

照度センサの数を最小化する知的照明システム

秋田 雅俊

1 はじめに

本研究室では、任意の場所に任意の照度を提供することで、知的生産性の向上や消費電力量の削減を実現する知的照明システムの開発を行っている¹⁾。知的照明システムは照明、制御装置、照度センサおよび電力計から構成されている。各ユーザは照度センサに目標となる照度を入力して机の上に設置するだけで、制御装置が自動的に照明の明るさを最適化する。

現在、知的照明システムの実用化にあたって、実際のオフィスへシステムの導入を行っている^{2, 3)}。実際のオフィスに導入を行ったところ、机上面に照度センサを設置できない状況が存在することが分かった。本研究では、各ユーザが照度センサを携帯する方式から、ある基準地点に数台の照度センサを設置し、その値からシミュレーション上で最適な点灯パターンを探索する知的照明システムを提案する。そして、提案システムの実装に向けて、基礎実験を行うことで、その有効性を示す。

2 知的照明システムの実環境への導入結果

知的照明システムは、各ユーザが設定する目標照度と照度センサによる現在照度の値を基に最適な点灯パターンを探索する。そのため、ユーザが作業を行う机上面に正しく照度センサを設置する必要がある。しかし、実際に導入を行ったところ、作業スペースに限界がある都合でユーザの机上面に照度センサを設置することが困難な状況が存在した。このような状況では、照度センサは書類の影に隠れてしまったり、パーティションの上に設置されており、正しい位置での照度の取得ができていなかった。

知的照明システムでは、照度センサをユーザの作業面に設置できなければ、ユーザの要求する照度を作業面に提供することができない。

3 照度センサの数を最小化する知的照明システム

3.1 システムの概要

知的照明システムにおいて、正しい位置での照度値の取得が重要であることは前述した通りである。そのため、照度センサの数を必要最小限に抑え、これまでのシステムと同程度の効果を発揮する知的照明システムを提案する。提案システムでは、数台（本論文では 1 台）の照度センサを設置可能な場所に配置し、その照度センサの値を基にシミュレーション上で最適な点灯パターンを探索し、実際に点灯する。

今回は、照度に大きく影響を与える要素として、照明からの光と外光による影響を考慮する。基準地点で取得

した照度を基に外光の照度分布を推定し、その値と照明による照度を算出し、ユーザの要求する照度を実現する照明の点灯パターンを探索する。

本システムの構成を Fig. 1 に示す。本システムは照明と照度センサ、および制御装置で構成される。

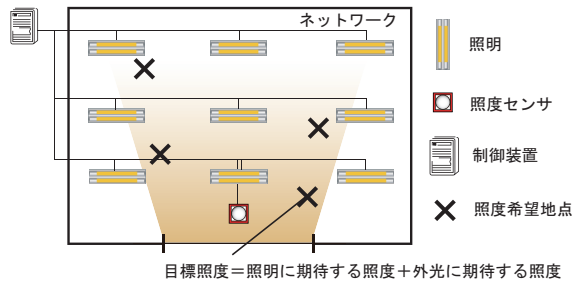


Fig.1 システムの構成

3.2 システムの制御

本システムでは、数台の照度センサによる実測値を基に、部屋全体の照度分布を推定し、最適な点灯パターンをシミュレーション上で決定する。以下に、本システムの制御の流れを示す。

1. ユーザの位置情報および目標照度の読み込み
2. 指定された点灯パターンで点灯
3. 照度センサから照度データを取得
4. 照度データから外光照度分布の推定
5. 照明の点灯状況から部屋の照度分布を推定
6. シミュレーション上で最適な点灯パターンを算出
7. 上記 2 から 6 を繰り返す

本システムの目的は各ユーザの希望する照度を実現し、消費電力を最小にすることである。このため、上記 6 において、各照明の光度を設計変数とし、ユーザの目標照度という制約条件の下、消費電力を最小化する最適化問題を解く。そのための目的関数を式 (1) のように設定する。

$$f = P + \sum_{j=1}^n (Lc_j - Lt_j)^2 \quad (1)$$

P : 消費電力, n : ユーザの数, Lc : 照度, Lt : 目標照度

目的関数は消費電力量 P と照度差からなる。シミュレーションで計算するため、消費電力は比例関係にある照明の光度を基に推定する。

本システムでは最適な点灯パターンを算出する手法として確率的山登り法を用いる。確率的山登り法は最適化手法の一つで、現在の解の近傍にランダムに次状態を生

成し、目的関数値が改良した場合のみ次状態に遷移する。これを繰り返し行うことで、(局所)最適解を得る。確率的山登り法は目的関数が多峰性の場合には局所最適解に陥りやすいが、これまでの研究により確率的山登り法を用いた場合においても、次の解を生成する範囲である近傍を適切な値に調節することにより、良好な解が得られることがわかっている⁴⁾。

3.3 実測値を基にした照度シミュレーション

照度計算手法についてはこれまで逐点法や光束法⁵⁾、モンテカルロ法を用いた照度計算⁶⁾など様々な手法が研究されている。しかし、これらは照明器具の光束、保守率、配光曲線や部屋の壁の反射率など様々なパラメータを設定することで高い精度を得ることができる。

本システムでは任意の位置ではなく特定の位置にシミュレーションの条件を限定することで、簡易な手法で精度の高いシミュレーションを行う。本システムでは各照明が100%点灯した際に特定の場所に及ぼす照度を実測し、実現照度をデータベースに保持する。そして各照明の点灯割合とデータベースに記録した実現照度から、その場所における照度値を計算する。

3.4 外光シミュレーション

外光照度を推定する手法は既に提案されている⁷⁾。この手法は窓の透過率、保守率、太陽の方向など多くのパラメータを必要とし、さらに空の雲量やブラインドの角度などを検知する必要がある。そこで、本システムでは事前にシステムの導入環境において外光のサンプルデータを実測によって取得し、その値を基に全体をモデル化する式を作成する。モデル式を作成するために、室内に多数の照度センサを設置し、それらの照度分布を基に部屋全体の外光照度分布を推定する。

推定手法として、座標情報とその点での値を線形補間するバイリニア補間があるが、棚などの障害物によって外光が線形的に入射するとは限らないため、シンプルなモデル化手法である最小二乗近似を用いる。最小二乗法とは、回帰式を近似的に求める手法の一つであり、回帰式とサンプルデータとの誤差の二乗和が最小になるように回帰式の未知係数 β を推定する手法である。

外光の推定式によって、基準地点の照度を入力すれば部屋全体の照度分布が把握できる状態にすることで、部屋全体の任意の場所の推定照度を求めることができる。

4 動作実験

4.1 実験概要

本システムでは照明からの光と外光の影響の推定を基に制御を行うため、照度シミュレーションと外光シミュレーションの精度が非常に重要になる。そのため、本システムの有効性を検証するため、知的オフィス環境創造システム実験室(KC-111)を想定した照度シミュレーションの検証実験と外光シミュレーションの検証実験を行う。

実験環境を Fig. 2 に示す。実験では、照明15灯、外

光計測用照度センサ9台、ユーザを想定して照度を要求する箇所(照度希望点)3カ所とする。また、外光推定の際に基準とする照度センサは窓の中央から内側に1m離れた地点に配置する。

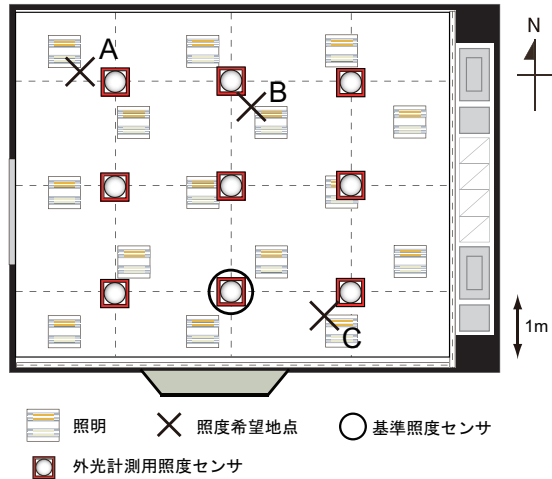


Fig.2 実験環境

照度シミュレーションの実験では、全ての照明を全点灯から30%点灯まで10%刻みで減光した場合の、照度センサから取得した照度データとシミュレーションによる推定照度を比較する。検証は Fig. 2 の照度希望地点 A,B,C の3カ所で行う。

外光シミュレーションの実験では、照明が全消灯した状態で、1時間毎に外光による照度を照度センサによって計測する。そして、外光推定式による推定照度と比較する。照度センサは9台使い、Fig. 2 の外光計測用照度センサの位置に配置する。照度の比較では、全照度センサのデータから1時間毎の最大誤差、最小誤差、および平均誤差を求める。

4.2 実験結果(照度シミュレーション)

照度シミュレーションの実験結果について述べる。Table 1 に、照度希望地点 A,B,C での実測照度値とシミュレーションによる推定照度値の誤差を示す。

Table1 推定値と実測値の誤差(照度シミュレーション)

点灯比率	地点 A	地点 B	地点 C
100%	73	151	-7
90%	39	108	-31
80%	22	63	-41
70%	10	47	-44
60%	2	37	-44
50%	-1	30	-37
40%	6	37	-16
30%	20	52	-10

(単位: lx)

Table 1 のように、80%以上の高い点灯時を除けば推

定照度の誤差は全て 50 lx 以内に収まっていることが分かる。そのため、高い点灯時には照度を補正する特別な処理が必要だと考えられる。

また、全体の平均誤差は 38.6 lx となった。50 lx 程度の違いは人間の目で感知できない程度の明るさであるため、この結果はシミュレーションとして使用する上で問題のない誤差だといえる。

4.3 実験結果（外光シミュレーション）

外光シミュレーションの実験結果について述べる。本環境では、位置座標を (x, y) 、外光照度を z としたとき、式 (2) に示すモデルを基に外光照度分布関数を求める。なお、式 (2) に示すモデルは実験的に求めたものである。

$$z = \beta_0 + \beta_1 x^3 + \beta_2 x^2 y + \beta_3 x^2 + \beta_4 xy + \beta_5 y^2 + \beta_6 y + \epsilon \quad (2)$$

まず、晴天日に測定した 1 日の外光による照度の推移を Fig. 4 に示す。照度測定位置は Fig. 2 の基準照度センサの位置である。

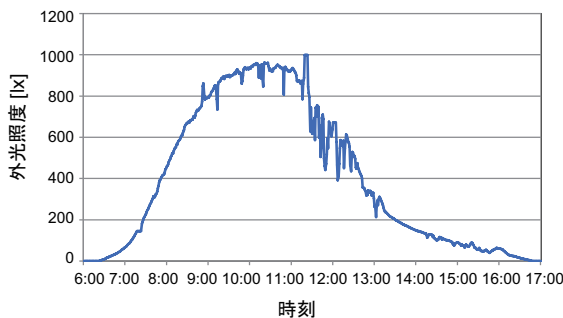


Fig.3 晴天日の外光による照度の推移

Fig. 3 のように、本環境における外光による照度は 10 時から 12 時でピークになり、徐々に下がっていくことが分かる。また、時間によっては 5 分間の間に最大 400 lx 程度の変動も生じることが分かった。

次に、式 (2) のモデルによって作成したモデル式を用いて推定照度を求め、1 時間毎に実測値と比較した結果を Fig. 4 に示す。なお、各時刻における 9 台の照度データのうち、最大、最小、および平均誤差となるものを表示する。

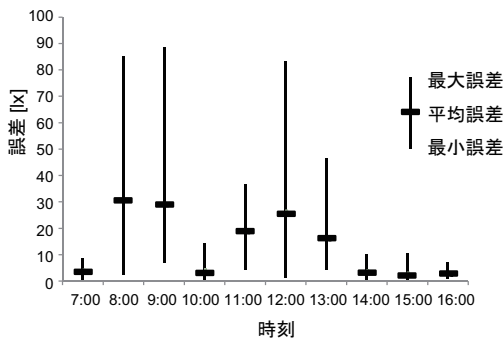


Fig.4 誤差

Fig. 4 から、最大誤差が最も大きい時間帯は 9:00 で

88.3 lx、最大誤差が最も小さい時間帯は 16:00 で 7.2 lx、および全データの誤差の平均値は 14.2 lx となった。平均誤差は 14.2 lx と人間の目で感知できない程度の誤差であるため、シミュレーションとして使用することができることが分かった。

また、Fig. 4 から 8:00 から 9:00 と 12:00 の間に推定値との誤差が大きくなることが分かった。今後は時刻情報を考慮して、時間毎に推定式を変更させることで誤差の値を小さくすることを考える。

5 今後の展望

本研究では、照度センサの数を最小化する知的照明システムの実現を目指している。今回は、照度に影響を与える要素として、照明の明るさと外光の影響を考え、それらを数値的にシミュレーションすることを考えた。照度シミュレーションと外光シミュレーション共に平均誤差を 50 lx 以内に抑えることができたが、両者の組み合わせた誤差は 100 lx 程度と若干大きい。今後は、照度シミュレーションの精度を高めるために、高い点灯時の照度補正処理を考慮することを考える。また、外光シミュレーションの精度を高めるために、推定式に季節や時間帯、天候を考慮することや、基準とする照度センサの数を増やすなど考える。最終的には、照度シミュレーションと外光シミュレーションを組み合わせ、数台の照度センサによる知的照明システムを実現することを目指す。

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シアム, 人工知能学会, Vol. 22, No. 3, pp. 399~410. 2007
- 2) コクヨ ニュースリリース
<http://www.kokuyo.co.jp/press/news/20081118-889.html>
- 3) 照度・色温度可変型照明制御「知的照明システム」の実証実験を開始
<http://www.mec.co.jp/j/news/pdf/mec090331.pdf>
- 4) 今里和弘, 三木光範, 廣安知之, 池田聡. 知的照明システムの提案および制御方式の有効性の検証. 日本機曾学会 第 14 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集. 04-38. 55-58. 2004.
- 5) 岩崎電気株式会社 ライティング講座 - 光束法による照度計算
<http://www.iwasaki.co.jp/kouza/221/>
- 6) 大谷義彦, 大川守, 内田暁, 山家哲雄. モンテカル口法を用いた照度計算の検討について. 照明学会誌 82-2. 105-111. 1998.
- 7) 一ノ瀬雅之, 石野久彌, 村上周三, 郡公子, 井上隆, 木下泰斗. 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発 (その 25) 昼光利用照明計算について. 空気調和・衛生工学会学術講演論文集. 1101-1104. 2008.