

天井に設置したカメラの画像を用いて 照度と色温度を個別に指定する知的照明システム

江見 明彦

Akihiko EMI

1 はじめに

我々は、オフィスの光環境に着目し、任意の場所にユーザの要求する明るさを提供する知的照明システムを提案している¹⁾。実オフィスにて実証実験も行われ、ユーザの快適性と高い省エネルギー性が両立するという結果が得られた²⁾。一方で、各執務者が所持するネットワーク色彩照度計に関する新たな課題が生まれている。具体的には、ネットワークや電源に繋ぐケーブルが必要であるため携帯性に欠けること、および導入コストが高いことである。実オフィスに導入した知的照明システムでは、照度センサのみを用いて制御を行っており、色温度の制御はユーザが照明ごとに手で設定を行なっている。

本稿では色度と照度の測定方法に着目し、天井に設置したカメラから机上面に設置した拡散反射板を撮影し、取得する RAW 画像を用いて色度および照度測定を行うシステムを提案する。そして、このシステムを組み込んだ知的照明システムで動作を確認し、提案手法が有効であることを示す。

2 知的照明システム

知的照明システムは、複数の照明機器、複数の移動可能な色彩照度センサ、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。照明機器は、調光可能な照明とその明るさを制御する照明制御装置からなる。また、照明機器に色温度が異なる2種類の光源を用い、点灯割合を変えることで色温度を制御する。各ユーザは、色彩照度センサを1つずつ所持し、目標照度および目標色温度を各色彩照度センサに設定する。各照明は、全ユーザの目標照度および目標色温度を満たすように動作することで、システムの要件を満たす。本稿では、照明制御アルゴリズムとして確率的山登り法 (Stochastic Hill Climbing: SHC) を用いる。

3 画像処理による色度および照度の測定

3.1 既往研究：画像処理による机上面照度の測定

木田氏らの研究³⁾では天井に設置したビデオカメラから机上面に設置した拡散反射板を撮影し、取得した画像を用いて照度測定を行う方法が提案されている。そして、従来の照度計を用いた知的照明システムと同等の性

能が示された。ビデオカメラから得られる画像情報には RGB の3種類の色の情報があるが、それらについては全く考慮されておらず、机上面色度の取得には至っていない。本稿では、パッシブ型の照度計測にとどまらず、色度も考慮するシステムの構築を提案する。

3.2 画像処理による色度の測定および知的照明システムにおける机上面色温度の測定

デジタルカメラの CMOS イメージセンサは入射光量に対して線形な応答を示す電気信号を発生し、R, G, B のカラーフィルタによって3種類のセンサ応答として記録される。一方、人間が知覚する色は、CIE 三刺激値 X, Y, Z, あるいはそれらから算出される色空間によって表せられるが、イメージセンサと人の眼では分光感度特性が異なるため、RGB のセンサ応答と三刺激値は通常一致しない。通常、被写体となる物体の分光反射率は、カメラの入力バンド数3を越える次元の情報量を持つため、センサ応答から被写体測色値への1対1の線形変換が成り立たない。そのため重回帰分析に基づくセンサ応答から被写体測色値への変換が用いられている⁴⁾。他にも4バンド以上の撮影によってこの問題を解決する手法も提案されているが⁵⁾、専用の撮影装置を要しシステム構築が容易でないため、本稿では重回帰分析に基づくセンサ応答から被写体測色値への変換を行う。

知的照明システムは、色温度の異なる2種類の照明の点灯割合によって机上面に届く光の分光分布を変える。撮影する拡散反射板の分光反射率は変化しないので、照明による色度の変化を机上面色温度の変化と捉えることができる。本稿では拡散反射板の代わりに安価なフェルト生地を代用する。

3.3 RAW 画像

RAW 画像とは、カメラのセンサ出力そのままの値を保持した画像である。入射光量に対して線形性に優れた値を出力し、通常 12 bit~16 bit の深度である。また、カメラメーカーによって記録データの内部形式が異なり汎用的でない形式である。JPEG 画像のような汎用的な画像形式は RAW 画像を元にデ・モザイク処理やホワイトバランス処理などを経て、8bit の深度に非線形変換されることとなるため、本稿では RAW 画像を用いた。

3.4 センサ応答から被写体測色値への変換マトリクス

天井に設置したカメラから机上面に設置したフェルト生地を撮影したときの、RAW 画像から机上面照度への変換マトリクスを作成するためにキャリブレーションを行った。カメラは 12bit の RAW 画像を出力できる CANON 製の EOS5D, CIE の XYZ 表色系の XYZ 値を計測する色彩照度計は KONICA MINOLTA 製の CL-200 を用いた。フェルト生地と色彩照度計はカメラの真下に位置し、机上面に隣り合うように設置した。そして、色温度の異なる 2 種類の蛍光灯の点灯強度および点灯比率を変えながら、露出を固定したカメラで撮影した。得られた RAW 画像と色彩照度計の出力値を重回帰分析に基づきキャリブレーションを行った。

変換式を式 (1) に、変換マトリクスを式 (2) に示す。RAW 画像より算出された値と色彩照度計による真値とを比較したとき、照度の最大誤差は $23lx$ 相関色温度の最大誤差は 1.74 ミレッドであった。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

X : CIE XYZ 表色系における三刺激値 X

Y : CIE XYZ 表色系における三刺激値 Y

Z : CIE XYZ 表色系における三刺激値 Z

M : 変換マトリクス, R : カメラのセンサ応答 R 値

G : カメラのセンサ応答 G 値, B : カメラのセンサ応答 B 値

$$M = \begin{bmatrix} 0.076529 & 1.286146 & -1.165668 \\ -0.292657 & 1.440320 & -1.020412 \\ -0.683211 & 0.711524 & 0.133273 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3.5 カメラ画像全域での計測

カメラは、レンズ取差やイメージセンサのサイズに起因して、画像の中心部から周辺部に離れるにしたがってイメージセンサに入射する光量が減少する（周辺光量の低下）。机上面に置かれるフェルト生地は、いつも画像の中心部にあるとは限らないため、画像全域において計測できる必要がある。そのために、レンズ中心部とレンズ周辺部のセンサの値が等しくなるように補正テーブルを作成した。撮影対象のフェルト生地とカメラの距離を一定に保ったままカメラを回転させ、フェルト生地からの光線のカメラへの入射角のみを変えて撮影し、それによる階調値の変化を記録した。周辺光量の低下特性を式 (3) に示す。

$$y = -0.000000000000275x^4 + 0.000000000101166x^3 - 0.000000163422212x^2 + 0.000002631959119x + 1.0 \quad (3)$$

また、決定係数は 0.996 であった。補正するときには式 (3) の逆数を掛けることになる。

4 検証実験

4.1 実験概要

照度と光色を個別分散制御する知的照明システムを同志社大学内の実験スペースに構築した。動作実験を行い、その有効性の検証を行う。実験環境を上から見た図を Fig. 1 に示す。目標値は、フェルト生地の A 地点を $850lx$, $3800K$, フェルト生地の B 地点を $650lx$, $3600K$ とした。フェルト生地の地点には色彩照度センサを併せて設置し、その履歴を検証する。

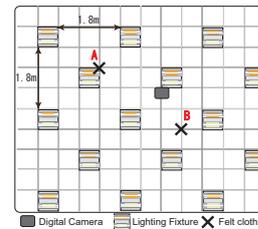


Fig. 1 Experimental environment (top view)

4.2 実験結果

Fig. 2 に照度履歴、Fig. 3 に色温度履歴を示す。実験結果より、2つの地点において照度および色温度が目標値に収束している。

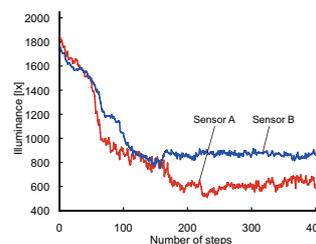


Fig. 2 History of the illuminance data

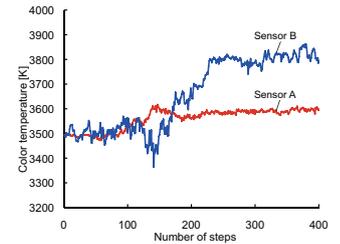


Fig. 3 History of the color temperature data

5 まとめ

知的照明システムにおいて、天井に設置したカメラの RAW 画像を用いて、照度と色温度を個別分散制御できることが確認できた。色彩照度計を用いる場合に比べ安価に作成できる点から、大規模環境における知的照明システムの実用化に有効である。

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ーシアム, 人工知能学会誌, Vol.22, No3, pp399-410, 2007
- 2) 鈴木 真理子, 三木 光範ら, オフィス内フレームを用いた知的照明システムの構築, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, 549-558, 2012-3
- 3) 木田清香, 三木光範ら, 知的照明システムにおけるパッシブ型照度計の開発, 情報処理学会, Vol.85, pp5-8, 2008
- 4) Tony Johnson, Methods for characterizing colour scanners and digital cameras, Displays, Vol.16, number4, pp183-191, 1996
- 5) Francis Schmitt, Multispectral Imaging Development at ENST, Chiba University, pp50-57, 1999