

octreeに基づく3次元形状処理の検討

4D-6

森本経宇* 山口和紀**

(*筑波大学理工学研究科 **東京大学)

1. はじめに

機械系CAD/CAMにおいて自由曲面を持つような複雑な形状を扱う場合、ソリッド間の集合演算を行ったりソリッド間の交面や交線を求める際に、計算が非常に難しくなるという問題がある。本研究ではそのような問題を解決するための1つのアプローチとして、octreeに基づく再帰的空間分割法の研究を行う。

2. octreeデータモデル

octree[1][2]は3次元空間内で物体の占める領域を3次元空間内の再帰的な8等分割で表現する方式である。すなわち、ソリッドを小さな立方体(octantと呼ぶ)の集まりで近似的に表現しようとするものである(図1を参照)。

octreeでソリッドを表わせば、論理演算が容易にできるという利点があるが、曲面を持つソリッドの場合、ノードの数が多くなる、また、面の情報(2つのソリッドの交点や交線を求めるときに必要)がないという欠点もある。

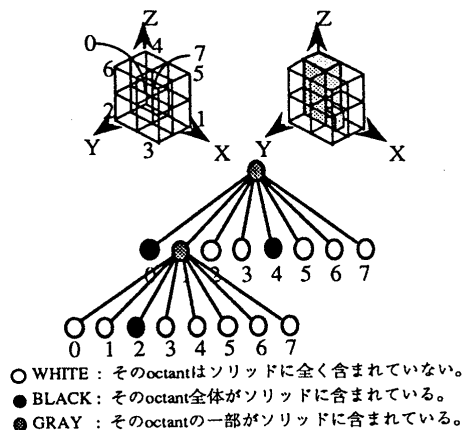


図1 octreeの例

3. face octreeデータモデル

face octree[3]データモデルはoctreeデータモデルと同様に、ソリッドを3次元空間の再帰的な8等分割で表現する方式であるが、face octreeでは、従来のoctreeのWHITE、BLACKに加えて面の情報(曲面を平面に近似した方程式)を持つFACEとラベル付けされたノードを導入している。FACEノードは、図2のようにoctant内にソリッドの面の一部分をただ1つ包含し、そのoctant内で曲面が指定された誤差 ϵ により平面に近似され、それ以上分割せず不要な分割を減らしている。

このface octreeデータモデルの有効性を評価するために、2次元版のface quadtreeシステムを用いて評価を行なった。face octreeの利点として、曲面を表現する場合にノード数が減少する、曲面を近似した平面の方程式が存在する(2つのソリッドの交点や交線が近似的に求められる)という利点があるが、face octreeデータ構造を生成するのにかなりの時間を要する、もとの曲面のデータがない、処理できない場合があるなどの欠点もわかった。

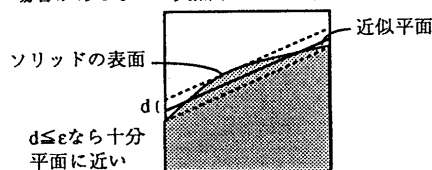


図2 曲面の平面近似

4. surface octreeデータモデル

3節で述べた欠点を改良するために、本研究では分割の終了条件を変え、また曲面そのもので表現する(曲面を平面に近似しない)surface octreeデータモデルを検討した。

現在はsurface octreeシステムの2次元版であるsurface quadtreeシステム(3節で用いたものを改良したもの)を用いて実験、評価を行なっている。評価のために自由曲線としてB-spline曲線を用いている。ここでは、反時計方向に方向付けされた自己交差のない複数の開B-spline曲線によって囲まれた領域を面と定義し、その面に対しsurface quadtreeを生成し、評価を行なう。

現在、検討中のsurface quadtreeの分割の終了条件及びそのノードのラベルは以下のとおりである。

- Quadrant(2次元版のoctant=正方形)全体が面に含まれている(BLACK)。
- Quadrant全体がまったく面に含まれていない(WHITE)。
- Quadrant中にB-spline曲線がただ1つ存在し、その曲線の端点はそのquadrant中に存在しない(FACE)。
- Quadrant中にB-spline曲線がただ1つ存在し、その曲線の端点が1つのみ、そのquadrant中に存在する(END)。
- Quadrant中に存在するすべてのB-spline曲線が唯一、一点で交わる(VERTEX)。

システムの実現上問題となるのは、ノードの判定法、計算機内のデータの重複の排除及び整合性の維持である。そこで、以下の方法によってこれらの問題を処理する。

ノードの判定法

まず、B-spline曲線がquadrantの境界線を何回横断するかを調べる。表1は横断数とノードの種類との関係を示したものである。次に、そのquadrant中に存在するB-spline曲線の数、

曲線の数2以上場合は曲線同士の交点についても調べる。
 しかし、交点を調べる場合、B-spline関数(階数4の場合)は媒介変数形式の3次式で表わされるのでB-spline曲線同士の交点を求めるにはかなりの計算量が必要である。そこで現在、高速でかつ近似精度のよい方程式の解法を検討している。現在、検討している解法は次の通りである。

- ニュートン法・・・比較的高速であるが振動する場合がある。また、初期値の設定が困難である。
- 部分線分分割法・・・安定であるが収束が遅い。
- 陰関数化→高次1変数方程式→数値解法・・・1変数で計算できるが、高次1変数方程式を解くためにニュートン法等の数値解法の処理が必要である。

上記の横断数、曲線数及びB-spline曲線同士の交点数より表2のようにノードを判定する。

横断数	ノードの種類
0	BLACK or WHITE or END or VERTEX or GRAY
1	END or VERTEX or GRAY
2	FACE or VERTEX or GRAY
3以上	VERTEX or GRAY

表1 横断数とノードの種類

横断数	曲線数	*	ノードの種類
0	0	—	BLACK or WHITE
	1	—	END
1	1	—	END
2	1	—	FACE
—	2以上	○	VERTEX

* : quadrant中のすべての曲線が一点で交わるかどうか。
 ○ : 交わっている。 — : 調べる必要がない。
 表2 ノードの判定

計算機内のデータの重複の排除及び整合性の維持

図3のような場合、quadrantの境界線e上のデータはquadrant q0,q1,q2,q3に共有されている。そのデータを各々のquadrantに保持するとデータの重複になってしまう。また、B-spline曲線がquadrantの境界線を何回横断するかを各々のquadrantについて求めると、計算の冗長性を生み出すだけでなく計算機の内部誤差により隣接するquadrant間の整合性が失われる可能性がある。そこで、複数のquadrantに関係する計算を一括して行うようにし、その計算果を各々のquadrantから参照できるようにする。すなわち、quadrantの境界線上の情報と頂点上の情報及びquadrant内部の情報を独立させ、それぞれポイントでつなぐことにより同じデータを参照できるようにする。こうすることにより、計算機内のデータの重複を排除し、隣接するquadrant間の整合性を維持することができる。例えば図3のような場合、q0からeを参照するとB-spline曲線とeの交点p0,p1を参照できる。ま

た、q2からeを参照するとp2,p3が参照できる。

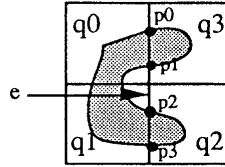


図3 データの参照例

5. surface quadtreeの評価

ソリッドに対し、前処理としてsurface octreeデータ構造を生成しておけば、内外判定やソリッド間の集合演算が処理し易くなり、また、複数のソリッド間の交面や交線を容易に求めることができると考えられる。

そこで、surface octreeデータモデルのそれらの有効性と実現方法を実験・評価するために、surface quadtreeシステムを製作しているが、現在実現されているシステムはただ1つの閉B-spline曲線によって囲まれた面のみを対象とし、直線近似をしないようにしたものである。終端ノードの種類はBLACK、WHITE、FACEのみである。またノードの種類は横断数のみにより判定(ただ1つの閉B-spline曲線によって囲まれた領域に限定している)ので判定可能)している。

現時点の改良で、図4(a)のように面の内外判定が可能(内外判定が可能な程度とは、ソリッドが分割され、かつquadrant内で十分単純になれば分割を終了し、それ以上無駄な分割を行わないようになった。また、無意味な近似直線(図4(b)参照)もsurface quadtreeでは曲線を直線に近似しないので避けられるようになった。surface quadtreeデータ構造生成に要する時間に関しては、面の境界線の複雑さに依存するが、ある例では処理時間がface quadtreeと比較して1/100になったものもある。

6. まとめ

現時点までのsurface quadtreeの実験により、3次元face octreeにおける処理時間の短縮、及び曲面によるソリッドの表現の見通しが得られた。今後の課題は、surface quadtreeシステムを実現し、実験と評価を行ない、surface octreeシステムを実現することである。

[参考文献]

[1]Christoph M. Hoffmann,"Geometric and Solid Modeling,-An Introduction-",Morgan Kaufmann,1989.
 [2]Hanan Samet,"The Design and Analysis of Spatial Data Structures", Addison Wesley, 1990.
 [3]Pere Brunet,Alvar Vinacua,"Geometric Modeling,-Methods and Applications-",Springer-Verlag,1991,pp17-34.

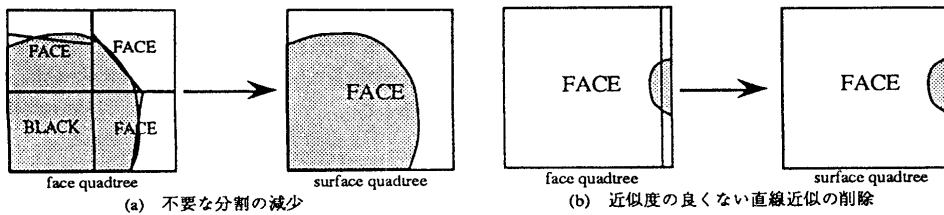


図4 surface quadtreeによる改善の効果