

天井に設置したカメラによる推定照度を基に 個別照度を実現する照明制御システム

伊藤 克也
Katsuya ITO

1 はじめに

我々は、オフィスにおける執務者の快適性向上と照明の消費電力の削減を両立する知的照明システムの研究開発を行っている。知的照明システムでは、各執務者が机上面に照度センサを設置し、照度センサの測定する照度（測定照度）が各執務者に希望する明るさ（目標照度）になるように照明を制御する。これにより、低消費電力な点灯パターンで各執務者の目標照度を実現する。また、知的照明システムは東京都内の複数オフィスで実証実験が行われている。実証実験の結果、一部のオフィスで照度センサが書類に隠れている状況が存在した。このような状況では、照度センサは非常に小さい値を測定し続ける。知的照明システムは、測定した値を基に目標照度になるよう照明を制御するため、明るさが足りていないと判断し、照明が必要以上に明るく点灯してしまう。その結果、執務者の目標照度を満たせない、かつ消費電力が大幅に増大するという問題が生じる。

本研究では、天井に設置したカメラで撮影した窓面画像の輝度を基に外光による照度（外光照度）を推定する手法を提案する。画像の輝度から机上面照度を推定し、推定した値を基に個別照度を実現する新たな照明制御システムを提案する。照度センサを用いず天井に設置したカメラを用いることで、正しい照度を測定できないことを阻止する。検証実験を行い、提案照明制御システムが有用であることを示す。

2 知的照明システム

知的照明システムは、各照明の明るさ（光度）を変化させることによって執務者の目標照度を提供し、省電力な状況を実現するシステムである。照明制御装置は、机上面に設置された照度センサから得られる照度情報、および電力計から得られる電力情報を基に、現在の照明の点灯パターンの有効性を評価する。照明の点灯パターンの微小な変更と有効性の評価を繰り返し、執務者の目標照度の制約条件を満たしつつ、消費電力の最小化を行う。また、執務者は目標照度を変更することで、随時、執務者の目標照度を実現することが可能である。

3 実オフィスにおける課題

実オフィスにおける実証実験の結果、一部のオフィスで照度センサが書類や物陰に隠れている状況が存在した。知的照明システムでは、机上面に照度センサを置くことで、測定照度が目標照度になるよう照明を制御する。しかし、照度センサが物陰に隠れるような状況では、正しい

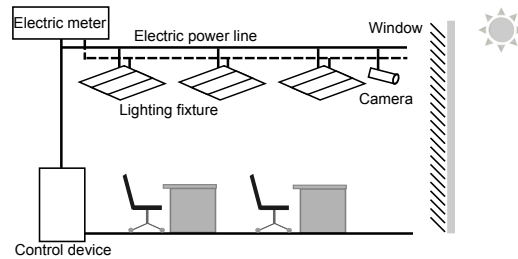


Fig.1 提案照明制御システム

照度を測定できず、非常に小さい値を測定し続けてしまう。そのため、照明制御装置にフィードバックされる照度値は小さい値のままであり、照明制御装置は照度が足りていないと判断し、照明は目標照度を満たすため、必要以上に明るく点灯してしまう。その結果、書類に隠れた照度センサを持つ執務者の目標照度を大きく上回り、周囲の執務者の照度環境にも影響する可能性がある。また、照明が必要以上に明るくなるため、消費電力が大幅に増大するという問題にも繋がる。そのため、知的照明システムの目的を満たすためには照度センサが正しい照度を測定することが必要不可欠である。

また、照度センサの導入にも課題が存在する。実オフィスに知的照明システムを導入する際には、照度センサ自体や設置するための線を引く工事にコストがかかってしまう。そこで、照度センサを用いずに外光を含めた照度環境を推定することで、これらの課題を解決した知的照明システムの実現が可能であると考えられる。

4 提案照明制御システム

4.1 提案照明制御システムの概要

天井に設置したカメラで撮影した窓面画像の輝度を基に外光照度を推定する手法を提案する。この手法に加え、照明が机上面に与える影響度合いを予め計測しておき、照明の光度値から照明による照度（照明照度）を推定することで、個別照度を実現する新たな照明制御システム（以下、提案システム）を提案する。提案システムの概要を図 1 に示す。天井に設置したカメラを用いて外光照度を推定することで、照度センサを用いずに知的照明システムを動作させることが可能になる。

従来の知的照明システムは、机上面に設置した照度センサの測定照度を基に照明をフィードバック制御する。窓のないオフィスの場合、机上面照度は照明照度のみである。照明照度は、各机上面と各照明の照度/光度影響度係数を予め計測しておくことで、照明の光度値から計算

で求めることができる¹⁾。そのため、窓のないオフィスにおいて知的照明システムは照度センサなしで照明を最適に制御することができる。しかし、実オフィスは窓がある環境が一般的であり、机上面照度の推定において窓から入射する外光の影響を考慮する必要がある。そのため、室内の照度は、照明照度および外光照度に分けられる。提案システムでは、天井に設置したカメラにより撮影した窓面画像の輝度値を基に外光照度を推定する。照度/光度影響度係数から推定した照明照度とカメラ画像から推定した外光照度を用いることにより、窓のあるオフィスにおいても照度センサを用いず照明を最適に制御することができる。これにより、コストおよび照度センサが正しい値を測定しない課題を解決することができると思われる。

4.2 照明照度の推定

照明照度は、各照明の光度を基に照度/光度影響度係数を用いて推定する。照明の光度と照度の関係は、式(1)で表される。式(1)の照度/光度影響度係数 R は、光度を除き、光源の形状や光源との距離など、照明環境に依存する定数である。

$$I_j = \sum_{i=1}^n (R_{ij} \times L_i) \quad (1)$$

I : 照度 [lx], R : 照度/光度影響度係数 [lx/cd]

L : 光度 [cd], n : 照明台数

i : 照明番号, j : 地点番号

知的照明システム導入時に暗幕を用いて外光を遮断した状態で室内の照明を全て消灯し、各照明を1灯ずつ点灯させることで各照明光度が各任意地点に及ぼす照度/光度影響度係数を算出することができる。計測した照度/光度影響度係数を用いることで式(1)で表す関係式から照明による照度を推定する。

4.3 外光照度の推定手法の提案

天井に設置したカメラで撮影した窓面画像の輝度を基に外光照度を推定する。知的照明システム導入時に窓面画像の輝度値と机上面の照度を予め計測しておくことで、輝度と照度の関係を求める。これにより、関係を基に窓面画像の輝度値に応じた外光照度を推定することが可能であると思われる。

5 外光照度の推定実験

4.3節で述べたように、予め関係を求めておくことで外光照度を推定することが可能であると思われる。そこで実オフィスを模擬した実験環境において、外光照度が正しく推定可能か検証を行う。構築した実験環境を図2に示す。今後照度取束実験を行う際に照明の点灯状況を明確にすることを考慮し、執務者数を5人とし複数の配置を模擬した。地点Aにおける画像輝度と照度の関係式を図3に示す。図3より、画像輝度と外光照度には指数関数でおよそ近似できることがわかる。または閾値を設定し画像輝度が一定以下の場合には外光照度をないものと

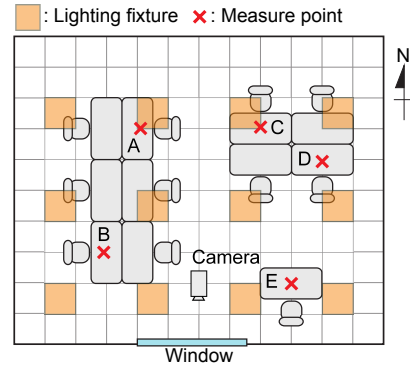


Fig.2 実験環境

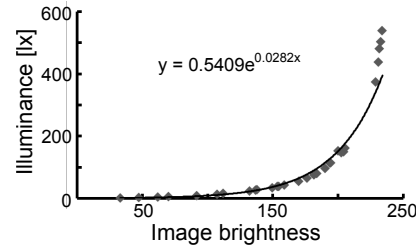


Fig.3 地点Aにおける輝度と照度の関係式

し、閾値以上の部分に関して線形近似することが可能であると考えられる。これらの方法を用いることでカメラによる画像輝度に応じた外光照度の推定が可能であると言える。前述したように係数および定数項を求める予備実験が必要となるが、この手法を用いることで外光照度を推定し、照度/光度影響度係数を用いることで照明照度を推定することにより、知的照明システムを動作させることができる。

6 提案手法を用いた知的照明システム

提案手法により外光照度の推定が可能となった。推定した照明照度と外光照度の合計を机上面の照度とすることで、知的照明システムにおける目的関数式に基づき評価値を計算する。照明の光度を微小な変化を繰り返し、計算した評価値を比較することにより、最適な照明の点灯パターンを実現する。これにより、照度センサを用いずに個別照度を実現する照明制御を行うことができる。今後、照度取束実験を行い、執務者の目標照度への取束状況および照明の点灯パターンを検証することにより、提案照明制御システムの有用性を検証する。各地点における目標照度の取束状況を確認するため各地点に照度センサを設置し、目標照度への取束状況を測定することにより、提案照明制御システムの有用性を示す。また、時刻に応じた点灯パターンを示すことにより、外光照度に応じて点灯パターンの最適化を行っていることを示す。

参考文献

- 1) 池上 久典, 桑島 奨, 三木 光範, 間 博人, "知的照明システムにおける線形計画法を用いた照明制御アルゴリズム," 情報処理学会論文誌, vol.56, no.3, pp.1090-1098, 2015