

大規模空間の机上照度分布計測におけるラジコンヘリコプターの応用

西山 大貴

Daiki NISHIYAMA

1 まえがき

近年、オフィス環境を改善することでオフィスワークの知的生産性、創造性、および快適性の向上に注目が集まっており、オフィスにおける光環境の改善に関する研究が行われている¹⁾。このような背景から、我々の研究室では個々のオフィスワークの要求に応じた照度を提供するための知的照明システムの研究を行っている。知的照明システムでは、各ワークが自身の照度センサに目標照度を設定することで、その値を満たしかつ電力が最小となる点灯パターンを最適化手法によって、実現することができる。この知的照明システムが、各ワークに適切な照度を提供できているのか評価する必要がある。そして、これらの評価を行う上で照度の分布情報は必要不可欠なものである。

照度分布の計測としては、我々の研究室で行った多数の照度センサを用いた計測がある²⁾。これは、計測空間内に多数の照度センサを並べる計測方法であり、正確な照度分布を得ることができる。しかし、この手法は多数の照度センサを必要とし、その照度センサを正確な位置に設置する必要があるため、計測コストが高くなる。また、計算機シミュレーションによる計測手法がある^{3) 4)}。しかし、計算機シミュレーションにおいて、什器や備品による光の反射、および照明器具ごとに異なるランプの劣化や反射板の汚れによる光束の変化をシミュレーション結果に反映することは難しい。つまり、正確な照度値を求めることが困難であると言える。

そこで本研究では、ラジコンヘリコプターを用いた照度分布を計測するシステムを提案する。提案手法により、照度センサを多用する手間を省きながらも、実環境での実測が可能となる。

2 照度分布計測システム

2.1 ラジコンヘリコプターを用いた照度計測

提案手法では、ワイヤレス照度センサを積載したラジコンヘリコプターを飛行させることで、照度を計測する。ラジコンヘリコプターの位置情報と計測した照度を同期させ照度分布を求める。しかし、計測空間全体を飛行させるためには時間がかかり、計測空間の照度が大きく変化してしまうと正確な照度分布を得られないため、計測空間の照度が変化しないことが望ましい。計測デバイスのラジコンヘリコプターを図 1 に示す。図 1 に示す照度センサは無線式のもの、あるいは時刻と照度を対応づけて保存できるものを用いる。

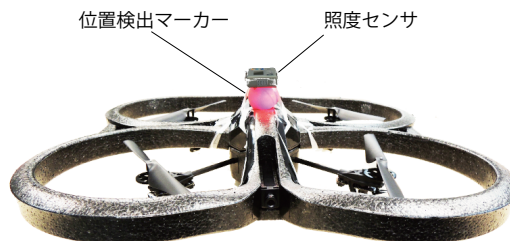


Fig.1 計測用ラジコンヘリコプター

2.2 照度計測地点の位置推定

照度分布には、照度計測地点における正確な位置情報が必要となる。提案手法では、DLT 法 (Direct Linear Transformation Method) を用いることでラジコンヘリコプターの位置を推定する。これは、図 1 に示す位置検出マーカーを 2 台のカメラを用いて、2 方向から撮影することで推定する手法である。これにより、予備実験を $3\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2\text{ m}$ の空間において行った結果、最大誤差 3.7 cm 、平均誤差 1.3 cm の精度でマーカーの位置を推定できることを確認した。

2.3 任意の地点の照度値補間方法

提案手法により、照度計測を行う場合、空間の全ての地点を計測することはできない。そこで照度と位置情報の組み合わせを用いることで任意の地点の照度を補間し、照度分布を推定する。

補間式の生成は以下の項目 1~5 の手順を何度か繰り返すことで行う。また、式の次数を増やしながら、この手順を繰り返し行い、誤差が小さいものを採択し、補間式とする。

1. 式 (1) ような x, y, z を用いて表される n 次式 ($n \geq 1$) の項の中から、補間式に用いる項をランダムに複数選択する。

$$f(x, y, z) = \alpha x^n + \beta x^{n-1}y + \gamma x^{n-1}z + \dots + c \quad (1)$$

α, β, γ : 係数, c : 定数

2. 上で選択した項の係数を測定データから最小 2 乗法で求める。
3. 以上の方法により導出した式に計測データの位置座標を代入し、照度を求める。求めた照度と計測された照度を比較し、誤差を調べる。
4. 項目 1 でランダムに設定した用いる項および用いない項の中から、一つ逆に変化させ、項目 1 および項目 2 を行う。
5. 上で誤差が小さくなれば採択し、大きくなれば元に戻す。これを全ての項に対して行い、どの項を変化させても誤差が小さくなくなるまで繰り返し行う。

3 照度分布計測実験

3.1 実験概要

提案手法の有用性を検証するため、照度分布計測実験を行った。実験環境内を移動するラジコンヘリコプターとして、Parrot 社製の AR.Drone2.0 を用いた。

実験環境の平面図を図2に示す。図2に示すように、6 m × 7.2 m の空間に、オフィス用グリッド天井型 LED 照明 9 台を設置した。全ての照明を 950 cd で点灯させた。本実験では、部屋の中央で破線のように4つのエリアに分け、このエリアごとに照度分布の計測を行う。また、照度データ数と照度分布の精度の関係の検証を行うため、各エリアの計測時間を8分および16分、24分とした3回の計測を行う。また、図3のように、各エリアごとにそのエリア全体が映るようにビデオカメラ A および B を設置する。

オフィスの机上面照度を計測するため、ラジコンヘリコプターは手で床から70 cmの高さにおける水平面を保つように操縦した。この際20 cm程度の高さの変動があった。そこで2.2節で述べた位置推定によって得られる3次元座標を用いて、2.3節で述べた補間を各エリアごとに行う。

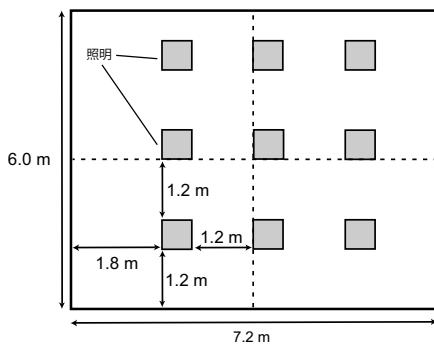


Fig.2 実験環境 (平面図)

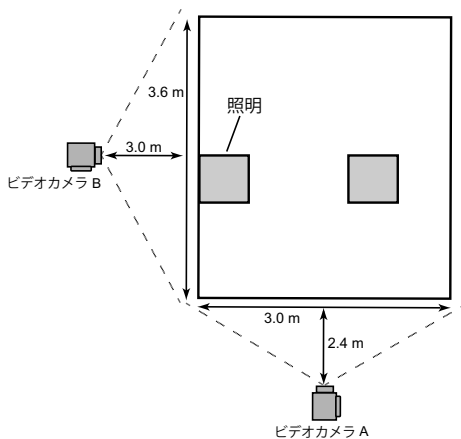


Fig.3 実験環境の分割エリア (平面図)

3.2 照度分布計測結果の精度検証

今回用いたラジコンヘリコプターは、1回で約8分間の計測を行うことができる。そのため16分の計測は2回の飛行、24分の計測は3回の飛行を行った。また、照度センサは0.5秒ごとに照度データを送信するため、1回の計測での照度データ数は、平均が960点となる。各エ

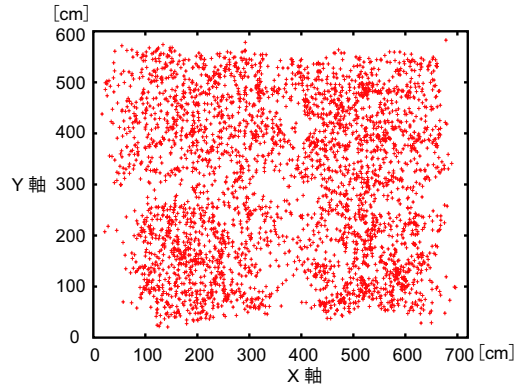


Fig.4 照度計測地点分布図 (10104点)

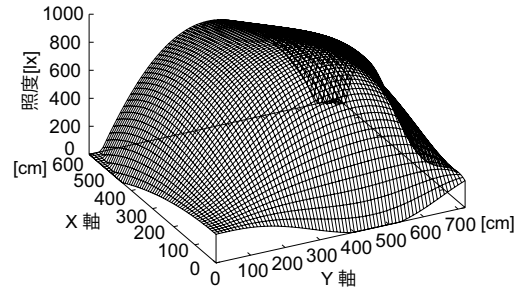


Fig.5 提案手法で得られた照度分布図 (高さ70 cm)

リアを3回計測を行った際の計測空間全体の照度データの水平面における分布を図4に示す。この計測地点における照度データからエリアごとに補間を行い空間全体の照度分布を求める。それぞれのエリアを3回計測した照度データを用いて生成した高さ70 cmの計測空間全体の照度分布を図5に示す。

ここで、本計測方法の精度を検証する。照度センサで図2の実験環境を60 cm間隔ごとに計測する。高さ70 cmの照度値を計測し、補間式によって求められた照度値と比較した。また、計測回数と誤差の関係についても検証した。比較結果は、各エリアを1回ずつ計測したときは、最大誤差113 lx、平均誤差34 lxとなり、2回ずつ計測したときは、最大誤差68 lx、平均誤差25 lx。3回ずつ計測したときは、最大誤差47 lx、平均誤差20 lxとなった。以上より、提案手法は大規模な空間における計測コスト抑えた計測手法として有用であると考えられる。また、多点観測システムと比べ、精度は落ちるが、ラジコンヘリコプターは空中を移動するため、什器の設置してある空間でも容易に机上面の照度分布を計測することができる。

参考文献

- 1) Peter R. Boyce, Neil H. Eklund, and S. Noel Simpson. Individual lighting control: Task performance mood, and illuminance. *JOURNAL of the Illuminating Engineering Society*, pp. 131–142, 2000.
- 2) Miki M, Kasahara, Hiroyasu T, and Yoshimi M. Construction of illuminance distribution measurement system and evaluation of illuminance convergence in intelligent lighting system. *Proc IEEE SENSORS*, pp. 2431–2434, 2010.
- 3) 永田忠彦, 田辺智彦. モンテカルロ法応用の室内照度の計算. 日本建築学会計画系論文集, Vol. 487, pp. 43–49, 1996.
- 4) 菊池卓郎, 井川憲男. All Sky Model-Lを導入した昼光照明計算プログラムの性能検証. 日本建築学会環境系論文集, Vol. 73, No. 629, pp. 865–871, 2008.