

配光特性の基底関数表現を用いたインタラクティブ室内照明設計システムの開発

5C-10

土橋宜典 金田和文 中谷秀貴 山下英生 西田友是
 広島大学 工学部 福山大学 工学部

1 はじめに

近年、コンピュータ・グラフィックスが照明設計に多く利用されるようになってきている。コンピュータ・グラフィックスを用いれば、照明器具の種類や輝度等を変更し、様々な視点から、視覚的に事前評価を行なうことができる。しかし、これまでのレンダリング手法では、光源の種類を変更した場合には、全ての計算をはじめからやり直さなくてはならないため、画像作成に時間がかかり、インタラクティブに画像生成を行うことは困難であった。本論文では、この問題を解決する方法として、点光源の配光特性を基底関数を用いて表現し、視点や光源に関するパラメータを変更した場合でも、高速に画像生成の行なえるインタラクティブ照明設計システムを提案する。

2 基底関数を用いた配光特性の表現

図1に示すように、点光源の配光特性はいくつかの基本となる配光特性の線形和として表現される。このとき、各基本成分を配光特性とする光源を用いて相互反射を考慮してあらかじめ照度を計算しておく。図1の左辺の配光特性を持つ光源による照度は、あらかじめ計算した各基本成分に対応する照度の線形和をとることにより、高速に求めることができる。また、各基本成分に対する重みを変化させることで、異なる配光特性を表わすこ

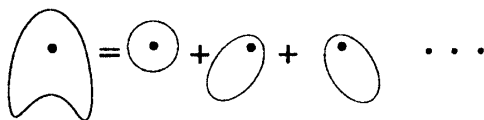


図1 配光特性とその基本成分

とができ、その場合も基本照度の線形和によって、照度を高速に求めることができる。提案手法では、軸対称な配光特性を持つ点光源を対象とし、各基本成分に球面調和関数を用いる。

図2に示すように、光源位置を原点にとり、光源の光軸方向を $(\theta_{light}, \phi_{light})$ とし、任意方向 (θ, ϕ) と灯

軸とのなす角度を γ とすると、光源の配光特性は次式によって表わされる。

$$I_{light}(\theta, \phi; \theta_{light}, \phi_{light}) = \sum_{l=0}^N w_l \sum_{m=-l}^l A_{lm}(\theta_{light}, \phi_{light}) Y_{lm}(\theta, \phi) \quad (1)$$

$$A_{lm}(\theta_{light}, \phi_{light}) = \frac{4\pi}{2l+1} Y_{lm}(\theta_{light}, \phi_{light}) \quad (2)$$

$$w_l = \frac{2l+1}{2} \int_0^\pi I_{light}(\gamma) P_l(\cos\gamma) \sin\gamma d\gamma \quad (3)$$

ここで、 $Y_{lm}(\theta, \phi)$ 、 $P_l(\cos\gamma)$ はそれぞれ、球面調和関数およびルジャンドル多項式を表す[1]。また、 N は光源の配光特性を表現するために必要な球面調和関数の次数である。 $I_{light}(\gamma)$ は希望する光源の配光特性であり、光軸方向 $(\theta_{light}, \phi_{light})$ とともにユーザにより与えられる。

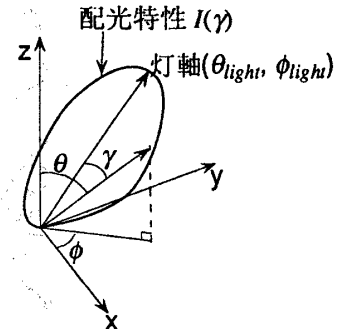


図2 配光特性

提案手法では、室内を小さなパッチに分割し、各基底関数に対応する照度データを、これらのパッチの頂点において事前に計算する。これにより、視点や注視点を移動した際にも照度マッピング法を用いて高速に画像を生成することができる[2]。

3 インタラクティブ照明設計システム

提案手法を用いれば、光源の配光特性をインタラクティブに変更し、その画像を即座に表示することが可能である。そこで、配光特性および光軸をインタラクティブに変更できるユーザインタフェースを提案する。

3.1 配光特性の編集

図3に配光特性編集用のユーザインタフェースを示す。図3に示すように、配光特性の形状を変更するための制御点が用意されている。この制御点間を線形補間した配光特性を式(3)における I_{light} として、重み w_l を計算する。配光特性編集用画面には、これらの重みから式(1)を用いて表現される光源の配光特性が表示される。制御点変更の際、一つの制御点を移動するごとに式(3)から直接、数値

An Interactive System for Interior Lighting Design Using Basis Functions as a Luminous Intensity Distribution.

Yoshinori Dobashi, Kazufumi Kaneda, Hideki Nakatani, Hideo Yamashita (Hiroshima Univ.), Tomoyuki Nishita (Fukuyama Univ.)

積分によって重み w_l ($l=1, \dots, N$)を求めていたのでは、計算時間がかかりすぎ、インタラクティブな操作に支障をきたす。そこで、制御点を変更した場合の重み w_l の変化分を求めることにより、計算時間を短縮する方法を提案する。

各重み w_l は式(3)から、数値積分により、次式によって計算される。

$$w_l = \frac{2l+1}{2} \left\{ \sum_{i=1}^M I_{light}(i\Delta\gamma) f_l(i\Delta\gamma) \right\} \Delta\gamma \quad (4)$$

ただし、

$$f_l(\gamma) = P_l(\cos\gamma) \sin\gamma \quad (5)$$

ここで、 $\Delta\gamma$ は積分間隔、 M は数値積分のためのサンプル点数である。いま、簡単のために、配光特性編集用の制御点の数が積分のサンプル点数 M に一致しているとする。このとき、 k 番目の制御点を移動した後の新たな重み $w_l^{(new)}$ は次式によって計算できる。

$$w_l^{(new)} = w_l - (I_{light}(k\Delta\gamma) - I_{light}^{(new)}(k\Delta\gamma)) f_l(k\Delta\gamma) \Delta\gamma \quad (6)$$

ただし、 $I_{light}^{(new)}(\gamma)$ は制御点 k の移動後の値である。これによって、制御点のいずれかを移動した場合、式(6)を用いて新しい重みを得ることができる。そのため、制御点を移動しながら、配光特性の編集をインタラクティブに行える。

3.2 光軸の変更

一般に、光軸方向は室内のある特定の位置を照らすように決定されることが多い。そこで、提案システムにおいては、図4に示すような室内の表示画面内の点を指定することにより、その点の方向に光軸を変更する。これを実現するために、画面上で指定された点を含むパッチを高速に求める必要がある。そのため、文献3において提案された手法を利用する。すなわち、画像を表示するフレームバッファとは別に、もう一つ別なバッファを用意し、各ピクセルに対応したパッチ番号を書き込んでおく。これによって、画面上で指定された点を含むパッチ番号を即座に得ることができる。得られたパッチ番号を用いて、逆透視変換を行い、指定された点の3次元座標を得る。これと光源位置を結ぶ方向を光軸方向とする。

4 適用例

簡単な室内の照明設計への適用例を図4に示す。部屋の天井中央に部屋全体を照らす光源と、天井のすみに局所照明用の光源が設置されている。各光源の配光特性は5次の球面調和関数で表現されている。各光源の配光特性を図4(a)の右側に示す。次に、中央の光源の配光特性と、右すみの光源の光軸方向を変化させ、さらに視点も変更した場合の

画像を図4(b)に示す。いずれの画像も、SiliconGraphics IRIS Indigo2を用いて約1.2秒で表示される。

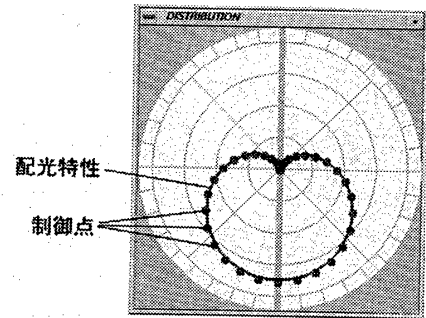


図3 配光特性編集用ユーザインタフェース

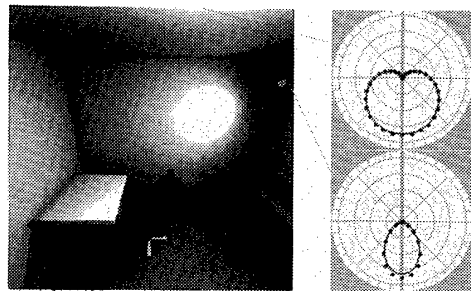
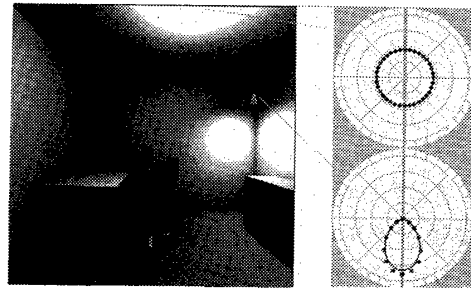


図4 簡単な室内の照明設計例

5 まとめ

提案システムを用いることによって、視点と光源両者に関するパラメータを変更しながら、インタラクティブに照明設計を行なうことが可能となった。

参考文献

- [1] 小野寺嘉孝：物理のための応用数学，裳華房(1988)。
- [2] Akeley, K. and Jermoluk, T. High-Performance Polygon Rendering. *Computer Graphics* 22-4, pp. 239-246 (1988).
- [3] Pat Hanrahan and Paul Haeberli, Direct WYSIWYG Painting and Texturing on 3D Shapes, *Computer Graphics* 24-4, pp. 215-223 (1990).