

SLIM 曲面を用いた立体集合演算の一手法

井口 恒志[†]西尾 孝治[†]小堀 研一[†]大阪工業大学[†]

1. はじめに

形状表現に用いられる陰関数曲面は数式で表現するため、少ないデータ量で形状の詳細かつ滑らかな幾何学的特徴を表現することができる。このような陰関数曲面の特徴から、形状を編集する際などの計算時間を削減することも可能となる。その中でも、近年 Multi-level Partition of Unity (以下、MPU) 陰関数曲面や Sparse Low-degree Implicit (以下、SLIM) 曲面[1]が注目を集めている。これらの陰関数曲面表現では、異なる大きさのサポート球が用いられ、その中に 1 つ以上の陰関数多項式が定義される。MPU 陰関数曲面はオブジェクト空間全体にサポート球が定義されているが、SLIM 曲面は形状の表面付近にしかサポート球が定義されていないため、よりコンパクトな形状表現が可能となっている。そのため形状表面のより細かな特徴を表現することができる。

本研究では点群ベース陰関数曲面の 1 種である SLIM 曲面を用いた立体集合演算を行う手法を提案する。提案手法では、交線付近のサポート球内に存在する局所的な陰関数曲面を修正するのではなく、サポート球を新たに作成して、もとの陰関数曲面を適応し、階層構造を再構成することで立体集合演算を実現する。

2. 提案手法

提案手法では、交線付近に新たなサポート球を作成することで立体集合演算を実現する。提案手法の処理の流れを図 1 に示す。ただし、入・出力は SLIM 曲面とする。まず、同図①の処理では、2 つの形状のサポート球同士の交差判定を行う。交差する可能性があると判断された場合、2 つのサポート球とそれぞれの中に定義されている陰関数曲面との 2 交点を算出する。そして、同図②の処理では、2 つの陰関数曲面の交線上の点を算出する。同図③の処理では、新しく作成するサポート球の中心位置と半径を決定する。次の同図④の処理によって、先ほど作成したサポート球内に陰関数曲面を保持させる。最後に同図⑤の処理によって、SLIM 曲面の階層構造を再構成することで立体集合演算結果を得る。

2.1 交差判定

交差判定処理では、サポート球内に存在する陰関数曲面同士が交差しているかを判定する。判定処理は、以下に示すように大きく分けて 2 段階の処理で行われる。まず、サポート球の半径と中心

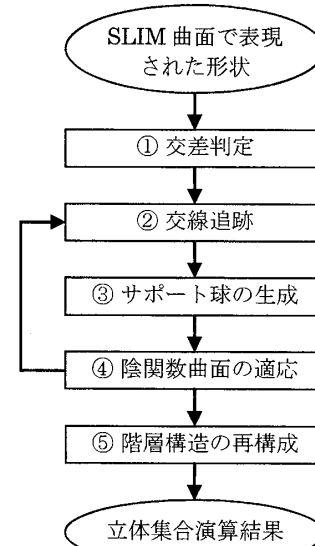


図 1 提案手法の流れ

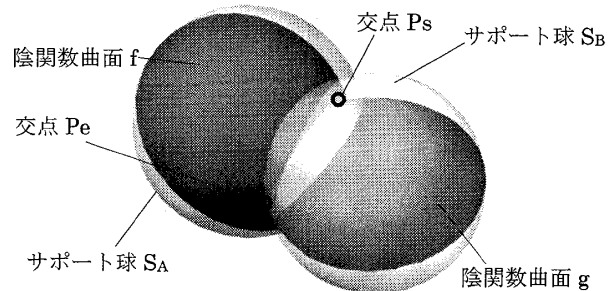


図 2 陰関数曲面とサポート球の 2 交点

位置を用いて、他方の形状のサポート球と交差しているかを判定する。この処理によって、交差する可能性のある陰関数曲面と交差しない陰関数曲面に分類する。次に、交差する可能性があるとして判断された陰関数曲面に対して、図 2 に示すようにサポート球と陰関数曲面の交点 P_s, P_e を算出する。このとき、交点が算出されない場合は交差しない陰関数曲面であると分類される。

最後に、交差しないと分類された陰関数曲面に対して他形状の内部または外部に存在するかを判定することで他形状と交差、外部または内部に存在する陰関数曲面に分類することができる。

2.2 交線追跡

前節によって算出された 2 交点 P_s, P_e をもとに交点間の交線上の点を一定間隔で算出する。まず、図 3 に示すように交点間の x, y, z 軸の距離 dx, dy, dz

Geometry set Operations for SLIM Surface

[†]Hisashi Iguchi, Koji Nishio, Ken-ichi Kobori, Osaka Institute of Technology

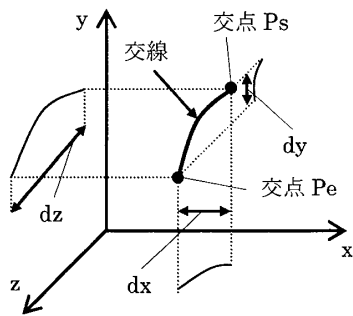


図3 交線と距離 dx,dy,dz

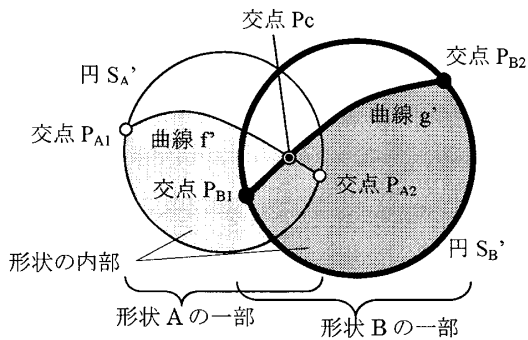


図4 平面上での曲線と円

を算出する。距離 dx,dy,dz のうち最大となる軸に垂直な平面を一定間隔で作成する。そして、作成したそれぞれの平面上で曲線同士の交点を算出することで交線上の点を算出する。

2.3 サポート球の作成

次に、前節で作成した平面上で新たに作成するサポート球の中心位置と半径を決定する。ある平面上での円と曲線の位置関係が図4の場合を例にとって説明する。

まず、曲線 f と円 SA' の交点 PA1, PA2 と曲線 g' と円 SB' の交点 PB1, PB2 を算出する。算出したそれぞれの交点他形状の内部または外部に存在するかを判定する。そして、新たに作成するサポート球の中心位置と半径を決定する際に用いる交点を選択する。詳しい処理を図4に示す場合の差演算を例に説明する。まず曲線 f に注目すると、交点 PA1, Pc が選択される。それらの点を用いてローカル座標系を作成し、曲線 f の PA1, Pc 間の極値 E を算出する。算出された極値 E をもとに図5に示すように極値 E とそれぞれの交点 PA1, Pc との midpoint M1, M2 を算出し、距離 dE1, dE2, dM1, dM2 を算出する。それぞれの距離が式(1)を満たすとき、その midpoint M1, M2 を新たに作成するサポート球の中心とし、距離 dE1, dE2 を半径とする。式(1)を満たさなかった場合は交点 PA1 と極値 E との間で同様の処理を式(1)を満たすまで行う。以上の処理を曲線 g' についても行う。

最後に、作成したサポート球にもとのサポート球が保持していた陰関数曲面を適用し、新たに作成したサポート球を新たなリーフとして階層構造

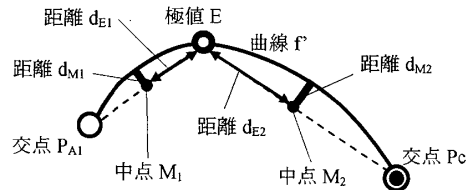


図5 サポート球の中心位置と半径

$$d_{Ei} \geq d_{Mi} \quad (i = 1, 2) \quad \dots (1)$$

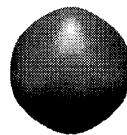
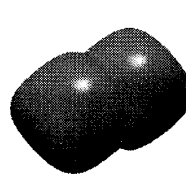


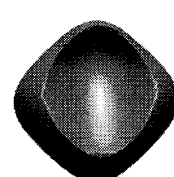
図6 実験形状(1,564)



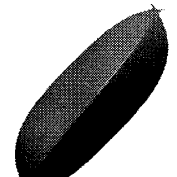
図7 2形状の位置関係



(a) 和演算 (396 ms)



(b) 差演算 (368 ms)



(c) 積演算 (388 ms)

図8 実験結果

を再構成する。

3. 実験・考察

提案手法の有効性を検証するために実験を行った。実験環境は、CPUに Intel Core2 Duo T7200 2.0GHz、メモリに 2GB の PC を用いた。図6に実験に用いた形状を示し、図7に2形状の位置関係、図8に実験結果を示す。図6の()内の数値はリーフのサポート球の数であり、図8の()内の数値は処理時間である。また、処理時間は交差判定からすべてのサポート球を作成するまでの時間を計測した。図8より良好な結果が得られていることがわかる。また同図(c)では角の部分となる特徴が表現されていることが確認できる。しかし、同図(b)を見ると角の部分となる特徴が一部消えている箇所が見られる。原因としては、収束計算による交点算出が正確に行えていないことが挙げられる。

4. まとめ

SLIM 曲面を用いた立体集合演算の手法を提案した。実験によって良好な結果が得られた。処理速度ではリーフ数が約 1,500 の形状で約 400ms という結果が得られた。今後の課題として、正確な交点計算や処理速度の高速化が挙げられる。

参考文献

- [1] Y. Ohtake, A. G. Belyaev, and M. Alexa: "Sparse lowdegree implicits with applications to high quality rendering, feature extraction, and smoothing", In Proc. 3rd Eurographics Symposium on Geometry Processing, pp.149-158, 2005.