

被写界深度表示のための高速化技法

1U-1

隈元 玄

ダイキン工業株式会社 電子技術研究所

1.はじめに

写真の様なCG画像が要求される昨今、被写界深度表示の様な技法も要求される様になった。しかしながら、被写界深度表示をCGで実現する従来の手法には、処理負荷が膨大になると言う欠点があった。この点を考慮し、今回処理速度と画質制御の点で従来法を改善した手法を提案する。報告手法は、従来法へのインプリメントが容易である等の特徴を持つ。

2.被写界深度の原理

被写界深度とは「いくつかの物体にはピントが合って見えるが、その他の物体はピントが合っていない」状態である。これは肉眼での認識能力と像を映している媒体の機能が原因で生じる現象である。

図1においてレンズからの距離Pの点に焦点が合っており、この点に対応するイメージプレーンまでの距離がVpであったとする。焦点距離Pより遠い点のレンズまでの距離がDなら、この点はVdの位置においてピントが合う。従って、距離D上にある物体は、イメージプレーン上では円の集合体として投影される。この円は錯乱円と呼ばれ、その大きさはその位置の画像がどれほどデフォーカス（ピンボケ）であるかの程度を表し、レンズからその点迄の距離とレンズの光学的特性によって決まる。

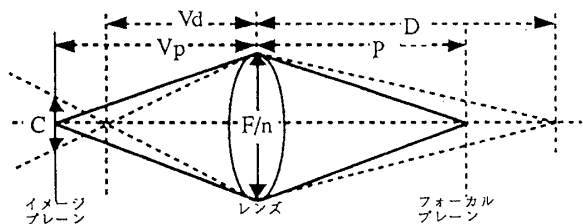


図1：被写界深度の原理

今、錯乱円の直径をCとすると

$$C = |V_p - V_d| F / (n V_d)$$

の様になる（但し、F/nは有効レンズ直径）。

CGにおける被写界深度のシミュレーションは、通常の撮影プロセスにおいて露出時にフィルム上で起きる、錯乱円内領域での積分プロセスに近似させた処理を行なう事で実現できる。

3.提案アルゴリズム

従来法で代表的なものは、ポストプロセス的な手法^[1]と分散レイトレーシング法^[2]である。いずれの手法においても、被写界深度を実現するにはサンプル点から見える錯乱円領域内で畳み込み積分処理（フィルタリング）を行なう必要があるが、画素毎に行われるこの処理は非常に高負荷である。この計算負荷の軽減が無くては、全体の計算処理の高速化は難しい。さて、被写界深度イメージを観察すると、デフォーカス領域での輝度計算処理は、その部分の画像の性質から特に連続した一画素毎に行なう必要は無いと考える。そこで、焦点距離付近では密にサンプル点を計算し、焦点距離から遠くなりデフォーカスの度合いが大きくなる程サンプル点を疎に取り、サンプル点間の画素色は輝度計算したサンプル点輝度値で補間すれば、画質をそれ程劣化させる事無く全処理時間を短縮できると考える。また、画像のコヒーレンシとレンズ特性（錯乱円直径）を考慮に入れ、適切なサンプル間隔を決定すれば、処理速度と画質を制御する事ができる。例えば、サンプル間隔を小さく設定しておけば、生成される画像の画質は高くなるが処理時間は掛かる。逆に、サンプル間隔を大きく取れば、そのレイトに応じて処理時間は大幅に短縮されるが画質もそれなりになる。つまり、利用目的に応じて適切なレイトを選定する事ができる。具体的には図2の様な画像において、奥行き情報が同図の様に中央部付近に焦点距離が合っており、周辺部へ行くにつれ焦点距離から遠ざかっている様な場合、サンプル間隔を図3の様に取る。錯乱円内部の輝度分散の計算は、画質に応じて任意のフィルタを選択すれば良い。

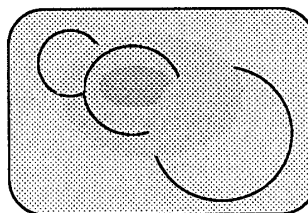


図2 奥行き情報

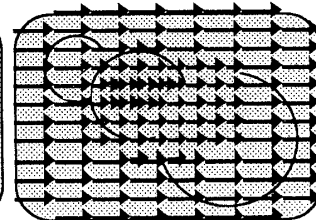


図3 サンプル間隔

また錯乱円の直径は、通常、焦点距離から遠方向と近方向では非対称に連続的に変化するが、これを対称かつ離散的な値で近似して、パラメータを変更

し何度かシミュレートしたが、生成された画像に関し客観的な見地から特に違和感は無かった。そこで、焦点距離とその前後でピントが合う距離、及び距離領域の広がり具合を計算する係数の3変数を与えて、錯乱円の直径を制御した。これにより被写界の範囲を直感的に指定する事ができるようになった。図4に全体の処理フローを示す。

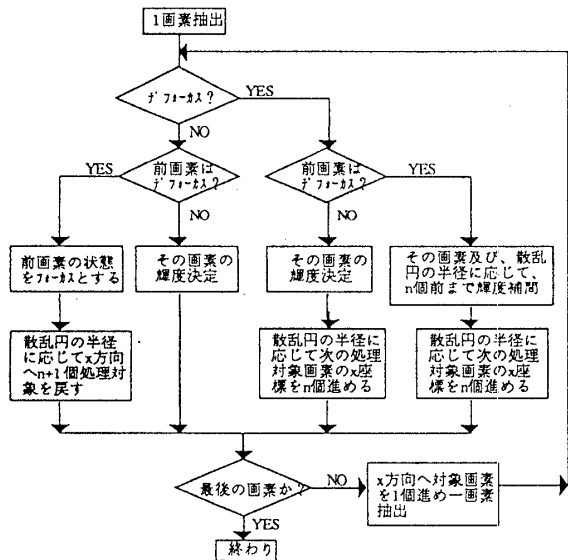


図4：全体の処理フロー

4. 評価

写真1は5つの異なるテクスチャマッピングを施した球を等間隔に配置したシーンを、通常のレイトレーシング法で生成した画像である。写真2は同じシーンを従来法で被写界深度シミュレートしたものである。手前から4番目のボールに焦点が合うようにレンズ特性パラメータを調節してある。シーン内デフォーカス領域では、平均約10サンプル/画素の割合で光線数を増加させているが、ピントが合っている領域では光線数は

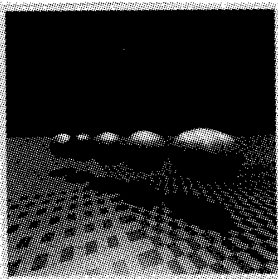


写真1

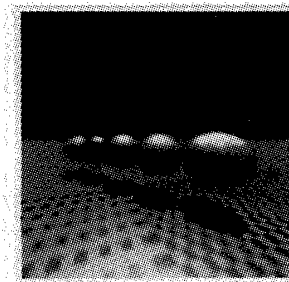


写真2

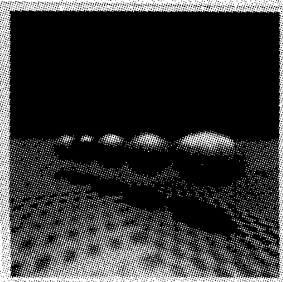


写真3

増やしていない。写真3は同じシーンを提案手法で生成した画像である。輝度補間の間隔は錯乱円に応じて変えてあるが、その画素位置の錯乱円の直径×0.4程度(但し最低1画素おきとする)に設定した。従来法の画像と比較してもほぼ同等な画質が得られた。

以下に各画像の生成時間を表にする。

レイトレーシング	従来法	提案手法
20秒	230秒	50秒

従来法(分散レイトレーシング法)で被写界深度をシミュレートした場合、通常のCG生成に比べ9~16倍以上処理時間が掛かる。この処理時間は1画素当たりのサンプル数に比例するが、サンプル数を減らすと画質の劣化を招く。一方提案手法では、補間間隔のレイトにより2~6.5倍程度で被写界深度をシミュレートできる。従来法と比べれば、2~5倍以上高速になる事が分かる。また、提案手法において錯乱円×0.2の補間間隔(従来法の2~3倍の速さで処理できる)であれば、従来法で生成された画像とほとんど遜色の無い画質で生成される事が確認できた。

5. まとめ

被写界深度表示のための高速化技法を提案した。

本手法は以下の様な特徴を有する。

- ◎処理速度が高速である。：この傾向はデフォーカスな領域が大きいほど顕著で、試験画像においては従来法と比べ、処理速度で2~5倍以上高速になった。
- ◎画質を制御できる。：サンプル間隔を大きく取れば高速に、小さく取れば画質を高める事ができる。実験から、通常の画像であれば、従来法の2~3倍の速度で従来法の画質と遜色無い画像が生成できる。
- ◎従来法へのインプリメントが容易である。：分散レイトレーシング法のプログラムには、補間間隔の決定と輝度補間のためのルーチンを追加するだけで提案手法をインプリメントする事ができる。

また今後の課題として、以下の点が挙げられる。

- 最適サンプル間隔の決定方法：生成する画像によって、サンプル間隔と画質の最適な関係が予想し難いため、その画像毎に最適なサンプル間隔を選ぶには、何度かの試行錯誤を必要とする。定量的な判断基準があれば、より便宜性の高いシステムになるだろう。

参考文献

[1]Potmesil他, "A Lens and Aperture Camera Model for Synthetic Image Generation", Computer Graphics '81
 [2] Robert L. Cook, "Distributed Ray Tracing", Computer Graphics '84