

論文の内容の要旨

論文題名 : Spatial Data Structures for Photorealistic and Non-photorealistic Rendering

写実的・非写実的画像生成のための空間データ構造に関する研究

氏 名 : 高橋時市郎

本論文は、新しい空間データ構造の導入により、写実的画像生成ならびに非写実的画像生成の両分野におけるコンピュータグラフィックス技術の新たな展開を示すものである。写実的画像生成技術に関して、光源空間における新しい空間データ構造を考案し、写実性向上の鍵となる付影処理の新技术を確立した。また、スクリーン平面でのデータ構造の改良により、イラストや油絵のような画像を生成する技術や、レンダリング結果から元の物体をNCマシンで容易に加工する新しいモデリング技術など、非写実的画像生成non-photorealistic renderingと呼ばれる新しい技術分野を開拓した。

1. 光源空間の空間データ構造と高速・高精度付影処理技術

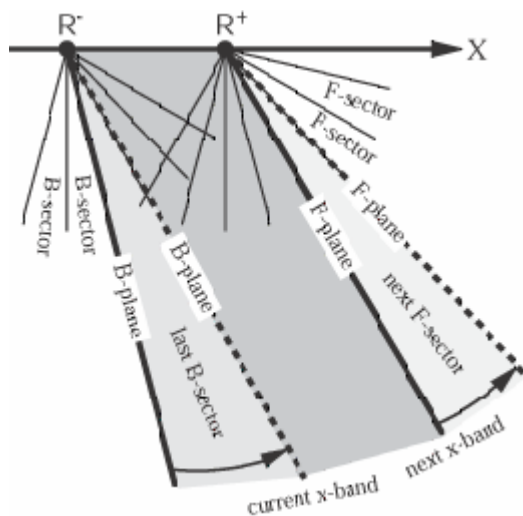
光源空間での空間データ構造については、空間を均等な大きさの賽の目状に細分割する従来技術に代えて、光源のコヒーレンスに着目して、光源を中心として放射状に空間を分割するray-oriented buffer法を考案し、付影処理の大幅な高速化と高精度化を実現した。

蛍光灯のような線光源による付影処理の高速化を実現した。線光源の場合、光がまったく届かない本影と、光が一部遮られて生ずる半影の2つの影領域が生じる。空間上の1点での照度を計算するには、その点と線光源の両端点を結んでできる三角形（光源三角形）を横切る物体があるかどうか、シーンを構成する全物体について求める必要があり、それが計算時間の爆発的な増大を招く。これを避けるため、空間データ構造を工夫することによって、光源三角形と交差するかどうかを調べる物体の数を減少する方法を考案した。つまり、線光源を含む複数枚の平面で原空間を扇状の部分空間に分割する。各部分空間を扇形空間と呼ぶ。次に、各扇形空間内に存在する

物体のリストを作成するが、この処理の負荷は極めて小さい。

線光源から出てある扇形空間に入る光は他の扇形空間に入ることはない。つまり、光の照射される方向だけで扇形空間は決まる。そのため、物体のリストを蓄えるバッファをray-oriented bufferと呼ぶ。さて、照度計算点が与えられたら、その点を含む扇形空間を求め、そこに登録されている物体が光源三角形と交差するかどうかを調べればよい。この空間データ構造により、処理量を大幅に減少させることができるので、高速化が実現される。

面光源に拡張するには、もう一工夫必要である。面光源の場合、照度計算点と光源を底面とする多角形で構成される多角錐（光源角錐）を考え、多角錐を横切る物体があるかどうか、シーンを構成する全物体について求める必要がある。そこで、まず、面光源の外接矩形を求め、その四辺を線光源と見立てる。先ほど説明した(2)と同様に各辺を含む平面で原空間を扇状に分割する。そして、矩形の向かい合った二辺について、それぞれの辺を含む2枚の平面ではさまれた空間に分割する(図参照)。この二辺と直交する他の二辺についても同様の処理を行うことができるので、先に分割された部分空間をさらに細分割することができる。細分割された各部分空間について、各部分空間に存在する物体のリストを作成する。この処理によって、影を生じる可能性のある物体の数を大幅に減らすことができ、処理全体の高速化が実現できる。



扇形空間分割法の原理



面光源による画像生成例

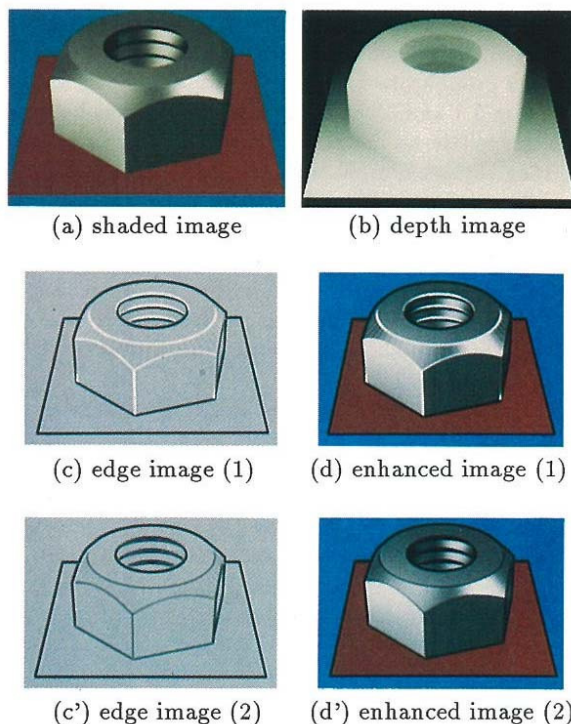
以上述べたように、空間を均等な大きさの賽の目状に細分割する従来技術に代えて、光源のコヒーレンスに着目して、光源を中心として放射状に空間を分割するray-oriented buffer法を考案し、付影処理の大幅な高速化と高精度化を実現した。線光源や面光源のような現実に存在する光源によって生じる本影・半影を扱うことができるので、極めて写実的な映像生成が可能となった。

2. スクリーン平面での空間データ構造と非写実的画像生成技術

スクリーン平面での空間データ構造の改良により、様々なコンピュータグラフィックス技術の応用が広がる。

- (1) 実際の画像生成作業では、アングル（視点）を決めた後、物体の光学的属性や光源の位置等を変更し、その度に画像生成処理を再実行して、画像を仕上げていく。この画像生成処理には膨大な計算量が必要となり、インタラクティブ操作は困難である。そこで、画像生成処理のうち、レンダリング処理の前段、透視変換および隠面消去処理の結果を中間バッファ *geometry buffer* に保持しておく技法が考案されている。すなわち、幾何処理を省略できるので、その分、高速化がはかれる。さらに、アングルは変わらないが、もう少し画像をズームアップして細部を見ようとする、画像生成処理を最初からやり直すことになる。直交スキャンライン法では、1画素中に投影される物体の稜線で画素を小領域に分割して記憶する。直交スキャンライン法の隠面消去結果を蓄積する *cross scan buffer* を用いることにより、拡大縮小しても画像品質が劣化せず、高速なレンダリング処理の再実行を実現した。

- (2) 先に述べた単純なデータ構造を有する *geometry buffer* に対しても、画像処理を施すことにより、イラストや油絵のような画像を生成する非写実的画像生成という新しい技術分野を開拓した。1990年、非写実的映像生成というコンセプトを提唱し、その有効性を示した論文は、ACM SIGGRAPH'90で採録、発表の機会を与えられ、写実的映像生成技術一辺倒で進んできたコンピュータグラフィックスに新しい研究開発分野の存在を知らしめたパイオニア論文として、高く評価された。



G-bufferによる強調描画の例

(3) さらに, *geometry buffer*に対して画像処理を施すことにより, 三次元モデルを実際に生成する応用技術も考案した。具体的には, NCマシンによる三次元物体の切削加工技法を確立した。本技術は, ラピッドプロトタイピング事業として商用化された。



(a) result of rough cutting



(c) result of fine cutting (*x*- and *y*-scanning)



(b) result of fine cutting (only *x*-scanning)



(d) result of corner cutting

G-bufferによるNC加工の例

以上のように, イラストや油絵など, 非写実的画像生成に加えて, グラフィックス技術のNCマシン加工技術の確立という新しい応用分野を開拓し, コンピュータグラフィックス技術の新たな展望を示した。

本論文では, 空間データ構造を工夫することにより, コンピュータグラフィックス技術の様々な展開が可能となることを示し, 本学術分野の進展に大きく貢献した。