

3T-7

光の相互反射を考慮した 高速画像生成のための一手法

西村 健二 平井 誠 中瀬 義盛 森山 弘樹
 松下電器産業(株) 情報システム研究所 松下A.V.Cソフト(株)

1. はじめに

最近、コンピュータ・グラフィックス(CG)を用いて室内のインテリアなどをリアルに表現したり、照明設計にCG技法を適用したりする試みが盛んに行われている。例えば、光の相互反射を考慮したラジオシティ法¹⁾によるものがある。しかし、この手法では相互反射光の計算に膨大な時間と記憶容量が必要なためにあまり実用化されていないのが現状である。

本稿では、これらの問題点を解決するための手法を提案し、それを用いて高速に各物体表面間の相互反射及び光源の配光特性を考慮した光学シミュレーションを行なって物体表面の照度を求め、その結果を照度マッピングデータとしてレンダリング時に用いることにより非常にリアルな画像生成が可能な手法について述べる。

また、プライム社のグラフィック・ワークステーションPXCL 5500T(CPU:10MIPS, FPU:1.1MFLOPS)上に本手法を実現し性能評価を行なった。

2. 概要

本稿では、物体の形状モデルとしてメッシュ構造のサーフェイス・モデルを用い、その表面は全て拡散反射面であるとす。

2.1 直射照度の算出

光源からの直射光は、一般に指向性が強く光強度が大きい物体表面に比較的鋭い照度変化をもたらす。この照度変化を正確に表現するために、物体表面を構成するメッシュの各パッチが比較的大きい場合さらにいくつかのサブパッチに分割し、各サブパッチごとに直射照度計算を行なっている。

また、光源モデルは点光源、面光源、多面体光源を用いて様々な配光特性や減衰率を持つ照明や太陽光などをシミュレートする。

2.2 環境照度の算出

物体間の相互反射による環境光は、一般に指向性が弱く光強度は小さいが室内などの閉じた空間では全体の照度分布にかなりの影響を及ぼす。例えば、光源からの直射光が届かないのに明るい所や直射光の条件は等しいのに照度が異なる所などがある。

環境照度は次のn元連立1次方程式を解くことにより求めることができる¹⁾。

$$\begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ \vdots \\ E_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-d_{11} & -d_{12} & -d_{13} & \cdots & -d_{1n} \\ -d_{21} & 1-d_{22} & -d_{23} & \cdots & -d_{2n} \\ -d_{31} & -d_{32} & 1-d_{33} & \cdots & -d_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -d_{n1} & -d_{n2} & -d_{n3} & \cdots & 1-d_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} E_{01} \\ E_{02} \\ E_{03} \\ \vdots \\ E_{0n} \end{pmatrix}$$

($d_{ij} = \rho_j F_{ij}$)

ここで、nは全パッチ数、 E_i は全照度(直射照度+環境照度)、 E_{0i} は直射照度、 ρ_j はパッチjの反射率、 F_{ij} はパッチjから放射する全光束のうちパッチiに入射する光束の割合(フォーム・ファクタ)である。

2.3 照度マッピングデータの算出

照度マッピングデータは各メッシュごとにサブパッチの直射照度と環境照度との和を求めて作成し、全サブパッチ数と等しいサイズのデータとして出力する。この時サブパッチの環境照度はそれを含むパッチの環境照度を補間して得る。

2.4 レンダリング

レンダリングの段階ではスキャンライン・アルゴリズムを用いて隠面処理を行ない、上述の照度マッピングデータ及び他の各種マッピングデータを用いてRGBそれぞれの輝度を算出する。また、反射・透過・ハイライトなどの処理も行う。

3. 高速化手法

照度計算においていくつかの高速化手法を考案した。多くの場合これらの手法は生成画像の品質を殆ど落とさずに計算時間の短縮を図ることができた。

3.1 交差判定の高速化

物体の照度計算においてかなりの時間が光線(相互反射における反射光線を含む)とその光線を遮断する可能性のある物体との交差判定に費される。そこで、すべての物体(光源を含む)に直射及び環境照度算出用にそれぞれ3種類のフラグを付加し交差判定を効率化した。

- ① その物体が光線を遮断する可能性があるか否かを示すフラグ。
- ② その物体に向かう光線を遮断する他の物体があるか否かを示すフラグ。
- ③ その物体から発する光線を遮断する他の物体があるか否かを示すフラグ。

A High_speed Rendering Method for Interreflection

Kenji NISHIMURA¹, Makoto HIRAI¹, Yoshimori NAKASE¹, Hiroki MORIYAMA²

1: Matsushita Electric Industrial Co., LTD.

2: Matsushita A.V.C. Software Co., LTD.



図 1 . 昼の室内

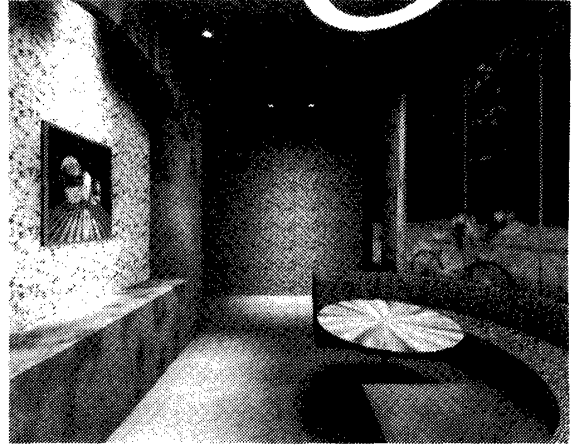


図 2 . 夕方の室内

表. 画像生成実験の結果 (1280×1024画素)

	パッチ数 (#7°パッチ数)	光源	直射照度 計算	環境照度計算			インゲリング
				フォーム・ファクタ算出	方程式の解算出	行列の非零要素数	
昼	1,526 (8,006)	太陽光及び 室外反射光	226秒 [838秒]	28秒 [6,038秒]	1秒 [0.5秒]	142,262 [76,681]	290秒
夕方	1,526 (10,086)	室内照明 7個	97秒 [639秒]	32秒 [9,185秒]	2秒 [0.8秒]	213,836 [99,542]	290秒

[]内は交差判定高速化の適用前

3.2 環境照度算出の高速化と省メモリ化

環境照度算出においてn元連立1次方程式はガウス-ザイデル(Gauss-Siedel)の反復法により高速に収束解を得ることができる。しかし、n×nの行列の全ての要素を求めるにはO(n³)の時間がかかる。また、行列の全ての要素を格納するのに大容量の主記憶及び二次記憶が必要である。これらを解決するために次の手法を用いた。

① 直射光による輝度がモニターで表示できる最大輝度よりも大きいパッチをパッチiとおいた時、他の全てのパッチjからのフォーム・ファクタをF_{ij}=0とする。

これは、直射光に照らされた非常に明るい面は環境光の影響が相対的に小さいことを考慮したものである。

② 直射光による輝度がモニターで表示できる最小輝度よりも小さいパッチをパッチjとおいた時、他の全てのパッチiへのフォーム・ファクタをF_{ij}=0とする。

なぜなら、直射光で影になっている面が環境光に影響を及ぼす割合は非常に小さいと考えられるからである。

③ あるメッシュが等しい面積のp個のパッチに分割されていて、このメッシュの大きさに対し距離が十分離れているパッチをパッチiとする。

この時メッシュ全体からパッチiへのフォーム・ファクタF_{im}を用いて、メッシュ上の任意のパッチjからパッチiへのフォーム・ファクタF_{ij}は、

$$F_{ij} = F_{im} / p$$

で得られる。

3.3 性能評価

上述の高速化の手法を用いて実際に生成した画像を図1、2に示す。また、画像生成時の各種条件及び計算時間を高速化手法の適用前と比較して表にした。

図1は昼の室内を想定して窓からの太陽光線及び室外からの反射光を光源として、図2は同じ部屋の夕方を想定して複数の室内照明を光源としてそれぞれシミュレーションしたものである。室内の様子が自然な照度分布によりリアルに表現されている。

また、表より交差判定高速化の適用により照度計算が数十倍高速になっており本手法がかなり有効であることがわかる。

4. おわりに

相互反射を考慮した光学シミュレーションにより求めた照度をマッピングすることにより非常にリアルな画像を高速に生成する手法について述べた。

今後の課題として、拡散反射面以外の物体表面を含む場合の環境照度の高速な算出法や光の波長を考慮した光学シミュレーションの導入などが挙げられる。

参考文献

1) 西田、中前：「影および拡散照度を考慮した三次元物体の陰影表示」、情報処理学会、グラフィックスとCAD研究会、14-2、1984