

携帯端末を用いた照明の影響度推定手法の提案

谷口 総一郎^{1,a)} 間 博人^{2,b)} 奥西 亮賀^{1,c)} 本谷 陽^{1,d)} 三木 光範^{2,e)}

概要: 近年、照度センサや加速度センサなど様々なセンサを内蔵しているスマートフォンやタブレット等の携帯端末が、急速に普及し、一般的に利用されるようになってきている。様々な環境で携帯端末を利用することが考えられている。一方で、オフィスの照明環境の改善に注目が集まっていることから、我々の研究室では任意の場所に任意の照度を実現する知的照明システムの研究を行っている。知的照明システムは、照明が照度センサに与える影響度を実測し、その値を用いて照明を制御することで、省エネルギー性に問題の無い点灯パターンを実現する。ユーザが持つ携帯端末の照度センサを利用して知的照明システムを構築できれば、低コストでのシステム構築が可能となる。しかしながら、携帯端末に内蔵された照度センサの性能検証実験を行ったところ、携帯端末での取得照度値は不正確で、光の入射方向ごとに取得照度値が異なることを確認した。そのため、携帯端末に内蔵された照度センサを知的照明システムで利用した場合、照明が照度センサに与える影響度係数が不正確な値となり、照明の点灯パターンが悪化し、消費電力量が増加してしまう。この問題の解決手法として、光の入射方向ごとの照度値のキャリブレーションデータベースを作成、利用することで照度値を補正し、影響度を推定する手法を提案する。本稿では、提案手法の有効性を検証するために、照明の消費電力の削減量の評価を行う。

1. はじめに

近年、東日本大震災などの影響により、エネルギー使用量を削減することに注目が集まっている。特にオフィスビルの消費エネルギーは年々増加傾向にあり、オフィスビルにおける省エネルギー化が望まれている。オフィスビルにおいては、照明に用いる電力コストがビル全体の約20%を占めており [1]、照明に対する省エネルギー対策は重要な課題である。

この課題を解決する照明制御システムとして、筆者らは知的照明システムと名付けた照明システムの研究開発に取り組んでいる [2], [3]。知的照明システムは、マイクロプロセッサが組み込まれた複数の調光可能な照明器具、複数の照度センサ、および電力計を、同一のネットワークに接続し構成される。各照明はネットワークに流れる照度情報および電力量に関する情報を基に自律的に任意の場所に任意

の明るさの提供を実現する。また、照明がセンサ照度に与える影響度を実測し、その値を用いて制御することで省エネルギー性に問題の無い点灯パターンも実現する。知的照明システムは、実オフィスへの導入も検討されている [10]。

一方、スマートフォンやタブレット等といったタッチパネルや多数のセンサを持つ携帯端末機器が普及している。そこで、ユーザが所持している携帯端末に内蔵された照度センサを用いて知的照明システムを構築することが考えられる。ユーザが所持している携帯端末に内蔵された照度センサを用いることで、照度センサの導入コストを下げるのが可能である。また、携帯端末のタッチパネルを用いて目標照度の設定も行うことが可能である。しかしながら、従来、知的照明システムで用いてきた照度センサに比べ、携帯端末の内蔵照度センサは、センサ取り付けのばらつきにより、精度が大きく劣る。従って、携帯端末の内蔵照度センサにより計測された照明がセンサ照度に与える影響度は不正確になると予測できる。照明がセンサ照度に与える影響度が不正確な値のとき、知的照明システムで実現する点灯パターンの消費電力量が増加する可能性がある。

本研究では、携帯端末を用いた影響度推定手法の提案を行い、知的照明システムを稼働させ、照明の消費電力の削減量の評価を行う。

¹ 同志社大学理工学研究科, 京都府
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha Univ,
1-3 Tataramiyakodani, Kyotanabe-shi Kyoto, 610-0394
Japan

² 同志社大学理工学部, 京都府
Department of Science and Engineering, Doshisha Univ.

a) staniguchi@mikilab.doshisha.ac.jp

b) haida@mail.doshisha.ac.jp

c) rokunishi@mikilab.doshisha.ac.jp

d) ymotoya@mikilab.doshisha.ac.jp

e) mmiki@mail.doshisha.ac.jp

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、照明器具、制御装置、照度センサ、および電力計を1つのネットワークに接続することで構成される。各照明の光度を変化させることによってユーザの要求する照度を提供し、かつ省電力な状況を実現するシステムである。図1に知的照明の構成を示す。

2.2 目的関数

知的照明システムの目的は、照度センサを設置した場所の照度を目標とする照度以上にし、照明が使用する電力量を最小にすることである。このため、制御装置は自信の光度を最適化問題として捉える。そこで、制御装置は光度を設計変数とし、ユーザの要求照度をいう制約条件の下、消費電力を最小化する最小化問題を解く。そのための目的関数として定式化する。目的関数を式1に示す。

$$f = P + w \sum_{i=1}^n g_i \quad (1)$$

$$g_i = \begin{cases} 0 & (Lc_i - Lt_i) \geq 0 \\ R_i(Lc_i - Lt_i)^2 & (Lc_i - Lt_i) < 0 \end{cases}$$

$$R_i = \begin{cases} r_i & r_i \geq Threshold \\ 0 & r_i < Threshold \end{cases}$$

n : 照度センサの数 w : 重み,

P : 消費電力量 L_c : 現在照度 L_t : 目標照度,

r : 相関係数 $Threshold$: 閾値

設計変数を照明の光度とし、式1の f を最小化することを目的とする。 f は消費電力量 P と、現在の照度 L_c と目標照度 L_t の照度差を表す g_i からなる。 g_i は現在の照度が目標照度を下回った場合にのみ加算する。本目的関数では、 g_i に照度センサ i に対する相関係数を乗算する。また、相関が閾値以下の場合には0を乗算する。これにより、相関が高い照度センサ、すなわち近くに位置する照度センサに最適化の対象を絞ることで目標照度を満たす精度の向上を実現する。また、 g_i には重み w を乗算し、この w の値により、目標照度の制約条件または、消費電力量の最小化のどちらを優先するかを決定する。

2.3 制御アルゴリズム

照明調光アルゴリズムとして、データベースを用いた適応型近傍アルゴリズム (ANA/DB: Adaptive Neighborhood Algorithm using Data Base) が提案されている。以下に本アルゴリズムの流れを説明する。

- (1) 初期光度で点灯する
- (2) 各照度センサのセンサ情報 (センサ ID, 現在の照度, 目標照度), および電力計の消費電力量を取得し、それ

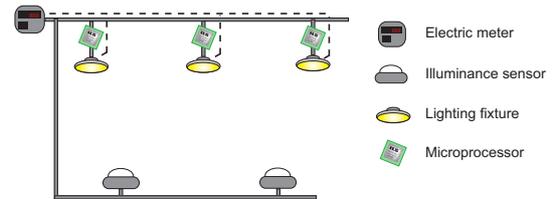


図1 知的照明システムのシステム構成

らの情報を用いて目的関数値を計算する

- (3) センサ情報、影響度係数に基づき適切な近傍を決定する (影響度係数とは照明と照度センサ間の関係を示す指標である。詳しくは2.4で述べる)
- (4) 項目3で決定した近傍内に次光度をランダムに生成し、照明はその光度で点灯する。詳しくは2.5で述べる
- (5) 再び各照度センサのセンサ情報、および電力計の消費電力量を取得し、それらの情報を用いて次光度で点灯した状態での目的関数値を計算する
- (6) 目的関数値が改良した場合、その光度を確定し、項目2へ戻る
- (7) 項目5で目的関数値が改悪した場合、前の光度で再度点灯し、項目2へ戻る

以上の動作により、目標照度を満たすとともに省電力な状態へと速やかに収束する。また、この制御アルゴリズムでは、省エネルギーの観点から、最小点灯光度付近の光度を保ち続けている照明を消灯する制御を消灯する。

2.4 影響度係数の測定

知的照明システムでは照明と照度センサの位置関係などの知識に基づき適切な次光度生成の近傍幅を選択することで、解への収束速度を向上させることが可能である。この位置関係を示す指標を影響度係数と呼び、逐点法によって式2のような線型関係を用いて表現できる。

$$I_i = \sum_{j=1}^m R_{i,j} L_j \quad (2)$$

I_x : センサ x の照度 [lx], L_y : 照明 y の光度 [cd],

m : 照明台数,

$R_{x,y}$: センサ x に対する照明 y の影響度係数

この式における R が影響度係数を示しており、ANA/DBの制御アルゴリズムでは、この影響度係数を調べる為に影響度係数の測定という手法が提案されている。影響度調査では各照明を1灯ずつ最大光度値で点灯させ、その際の光度値と照度値を用いて影響度係数を算出する。

2.5 近傍設計

知的照明システムのアルゴリズムでは、図2に示す7種類の近傍を次光度生成に用いる。ある照明の光度を増加させる必要がある場合は、増高傾向の近傍を用いる。図2に示すように、A, B, Cは減光傾向、Dは中立およびE, F,

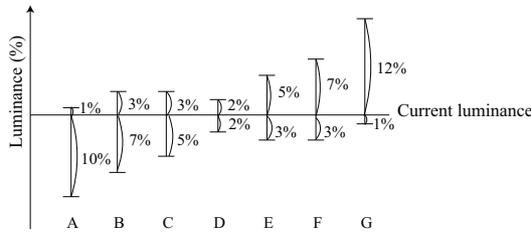


図 2 7 種類の光度変化範囲

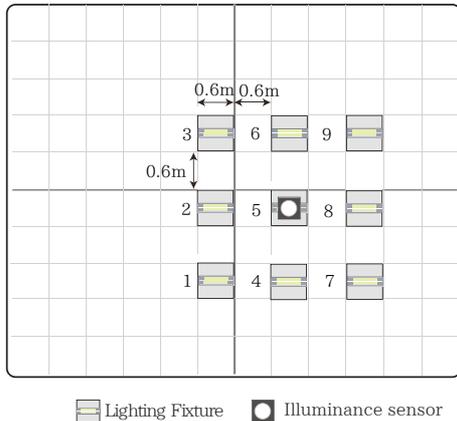


図 3 照度センサの特性調査実験環境

G は増光傾向の 7 種類の近傍を用いる。この 7 種類の近傍は、相関係数と各照度センサの照度値より適応的に選択する。図 2 に示す数値は、照明の最大点灯光度を 100%とした際の高度変化を行う割合である。例えば、最大点灯光度が 1000 cd であれば、A の近傍の場合、現在光度から、100 cd 減光する。

3. 照度センサの特性調査実験

3.1 照度センサの特性調査実験概要

本節では携帯端末に内蔵された照度センサの特性調査として、光の入射方向ごとの取得照度に関する精度検証を行った。本実験では、配置した照度センサから 9 方向の照明を 1 灯ずつ最大光度で点灯させ、取得照度値を比較する。比較する照度値は、高精度照度センサで得られた照度値と携帯端末に内蔵された照度センサで得られた照度値である。

本実験は同志社大学香知館の知的システム創造環境実験室にて行う。照明器具は Panasonic 社製白色蛍光灯 (FHP45EN) を用いた。高精度照度センサには ANA-F11 を、調査対象照度センサには、Motorola XOOM, Galaxy s2, Galaxy s3 および NaPiCa を用いた。NaPiCa とは、人間の視感度に近い感度特性を持った、フォト・ダイオードを利用した照度センサである [7]。実験環境を図 3 に示す。図 3 には、蛍光灯および照度センサの位置関係を示しており、図中の蛍光灯の横に蛍光灯番号を示す。

3.2 特性調査の実験結果

実験結果を図 4 に示す。XOOM1, 2, 3, および 4 は

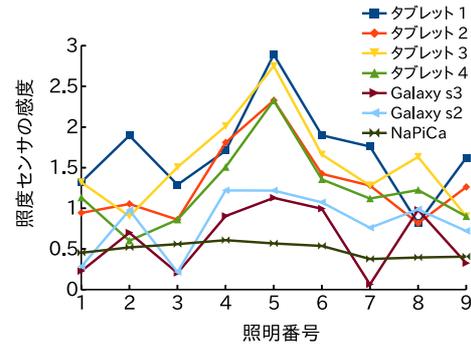


図 4 照明方向ごとの照度センサの感度

Motorola XOOM の識別名である。縦軸は照度センサの感度を示す。照度センサの感度は、携帯端末での取得照度値を高精度照度センサ (ANA-F11) での取得照度値で割った値である。図 4 に示す通り、NaPiCa を除く携帯端末における照度センサの感度は光の入射方向に応じてばらつきがあることがわかる。また、XOOM1 から 4 について、照度センサの感度はばらつきがある。このことから、同機種でも照度センサの感度は光の入射方向に応じてばらつきがあることがわかる。

この結果から、機種ごと、光の入射方向ごとで照度センサの感度が異なるため、照明方向ごとの正確な照度変化量を計測することが不可能である。そのため、照明ごとに正確な影響係数を算出することが困難であることがわかる。

4. 点灯パターンの省エネルギー性検証実験

4.1 点灯パターンの省エネルギー性検証実験概要

携帯端末に内蔵された照度センサを用いて影響度を実測し、知的照明システムを動作させ、点灯パターンの省エネルギー性に関する評価を行う。

本実験は 3 同様、同志社大学香知館の知的システム創造環境実験室にて行う。照度センサには Motorola XOOM を 3 台用いた。実験環境の俯瞰図を図 5 に示す。なお、図 5 の照度センサ横のアルファベットはセンサの識別名を、照明横の数字は照明の識別名を表す。なお、最小点灯光度は点灯割合 30%、最大点灯割合は 100% である。照度センサ A, B および C にはそれぞれ目標照度を設定して検証を行う。照度センサ A, B および C への目標照度は 700, 1000 および 600 lx と設定した。なお、目標照度に対して -8% から +6% の範囲内の照度が提供されている場合に目標照度を実現していると定義する。これは、最小知覚変動に関する研究に基づく数値である [9]。

表 1 照度センサ A の影響係数の比較

照明番号	ANA/DB(A)	ANA/DB(X)
1	0.10	0.20
4	0.15	0.24
6	0.20	0.16

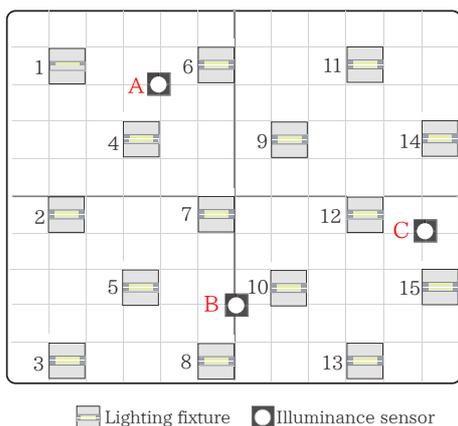


図 5 点灯パターンの省エネルギー性実験環境

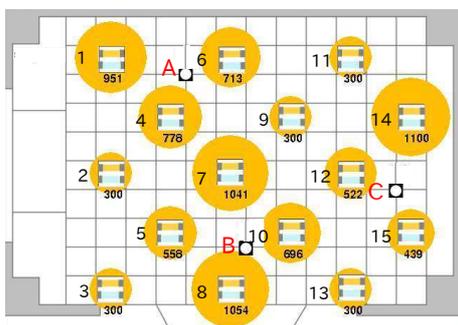


図 6 ANA/DBにより実現された点灯パターン

4.2 点灯パターンの省エネルギー性検証実験結果

現在照度が目標照度に収束し、光度値が安定した際の点灯パターンを図 6 に示す。図 6 の照明下に光度値を表す。なお、照度センサ A 周辺の照明が照度センサ A に及ぼす影響度係数を表 1 に示す。同様に照度センサ B に関する影響度係数を表 2 に、照度センサ C に関する影響度係数を表 3 に示す。なお、ANA/DB(A) は ANA-F11 を用いた ANA/DB、ANA/DB(X) は XOOM を用いた ANA/DB とする。

照度センサ A 周辺の照明の光度値に着目すると、照明 1 の光度値が最も高く、照明 6 の光度値が最も低い。ここで、照度センサ A に関する影響度係数に着目する。表 1 から、ANA/DB(X) で用いた影響度係数は、照明 6 が最も低いこ

表 2 照度センサ B の影響度係数の比較

照明番号	ANA/DB(A)	ANA/DB(X)
5	0.13	0.15
7	0.18	0.23
8	0.21	0.38
10	0.16	0.13

表 3 照度センサ C の影響度係数の比較

照明番号	ANA/DB(A)	ANA/DB(X)
12	0.14	0.15
14	0.18	0.29
15	0.25	0.20

とがわかる。このことから、照明 6 が照明 1, 4 に比べ、照度センサに及ぼす影響が低いと認識され、光度値が最も低くなったと考えられる。他の照度センサ周辺の照明光度値も同様、計測した影響度係数に基づいて光度値に差がでていることがわかる。

4.3 考察

この点灯パターンに関する省エネルギー性について考察する。照度センサ A 周辺の照明の光度値に着目する。表 1 の影響度係数から、ANA-F11 で計測された影響度係数が最も低いのは照明 1 である。すなわち、照度センサ A 周辺の照明の中で、照度センサに及ぼす影響が低い照明は 1 番である。そのため、省エネルギー性を考慮した照度センサ A 周辺の照明の光度値については、照明 1 の光度値が他の照明の光度値に比べて低いことが望ましい。従って、照度センサ A 周辺の点灯パターンは省エネルギー性に問題がある。照度センサ C においては、ANA-F11 で計測した最も高い影響度係数は照明 15 だが、照明 15 の点灯光度は最も低い。そのため、照度センサ C 周辺の点灯パターンも省エネルギー性に問題がある。照度センサ B 周辺の照明の光度値に着目する。ANA-F11 で計測した最も高い影響度係数は照明 8 であり、照明 8 の点灯光度は最も高い。そのため、省エネルギー性を考慮した点灯パターンであるといえる。

この結果から、照度センサの配置場所によって、省エネルギー性に問題がある点灯パターンになっている。この問題は、3 で述べた携帯端末の内蔵照度センサの特性に起因している。改善方法として、携帯端末内蔵照度センサを用いて、正確な影響度係数を推定する手法を提案する。

5. 取得照度値の補正を用いた影響度推定手法

5.1 概要

携帯端末を用いて計測した影響度係数の補正方法として、照度値のキャリブレーションを用いた影響度推定手法を提案する。なお、照明調光アルゴリズム名として、ANA/CDB(Adaptive Neighborhood Algorithm using Calibration Data Base) とする。提案手法ではまず、キャリブレーション DB を生成する。キャリブレーション DB は、照度値の補正に用いるデータベースである。次に、照明を 1 灯ずつ点灯させ、照度値を取得し、制御 PC に送信する。次に、事前に求めたキャリブレーションデータベース (DB) を用いて取得照度値を補正する。DB を利用するためには、照度センサの IP アドレス、センサの向き等の 2 つの情報が必要である。本稿では、センサの IP アドレス、向きを手動で入力した。最後に、補正照度値と点灯光度値から、影響度係数を推定する。これにより、補正された照度値を影響度算出に用いることで正確な影響度推定を可能とし、省エネルギー性を考慮した点灯パターンを実現することができる。結果的に、高精度な照度センサを導入コス

トから省くことが可能であると考えられる。

5.2 キャリブレーション DB

キャリブレーション DB は、光の入射方向 (照明の位置方向) ごとの照度値の補正に用いるデータベースである。キャリブレーション DB は、影響度推定する際の環境で生成する。生成手順としては、まず、配置された照度センサの隣に高精度照度センサを配置し、照明を 1 灯ずつ点灯させる。そして、高精度照度センサの取得値と携帯端末に内蔵された照度センサの取得値を制御 PC に送信する。制御 PC が受信した 2 つの照度値を対応づける。これにより、照明方向ごとのキャリブレーションデータベースを構築する。生成する際、照明の光度値は、最低値から最大値まで微弱増加させ続ける。携帯端末に内蔵された照度センサには、光度変化量に対し照度変化量が線形関係ではないものが存在する。そのため、線形関係を調べる必要があるため、光度値を微弱増加させ続け、データベースを生成する。なお、対応関係が存在しない携帯端末の取得照度値に関しては、データベース内に存在する照度値の対応関係から線形補完を行い、補正値を算出する。光度を微弱増加させ続けた過程で、ANA-F11 の取得照度値は変化しても、携帯端末の取得照度値は分解能の低さから変化しない可能性がある。例えば、ある光度値で点灯させた際の、携帯端末の取得照度値が 100 lx、高精度照度センサの取得照度値が 200 lx であったとする。この光度値から微弱増加させ、次の取得照度値に関する対応関係を求める。その際の、携帯端末の取得照度値が 100 lx、高精度照度センサの取得照度値が 210 lx になったとする。これらのデータからデータベースを生成したとき、携帯端末の取得照度値と高精度照度センサの取得照度値の対応関係が複数存在することになる。そのため、光度微弱増加の過程で、携帯端末に内蔵された照度センサの取得照度値が変化しないときのデータを棄却する。

キャリブレーション DB は、携帯端末の IP アドレス、照明番号、照度値の対応関係の属性から構成されている。影響度推定する際に、携帯端末は IP アドレス、取得照度値を制御 PC に送信する。これにより、点灯照明番号は制御 PC 内で設定されており、判別することが可能なため、取得照度値に関する補正照度値を探索することが可能になる。

5.3 影響度推定する際の点灯光度値

従来の知的照明システムにおいて、影響度推定する際の光度値は最大光度値としている。しかし、最大光度値で照度値を取得し、キャリブレーション DB により補正した結果は誤差が発生する可能性がある。例えば、データベース内の照度値の対応関係が、携帯端末の取得照度が 100 lx のとき、高精度照度センサの取得照度値は 200 lx とする。この対応関係を生成した際の光度値を 1000 cd だとする。影響度推定の際に点灯させた最大光度値を 1100 cd としたと

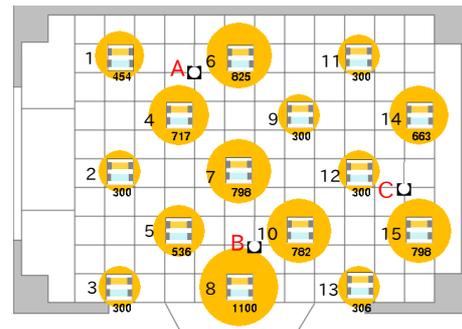


図 7 ANA/CDB により実現された点灯パターン

き、携帯端末の取得照度が 100 lx であるとする。この取得照度からデータベースを用いて、補正照度値は 200 lx となるが、この補正値は 1100 cd 時に生成されたものであるため、1200 cd に適した補正値ではない。そのため、データベースの取得照度値に適した光度値で点灯させる必要がある。この点灯光度の探索法として、照明を最大光度値で点灯させ、携帯端末の取得照度値が変化するまで微弱減光させ続ける。携帯端末の取得照度値が変化したとき、減光を停止させることで、影響度の算出時に点灯させる光度値を決定する。

6. ANA/CDB の有効性評価実験

6.1 実験概要

ANA/DB と ANA/CDB それぞれの照明の点灯パターンを比較し、消費電力の削減率の評価を行う。

実験環境は 4.1 と同様に、図 5 に示す実験環境を利用し、15 台の照明と Motorola XOOM 3 台を利用する。また、照度センサ A、B および C の目標照度値も同様に、700、1000 および 600 lx と設定した。

6.2 実験結果

ANA/CDB により、現在照度が目標照度に収束し、光

表 4 照度センサ A の影響度係数の比較

照明番号	ANA/DB(X)	ANA/CDB
1	0.20	0.10
4	0.24	0.16
6	0.16	0.20

表 5 照度センサ B の影響度係数の比較

照明番号	ANA/DB(X)	ANA/CDB
5	0.15	0.13
7	0.23	0.18
8	0.38	0.21
10	0.13	0.16

表 6 照度センサ C の影響度係数の比較

照明番号	ANA/DB(X)	ANA/CDB
12	0.15	0.14
14	0.29	0.18
15	0.20	0.25

度値が安定した際の点灯パターンを図7に示す。図6および図7の点灯パターンにおけるそれぞれの消費電力量は467.6 W, 424 Wとなった。この結果から照明の消費電力は9%削減されていることがわかる。

消費電力量が削減された原因について考察するため、図6と図7の照度センサA周辺の照明に関する点灯パターンを比較する。4.2で述べた、照明1の正確な影響度係数は低いにもかかわらず光度値が高い問題は改善されている。このような点灯パターンが実現されたパラメータである影響度係数について考察する。照度センサA, B, およびCに関する影響度係数を、表4, 表5, および表6に示す。表4から、照度センサA周辺の影響度係数を参照すると、照明1の影響度係数は他の照明の影響度係数に比べ低いことがわかる。このことから、照明1が照度センサに及ぼす影響は低く、光度値が最も低くなったと考えられる。また、照度センサCについても同様に、照明15の正確な影響度係数が最も高いにもかかわらず光度値が低い問題は改善されている。表4から、照度センサA周辺の影響度係数を参照すると、照明15の影響度係数は他の照明の影響度係数に比べ最も高いことがわかる。そのため、照明15が照度センサに及ぼす影響は高く、光度値が最も高くなったと考えられる。

影響度を推定するにあたり用いた、補正された照度値の補正誤差について評価する。影響度係数計測の際に用いた照度値をそれぞれ表7, 表8, および表9に示す。なお、ある照明番号に対する補正照度誤差は、ANA/DB(A)の照度値とANA/CDBの照度値の差の絶対値である。ANA/表7, 表8, および表9を参照すると、最大で3 lxの誤差であることがわかる。これは、携帯端末の内蔵照度センサの分解能が低いためである。3 lxの補正誤差は、影響度係数の計測誤差を生むが、表7, 表8, および表9を参照すると、

表7 照度センサAに関する影響度計測に用いた照度値の比較

照明番号	ANA/DB(A)	ANA/CDB	補正照度誤差
1	118 lx	118 lx	0 lx
4	161 lx	162 lx	1 lx
6	220 lx	220 lx	0 lx

表8 照度センサBに関する影響度計測に用いた照度値の比較

照明番号	ANA/DB(A)	ANA/CDB	補正照度誤差
5	143 lx	145 lx	2 lx
7	196 lx	197 lx	1 lx
8	231 lx	234 lx	3 lx
10	172 lx	173 lx	1 lx

表9 照度センサCに関する影響度計測に用いた照度値の比較

照明番号	ANA/DB(A)	ANA/CDB	補正照度誤差
12	164 lx	164 lx	0 lx
14	234 lx	235 lx	1 lx
15	265 lx	268 lx	3 lx

ANA/DB(A)とANA/CDBの影響度係数の順位は同じであるため、省エネルギー性に影響はないと考えられる。このため、提案手法は有効であり、省エネルギー性を考慮した点灯パターンを実現することが可能である。しかし、より分解能が低い携帯端末を用いた場合、誤差は大きくなることが考えられる。

7. 結論と今後

本稿では、携帯端末で得られた照度値にキャリブレーションDBを用いて補正し、影響度を推定する手法を提案した。携帯端末内蔵照度センサにより照度値を取得、補正し、影響度推定を行い、点灯パターンの省エネルギー性を検証した。ANA/CDBで用いた影響度係数は誤差が生じたが、省エネルギー性のある点灯パターンに影響はなかった。そのため、消費電力量を削減することができた。

より分解能が低い携帯端末を用いた場合、補正照度誤差は大きくなることが考えられる。そのため、様々な機種を用いたANA/CDBの有効性検証を行う。また、キャリブレーションDBを生成するにあたり、照明光度を1灯ずつ微弱変化させているため、生成に時間を要する。そのため、キャリブレーションDB生成の高速化を実現する。照明光度の変化幅を変えることで生成時間の改善が見込まれる。

参考文献

- [1] 財団法人省エネルギーセンター, 入手先 (http://www.eccj.or.jp/office_bldg/01.html).
- [2] M.Miki, T.Hiroyasu, K.Imazato, "Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness," Proc IEEE CIS, pp.520-525, 2004.
- [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," 人工知能誌, vol.22, no.3, pp.399-410, May 2007.
- [4] Fumiya Kaku, Mitsunori Miki, Tomoyuki Hiroyasu, Masato Yoshimi, Shingo Tanaka, Takeshi Nishida, Naoto Kida, Masatoshi Akita, Junichi Tanisawa, Tatsuo Nishimoto, "Construction of intelligent lighting system providing desired illuminance distributions in actual office environment," Artificial Intelligence and Soft Computing, vol.6114/2010, pp.451-460, 2010.
- [5] 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化アルゴリズム," 電気学会論文誌, vol.130, no.5, pp.750-757, 2010.
- [6] Shingo Tanaka, Mitsunori Miki, Tomoyuki Hiroyasu, Mitsuharu Yoshikata, "An evolutionary optimization algorithm to provide individual illuminance in workplaces," Proc IEEE Int Conf Syst Man Cybern, vol.2009 Vol.2, pp.941-947, 2009-10.
- [7] トランジスタ技術, 入手先 (<http://toragi.cqpub.co.jp/Por-tals/0/backnumber/2007/07/p155-156.pdf>).
- [8] 照明学会, 照明ハンドブック, 第2版, オーム社, 2003.
- [9] 鹿倉智明, 森川宏之, 中村芳樹, "オフィス照明環境における明るさの変動知覚に関する研究," 照明学会誌, pp.346-351, 2001.
- [10] S.Inoue and MITSUBISHI ESATE COMPANY Ltd, "Towards the City of the Future", 入手先 (http://www.jerro.org/documents/green_innov/Shigeru_Inoue_Presentation.pdf).