

IV-62

Delaunay三角形分割による地形のモデリング

東急建設(株) 土木設計部 正会員 ○二宮 功、正会員 田村治幸
岡山大学 正会員 谷口健男、学生員 岩崎和也

1. はじめに

景観設計の重要さが叫ばれる中、CG (Computer Graphics) が景観を検討するための一つのツールとして多用されるようになってきている。CGを用いると、自由に視点を変えて眺めの変化を確認でき、構造物の色を瞬時にシミュレートできるなど、今までの手書きパース図では対応できなかった作業が可能であり今後ますますその重要さが増すと考えられる。ところが、このように土木の設計でもCADが普及してきたとはいえ、一般に3次元で設計作業を行っているものは極くわずかであり、設計とは別にCGのためのデータ作成という作業がCG利用の陰で大きな負担となってきている。本研究の目的は、土地造成関係の設計では欠かすことのできないCGのための地形データ作成を、Delaunay三角形分割(Delaunay triangulation)を導入することで省力化を図ろうとするものである。

2. 地形CG化の問題点

土木の設計では、数値化地形モデル(Digital Terrain Model)を利用することで土量計算を行う。このデータを基に三角形あるいは四角形群を生成し、これを地形データとしてCGシステムで利用することが可能である。DTMには図-1に示すように格子モデルと三角形モデルの二つの

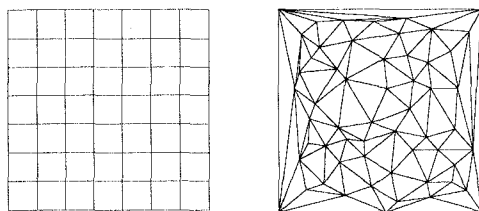


図-1 格子モデルと三角形モデル

種類があるが、特に三角形モデルはTIN (Triangulated Irregular Network) と呼ばれ、入力された座標点のデータ全てを地形に反映できるので地形の形状を正確に表現することができ、地形のモデル化に適しているといえる。できあがるTINは不定形/不規則な三角形の集合であるので、格子モデルでは表現することのできない崖や道路の路肩などの様子をうまく再現できる。その反面、格子モデルよりもデータ量が大きくなり、演算時間も比較的余分にかかる。設計の変更に迅速に対応して地形モデリングをしないためには、演算時間をなるべく押さえることが必要である。

土量計算のためには問題とならないが、地形のCG化では地表の状況に合わせて道路は道路の色に、山は山の色に色分けするという作業が不可欠である。本来設計を行うためにある土木用3次元CADでは、もちろんTINについて各種処理は行えるが、この機能は見かけられないためTIN作成後に色分けを考慮しながら個々の三角形のグループ分けを行わなければならない。地表の様子が複雑で細かな状況をCGデータに移行しようとする大変骨の折れる作業になる。

3. 2次元Delaunay三角形分割

Delaunay triangulationは2次元平面上に任意に設定された節点群を対象として、それらが支配する凸領域で、生成される個々の三角形ができるだけ正三角形に近くなるように三角形分割をするものである。地形は元々3次元であるが、地表面は例外的な状況を除くと標高値(z座標値)を無視して2次元で処理しても問題とはならないので、2次元Delaunay三角形分割を使うことが出来ると考えられる。

節点数の増加に伴い演算時間が問題となるが、S.W.Sloanは、Watsonの提案した超三角形(Super triangle)、節点の処理順序を最適化するためのBin Sorting、そして三角形生成を高速化できるSwapping Algorithmなどを導入して高速Delaunay triangulationを提案した¹⁾。ただし彼の方法では、領域外部の凹部にも三角形分割を行ってしまう、複雑な形状の境界上の辺を生成できないなどの問題を有している。このアルゴリズムが持つ長所を残したままこれらの欠点を取り除いたものが修正Delaunay triangulationである²⁾。

4. 地形モデリングへの適用

地形モデリングのための入力データは、点、ブレイクライン、および境界線の三種類の要素で表現する。ここで点は、三角形分割で必ずいずれかの三角形の頂点となる点であり、サンプリングされた測量座標値などに対応する。ブレイクラインは複数の節点を有する線であるが、一つの線分は生成されるいずれかの三角形の辺とならなければならない。これは稜線や谷線などを表す地性線にあたり、また法面の小段や法肩を表現するときに有効である。境界線とは一つの領域を示すもので、三角形分割は必ずこの境界の内側で行われる。つまり、地形全ての表現は、これら三つの要素を使い分けることで対応することにした。

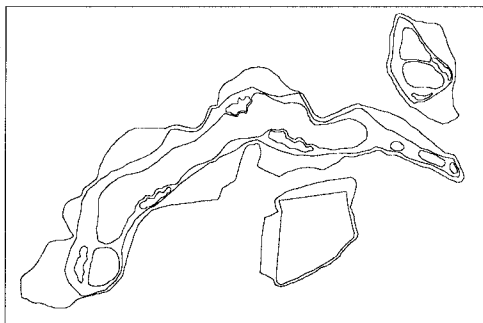


図-2 ゴルフ場ホールでの領域

先に述べたように地形のモデリングでは、領域毎に三角形をグループ分けするが、それぞれの領域は単純に分布しているのではなく、複雑な階層構造を成す場合が見られる。階層構造の領域とは閉じた線である境界線が多重／入れ子になっているものである。ゴルフ場のホールを例にとれば、図-2のようにラフという境界のなかにフェアウェイという境界やバンカーやティーそしてグリーンという境界があることより、階層構造の領域の意味が理解できよう。領域には一つ毎に識別のために番号を付加し、その領域内に生成される三角形にはこの番号が付けられる。領域のなかに領域があり、内側の領域内に作成された三角形は、内側の領域の番号が付けられる。

修正Delaunay triangulationを基にして、本研究のアルゴリズムに従い地形のモデリングまで適用させるために、ブレイクラインと階層構造をなす境界に対応した三角形分割、および生成される三角形について各領域毎の認識ができるように、アルゴリズムの高速さを活かしたまま拡張を行った。その適用例を図-3に示す。

5. まとめ

2次元Delaunay三角形分割を拡張することで、三角形分割と三角形のグループ分けを自動化することが出来た。FORTRANでコーディングしたプログラムはApollo DN4000で、約15,000点の座標値、3階層158個の境界を

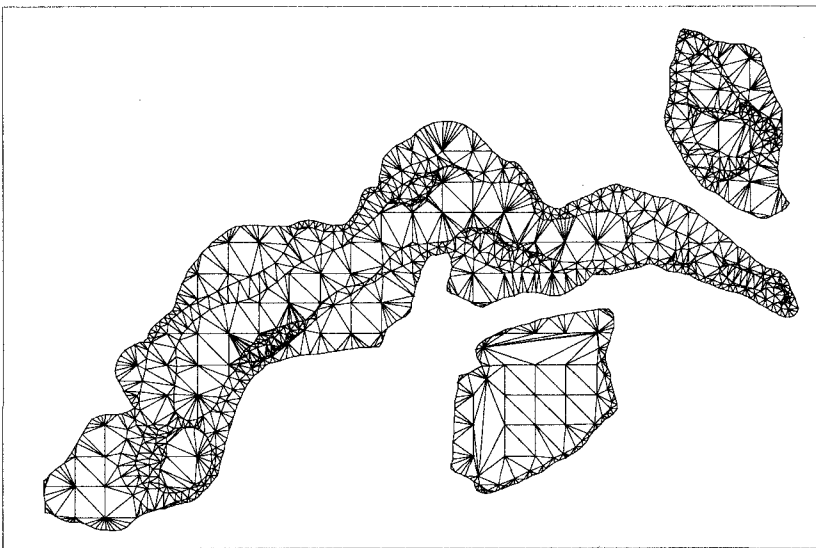


図-3 ゴルフ場ホールの三角形分割例（部分）

持つゴルフ場のデータを241秒で三角形分割することができた。また、ランダムな座標点を発生させて演算時間を計測してみると、演算時間はデータ数にはほぼ比例しているので当初のねらいを満足していると考えられる。

参考文献

- 1) Sloan, S.W.: A fast algorithm for computing Delaunay triangulations in plane, Advances in Engineering Software, Vol.9, No.1, pp.34-55, 1987.
- 2) 谷口健男、太田親：直線辺で構成される任意二次元領域へのデラウニー三角分割の適用、土木学会論文集、No.432/I-16, pp.66-77, 1991.7