

(44) 距離画像データを用いた 3次元TINモデルの高精度化に関する研究

塚田 義典¹・田中 成典²・梅原 喜政³

¹学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

E-mail: tsukada@kansai-labo.co.jp

²正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

³非会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

E-mail: umehara@kansai-labo.co.jp

近年、国土交通省は、公共事業の品質確保や業務改善を図ることを目的としたCIMを推進している。CIMをさらに発展させるためには、地物を正確なTINでモデル化した3次元データの利活用が求められる。しかし、激しい起伏や複雑な凹凸がある地物では、実形に即した3次元TINモデルの生成が難しく、また精度検証に時間を要するなどの課題がある。そこで、本研究では、距離画像データを用いて既存の3次元TINモデルを検定し、実際の形状と異なる箇所のみを簡単に修正する手法を提案する。これにより、既存の3次元TINモデルの高精度化を目指す。

Key Words : *construction information modeling, three-dimensional model, triangulated irregular network, point cloud data, depth data*

1. はじめに

近年、国土交通省は、建設構造物の調査、設計、積算、施工や維持管理の各段階において3次元データを共有し、公共事業の品質確保や業務改善を図ることを目的としたCIM (Construction Information Modeling) を推進¹⁾している。CIMをさらに発展させるためには、地物を正確なTIN (Triangulated Irregular Network) でモデル化した3次元データの利活用が求められる。特に、3次元TINモデルは、物理的な形状の把握と視覚化に欠かせない。しかし、3次元TINモデルの生成手法は画一化されておらず、手法によって精度が異なるという課題がある。さらに、激しい起伏や複雑な凹凸が見られる場面では、実形に即した3次元TINモデルの生成が難しく、また精度検証に時間を要するなどの課題が残る。

一方、カメラやレーザなどの計測機器の発展によって、地物の形状把握に有益な距離画像データ (深度データ) を計測できる新しいセンサデバイスが登場してきた。近年、周辺環境や地物の現況データを低コストに取得可能であることから、3次元TINモデルのニーズが一層高まっている。そのため、3次元TINモデルの課題を解決する手法の確立が急務である。

3次元情報を保持した点群データから3次元TINモデルを生成するには、汎用的な手法²⁾³⁾と対象のオブジェクトを限定する手法⁴⁾⁵⁾の二通りがある。汎用的な手法²⁾³⁾には、逐次加点法による2次元ドロネー分割²⁾を3次元に拡張した3次元ドロネー分割法がある。これは、点群データを包括する四面体を定義し、内部に点群データが存在しなくなるまで領域分割を繰り返すことで3次元TINモデルを生成する。しかし、複雑に分布した点群では、実際の形状と異なる面を生成する問題や数学的に四面体分割ができない問題がある。この問題を解決する手法として、点群データに点を追加し四面体を再分割すると共に、TINの辺の長さや辺のなす角を制限する研究³⁾がある。しかし、閾値の設定次第では、本来面を生成すべき箇所に面が生成されず、物体に穴が開いた不完全なTINが生成されるという問題がある。

対象のオブジェクトを限定する手法⁴⁾⁵⁾には、MMS (Mobile Mapping System) から取得した点群データを用いて道路橋の3次元TINモデルを生成する研究⁴⁾やレーザスキャナから取得した点群データを用いて河川堤防の3次元TINモデルを生成する研究⁵⁾がある。前者は、道路橋の特徴を加味して3次元TINモデルを生成しているため、道路橋以外の地物には適用できない。後者は、計測

対象のオブジェクトが凸型であることに着目した手法であるため、凹型の構造物では実際の形状と異なる3次元TINモデルを生成する可能性がある。

このように、点群データから高精度な3次元TINモデルの生成は容易ではなく、この手法は確立されているとは言えない。さらに、生成手法によって精度が異なるという点やその精度の検証に時間を要する点に関して有効な手段が示されていない。そのため、これらの課題を解決するには、既存の3次元TINモデルから修正を必要とする箇所を特定し、局所修正することで3次元TINモデルの精度を高めることが有効であると考えられる。

そこで、本研究では、距離画像データを用いて既存の3次元TINモデルを検定し、修正が必要な箇所を局所修正する手法を提案する。これにより、3次元TINモデルを素早く洗練すること、いわゆる精度を高めることを目指す。

2. 研究の概要

本研究では、距離画像データを用いて3次元TINモデルから補正に用いる点と不正な面を見付け出す。そして、その点と面を用いて、3次元TINモデルを高精度化する補正手法を提案する。本システムは、図-1に示すとおり、補正データの生成機能、3次元TINモデルの検定機能と3次元TINモデルの修正機能で構成される。入力距離画像データは、センサデバイスを用いて取得した被写体までの距離値の集合である。入力データである修正を必要とする3次元TINモデルを図-2に示す。地物を重複のない三角形の集合でモデル化した3次元データであり、点の3次元座標値とそれを結ぶ線で構成される。

3. 補正データの生成機能

本機能では、距離画像データから3次元TINモデルの高精度化に必要な点群データを生成する。まず、距離画像データを計測するセンサの画素数や焦点距離などのカメラパラメータを用いて、距離画像データの各画素を実空間に投影する。これにより、距離画像データを点群データに変換する。そして、3次元TINモデルの座標系と変換した点群データの座標系とを合わせる。本研究では、4つの対応点を手動で選択し、3次元アフィン変換を行うことで位置合わせを行う。

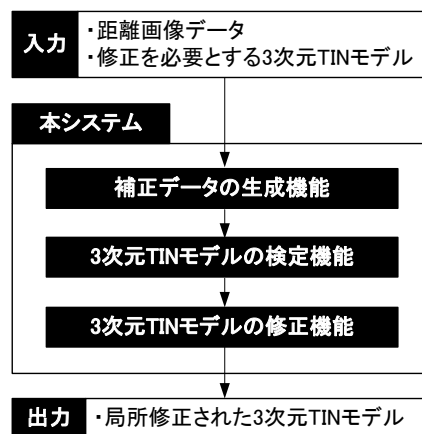


図-1 本システムの概要

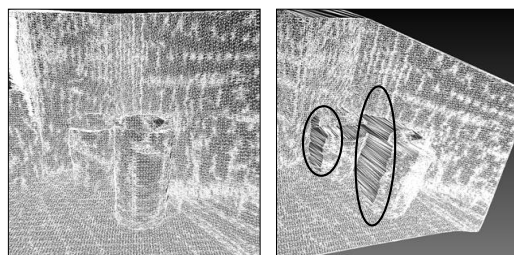


図-2 修正を必要とする3次元TINモデル

4. 3次元TINモデルの検定機能

本機能では、補正データの生成機能において得られた点群データを用いて3次元TINモデルを検定し、実際の形状と異なる領域を自動的に抽出する。本機能は、3次元TINモデルの補正に用いる点の算出処理とその点を用いた不正な面の判定処理の二つの処理で構成される。

(1) 3次元TINモデルの補正に用いる点の算出処理

補正データの生成機能で得られた点群データから一点を取り出し、3次元TINモデルを構成する全てのTINの重心との距離を算出する。重心との距離が一定の閾値を超えた場合は、その点を補正に用いる点と判定する。これらの処理を全ての点に対して行うことで、3次元TINモデルの補正に用いる点を見付け出す。

(2) 3次元TINモデルの不正な面の判定処理

3次元TINモデルの補正に用いる点の算出処理において得られた点に対して、センサの位置を通過する直線を引く。そして、この直線と衝突するTINを探索し、その交点の座標を算出する。交点がセンサの位置と補正に用いる点の間に存在する場合は、これを実際の形状と異なる面と判定する。

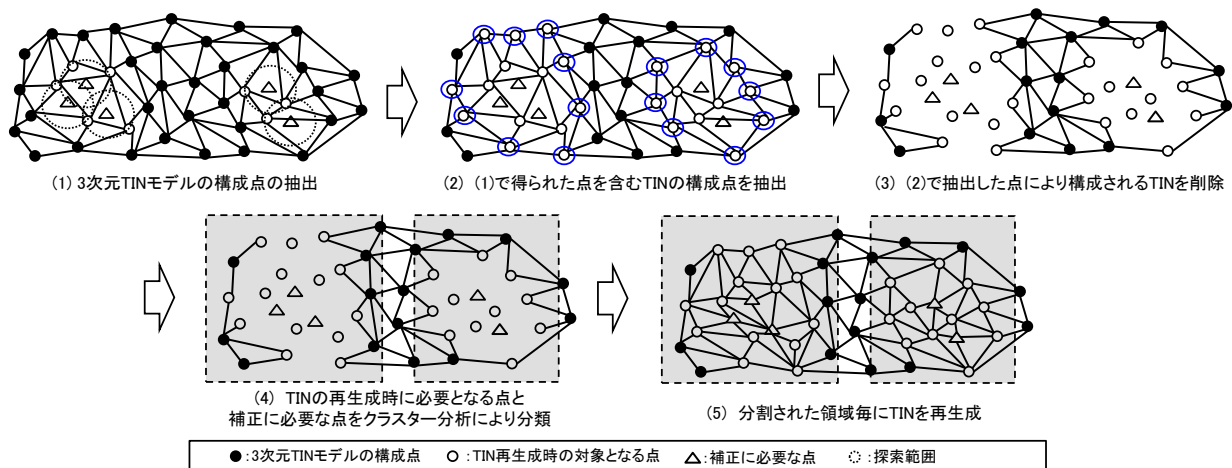


図-3 TINの再生成処理の流れ

5. 3次元TINモデルの修正機能

本機能では、3次元TINモデルの検定機能において算出された点と面を用いて、3次元TINモデルを修正する。整合性を担保しながらTINを局所的に再生成する方法を図-3に示す。まず、補正に用いる点から一定の距離に存在する3次元TINモデルの構成点を抽出（同(1)）する。次に、それらの点を含むTINを選択し、これを構成する点を取得（同(2)）する。そして、取得した点を含むTINを削除（同(3)）し、補正に用いる点と同(2)において取得した点に対してクラスター分析（同(4)）を行う。本研究では、最も距離の近い点とのユークリッド距離に基づいて点群データを自動的に分類する階層的技法⁹⁾を採用する。最後に、分類した点群データ毎にTINを再生成（同(5)）する。

表-1 補正に用いる点の算出精度

3次元TINモデルの補正に必要な点の算出結果（個）	正解数（個）	正解率（%）
1,501	1,501	100

表-2 不正な面の判定精度

評価項目	不正な面の判定結果	正しく判定できた面	正しく判定できなかった面
面の数 (単位: 個)	134	120	14
表面積 (単位: m ²)	0.093774	0.093687	0.000087

6. 実証実験

実証実験では、3次元TINモデルの修正機能の精度を検証し、本研究の有用性を確認する。入力データの計測では、Microsoft社の距離画像センサKinect⁷⁾を使用する。TINの生成には、Autodesk社のソフトウェアAutoCAD Civil 3D⁸⁾を使用する。

(1) 3次元TINモデルの検定機能の実証実験

a) 補正に用いる点の算出に関する精度実験

3次元TINモデルの補正に用いる点を算出し、目視により精度を確認する。実験に使用する3次元TINモデル（図-2）の構成点の総数は46,037個であり、補正データの点の総数は48,030個であった。補正に用いる点を算出する時の閾値は、Kinectの距離計測の平均誤差である0.05mとした。

補正に用いる点の算出精度（表-1）では、補正に用い

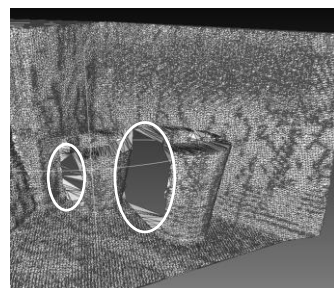


図-4 不正な面を取り除いた3次元TINモデル

る点は1,501個であり、全ての点が3次元TINモデルの構成点に含まれておらず、実際の環境を表現する上で有用な点であることを目視で確認した。以上の実験結果より、本提案手法が補正に用いる点を高精度に算出できたことが分かる。

b) 不正な面の判定に関する精度実験

補正に用いる点から3次元TINモデルの不正な面を判定し、目視により精度を確認する。3次元TINモデルのTINの総数は、92,022個であった。

不正な面の判定精度を表-2、不正な面を取り除いた3次元TINモデルを図-4に示す。表-2に示すとおり、134個の面を不正と判定した。これらの面を3次元ビューワに

表示して目視で確認したところ120個の面が正しく判定できていたため約89.5%の精度で不正な面の判定ができた。しかし、14個の面が誤判定された。これらの面を詳しく調べたところ、表面積の和が約0.000087m²であり、いずれも辺の長さが1mm以下の極小の面であった。そのため、明らかに不正な面については、本提案手法により適切に判定されたため、実用可能な精度であると考えられる。一方、実際の形状と異なる面が存在した。これは、不正な面を判定するための距離画像データが不足しているためである。そのため、オブジェクトを真上から計測した場合の距離画像データなど、異なる視点から取得した距離画像データを用いることで、これらの不正な面を見付け出すことができる。

(2) 3次元TINモデルの修正機能の精度実験

a) TIN を再生成する時に対象となる点のクラスタリングに関する精度実験

前述の(1)で算出した点群データからTINの再生成に必要な点を抽出する。そして、それらの点を分類し、その分類精度を目視で確認する。事前に同一クラスターと判定する閾値（距離の差）を決定するための実験を行った。事前実験は、本実験環境と異なる環境下でKinectから取得した点群データを対象とした。この結果より、最も精度良く点群を分類できた7cmを採用した。TINを再生成する時に対象となる点のクラスタリング結果を図-5に示す。図中の白枠で示すとおり点群が五つのクラスターに分類された。これにより、TINを再生成する時に対象となる点を分類できた。

b) TINの再生成精度に関する精度実験

上述のa)の結果に対して、AutoCAD Civil 3D を使用してTINを再生成し、その精度を目視により確認した。TINの再生成結果を図-6に示す。分類した点群データ毎にTINの再生成ができたことより、3次元TINモデルと接合できた。しかし、図-6中の赤枠で示すように、実際の形状とは異なるTINが残った。これは、不正な面の判定実験と同様に、TINを補正するための距離画像データが上手く取得できず、計測データが不足しているためである。これは、入力する距離画像データを増やすことにより精度向上が可能であると考えられる。

7. おわりに

本研究では、距離画像データを用いて既存の3次元TINモデルから実際の形状と異なる箇所を抽出すると共に、それらを容易に修正する手法を提案した。実証実験では、距離画像センサKinectから取得した距離画像データとAutoCAD Civil 3D で生成した3次元TINモデルを使用

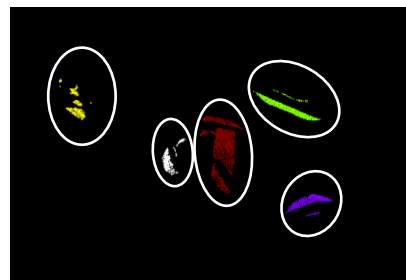


図-5 TINを再生成する時に対象となる点のクラスタリング結果

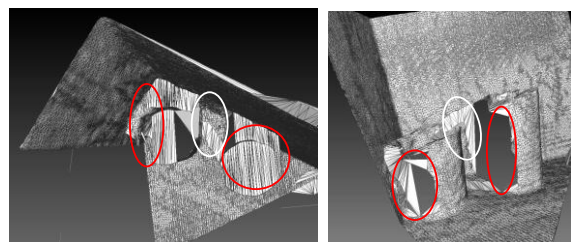


図-6 TINの再生成結果

して、3次元TINモデルの補正に必要な点と不正な面の判定精度、TINの再生成に必要な点群データのクラスタリング精度とTINの再生成の精度を検証した。そして、実験結果から、本提案手法により3次元TINモデルを洗練できることを確認した。以上のことから、本研究は、3次元TINモデルの課題であった精度の検証に時間を要する点を解決し、3次元TINモデルを局所修正する新しい手法を提案した。今後は、様々な環境下で実験を行い、提案手法の改良する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：CIMの導入検討について、
<<http://www.mlit.go.jp/common/000221538.pdf>>,
(入手 2014.6.30)。
- 2) Sloan, W.: A Fast Algorithm for Generating Constrained Delaunay Triangulations, *Computers and Structures*, CSI, Vol.47, No.3, pp.441-450, 1993.
- 3) Marton, C., Rusu, B. and Beetz, M.: On Fast Surface Reconstruction Methods for Large and Noisy Point Clouds, *Proc. of ICRA*, IEEE, pp.3218-3223, 2009.
- 4) 田中成典, 北川悦司, 姜文淵, 安彦智史, 川野浩平: 道路橋上部工の維持管理のための3次元現況図の自動生成に関する研究, *土木学会論文集*, 土木学会, Vol.68-F3, No.2, pp.I_181-I_189, 2012.
- 5) 田中成典, 今井龍一, 中村健二, 川野浩平: 点群座標データを用いた3次元モデルの自動生成に関する研究, *知能と情報*, 日本知能情報ファジィ学会, Vol.23, No.4, pp.572-590, 2011.
- 6) Jain, K., Murty, N. and Flynn, J.: Data Clustering a Review, *Computing Surveys*, ACM, Vol.31, No.3, pp.264-323, 1999.
- 7) Microsoft: Kinect, <<http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/>>,
(入手 2014.6.30)。
- 8) Autodesk: AutoCAD Civil 3D, <<http://www.autodesk.co.jp/products>>,
(入手 2014.6.30)。