

3T-6

光束追跡法による分光処理

新谷幹夫 齋藤隆文 高橋時市郎

NTT ヒューマンインタフェース研究所

1 はじめに

七色に輝く宝石は世の女性を魅了するところのものである。これらをCGにより表現するためには、透明体の屈折率波長依存性を考慮したレンダリング、すなわち分光処理が必要になる。分光処理としては、高木らの先駆的研究[1]があり、その後、國井らにより処理効率が改善された[2, 3, 4]ものの、未だ計算量が多大であると言わざるを得ない。

一方、筆者らは光束追跡法を提案し、その分光処理への応用を示唆した[5]。本稿では、光束追跡法を拡張し、分光現象を取り込む。さらに、分光現象が最も顕著である透明多面体に対し、拡張された一般化透視投影を適用する。これにより、空間コヒーレンシ及び「波長コヒーレンシ」を総動員し、安価な分光処理を提供するものである。

2 分光処理のモデル

分光処理は波長毎に物体の像を生成する処理に他ならない。そこで、通常の2次元スクリーンに波長軸を付加し、仮想的な3次元のスクリーン空間を考える(図1)。このスクリーン空間において、分光処理は各波長に対する像の集合を求める処理としてモデル化される。この像の集合は立体をなすので、分光像立体と呼ぶことにする。分光像立体のλ=一定の面によるスライスは、波長λの単色光に対する投影像に一致する。

分光立体像を求めるため、高木らは各画素あたりN波長(例えば、N=9)サンプルし、独立に光線追跡を行なった[1]。一方、國井らは、波長方向のコヒーレンシに着目し、3波長/画素のサンプルから他の波長を2次補間している[2]。本稿では、波長による像の変化を線形近似し、分光像立体を1つの光束として扱えるよう光束追跡法を拡張する。これにより、空間コヒーレンシと波長コヒーレンシを同等に扱い、高速かつエレガントな分光処理を実現する。

3 光束追跡法の拡張

光線ベクトル

通常の光束追跡法において光線は、始点の位置 \vec{x} と方向 $\vec{\xi}$ を組み合わせた4次元ベクトルで表現される[5]。こ

れに波長の自由度を付加し、 $\phi = (\vec{x}, \vec{\xi}, \lambda)$ なる5次元ベクトルで表現する。ただし便宜上、λを0~1に規格化しておく。

システムマトリックス

システムマトリックスは反射・屈折等による光線ベクトルの変化を線形近似するものであり[5]、以下のように5次元化される。

$$\begin{bmatrix} \vec{x}' \\ \vec{\xi}' \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T & \vec{\delta}_x \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{x} \\ \vec{\xi} \\ \lambda \end{bmatrix}$$

ここで、Tは通常の4×4システムマトリックスである。また、 $\vec{\delta}_x$, $\vec{\delta}_y$ はそれぞれ波長変化による位置、方向の変化を示している。これらは、①システムマトリックスの屈折率依存性、②屈折率の波長による変化、を線形近似することにより、容易に公式化される。

一般化透視投影

一般化透視投影ではシステムマトリックスを用いることにより、反射・屈折した物体の投影像を求める(詳細は文献[5]を参照されたい)。上記拡張により、拡張された一般化透視投影においては、物体の分光像立体(多面体)がスクリーン空間で求められる(図2)。これにより、分光像多面体が高速に求まる。

4 光束追跡法による分光処理

以上の拡張により、通常の一般化透視投影による画像生成手順[5]を用いて自然に分光処理がなされる。この手順を以下に示す。

①軸光線の追跡

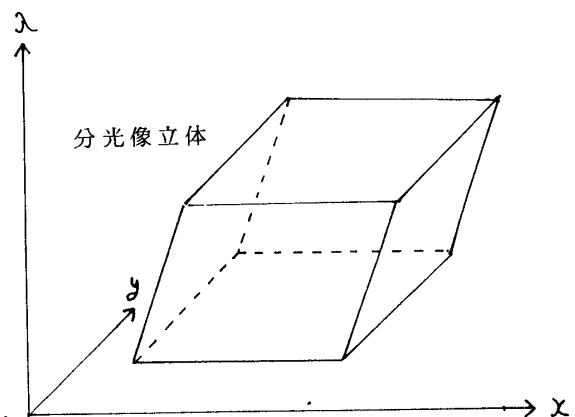


図1

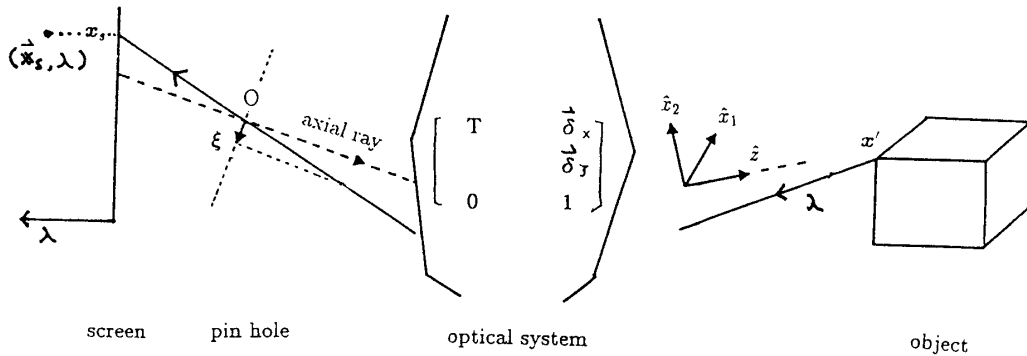


図 2

- ② システムマトリックスの計算
- ③ 一般化透視投影
- ④ クリッピング
- ⑤ 隠面処理
- ⑥ スキャンコンバージョン

このうちクリッピング処理では、ある透明な面を透過して観察され得る可視面を求めている。この可視面は波長により変化するので、スクリーン空間において3次元クリッピングを行なう。これにより、光束の分割が自然に行なわれる。スキャンコンバージョンでは、分光像多面体を用いて画素値を求めるため、以下のような工夫が必要である。

5 分光処理用スキャンコンバージョン

あるスキャンラインにおける分光像多面体の断面を図3に示す。本処理では、各画素において寄与する波長の領域 (λ_1, λ_2) を求める必要がある。この領域は、予め波長の増分を求めておくことによりインクリメンタルに計算できる。ついで、 λ_1, λ_2 を用いて画素の R, G, B の値を

$$R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} t(\lambda)r(\lambda)L(\lambda)d\lambda$$

$$G = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} t(\lambda)g(\lambda)L(\lambda)d\lambda$$

$$B = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} t(\lambda)b(\lambda)L(\lambda)d\lambda$$

と求める。ここで、 $L(\lambda)$ は物体光などの分光分布であり、 r, g, b は等色関数などを用いればよい。また、 t は光線の透過率であり、 λ の1次式もしくは定数で近似する。この積分は、分光分布関数に対して、予めテーブルを作成することにより、効率的に求められる。

6 選択的分光処理

分光による色ずれの大きさは、実はシステムマトリックスを求めた段階で評価可能である。そこで、色ずれの

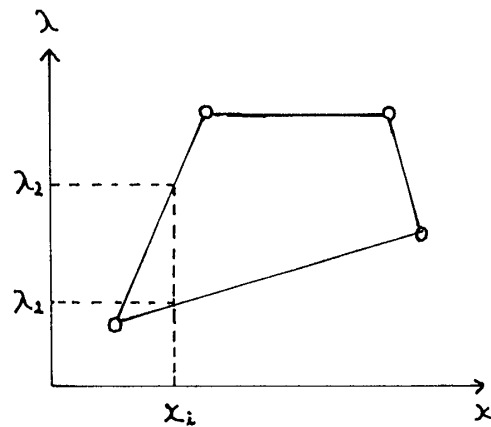


図 3

幅が1画素未満と判定された場合には、通常的光束追跡を行なう。これにより、拡張のために生じるオーバーヘッドを減少させ、さらに高速化することが可能である。

7 まとめ

光束追跡法を拡張することにより、高速かつエレガントな分光処理を提案した。今後、処理速度および1次近似の妥当性を実証的に検証する。

謝辞 日頃御指導を戴く安田画像部長、滝川リーダ、討論いただいたグループ諸氏に感謝します。

(参考文献)

[1]高木、横井、鶴岡、三宅：「色分散を考慮した光線追跡法の一方法」，情報処理学会グラフィックスとCADシンポジウム、pp81-87(1984)
 [2,3,4]袁鷹、國井、他「色分散を考慮したRAY-TRACING(1)~(3)」，情処全大，pp.2087-2092(昭和63前期)
 [5]M. Shinya, T. Takahashi, S. Naito, 'Principles and Applications of Pencil Tracing', Computer Graphics, Vol. 21, pp. 45-54 (1987)