発生した障害を検出できることを確認できた。

参考文献

- [1] 橋本 哲ら：室内環境の改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究，空気調和・衛生工学会論文集，No.93,pp.67-76,2004
- [2] Peter R.Boyce ら：Individual lighting control: Task performance,Mood, and Illuminance, JOURNAL of the Illuminating Engineering Society,pp.131-142,2000
- [3] 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.399-410,2007
- [4] 小野 景子ら：知的照明システムのための自律分散最適化アルゴリズム，電気学会論文誌，Vol.130, No.5, pp.750-757,2010