

(10) 距離画像データを用いた 3次元TINモデルの検定に関する研究

塚田 義典¹・北川 悦司²・田中 成典³・梅原 喜政⁴

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 阪南大学教授 経営情報学部 (〒580-8502 大阪府松原市天美東5丁目4番33号)

E-mail:kitagawa@hannan-u.ac.jp

³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

⁴非会員 関西大学 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:umehara@kansai-labo.co.jp

国土交通省では、土木構造物の設計や維持管理において3次元データを一元的に活用し、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を推進している。しかし、3次元データの構築には、手間が掛かるという問題が挙げられる。そこで、カメラやレーザなどの計測機器を用いて取得した点群データから3次元TINモデルを生成する研究が行われている。しかし、複雑に分布した点群データから高精度な3次元TINモデルを生成することは困難であり、対象物を限定する方法や設計図などを参照する方法が存在するが、汎用的な手法は確立されていない。そこで、本研究では、別視点からの距離画像データを用いて3次元TINモデルを検定し、補正に利用可能な点と実際の形状と異なる面を判定する手法を提案する。

Key Words : *Three-Dimensional Model, Triangulated Irregular Network, Range Image Sensor*

1. はじめに

近年、国土交通省では、土木構造物の調査、設計、施工、検査や維持管理の各段階において3次元データを一元的に共有・活用し、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⁾²⁾している。そのため、土木建設分野における3次元データのニーズは非常に高いが、3次元データの構築には、手間やコストが掛かるという問題が挙げられる。

こうした背景の下、カメラやレーザなどの計測機器の発展によって、遠隔から地物を観測し、3次元の点群データを取得できるようになってきた。また、著者らも市販の安価な距離画像センサを用いて、3次元空間を点群データで表現する研究³⁾を行なっている。しかし、点群データでは、形状を正確に把握することが困難なため、点群データから面を発生させた3次元モデルを構築することが求められる。特に、その中でもTIN (Triangulated Irregular Network) で構成された3次元TINモデルの生成

が重要と考えられる。

点群データから3次元TINを生成するための汎用的な手法としては、逐次加点法による3次元ドロネー分割⁴⁾が挙げられる。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を生成する手法である。しかし、複雑に分布した点群では、実際の形状と異なる面が生成される問題や数学的に四面体分割ができない場合があるなどの問題⁵⁾が残る。

こうした問題を解決する手法として、四面体へ点群の一点を追加し、四面体を再分割すると共に、生成する3次元TINの辺の長さや辺のなす角に制限を加える事によって、実際の形状と異なる面の生成を防ぐ研究⁶⁾が挙げられる。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3次元TINが生成されるという問題がある。また、MMS (Mobile Mapping System) から取得した点群データを用いて道路橋の3次元モデルを生成する研究⁷⁾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次元モデルを生成する研究⁸⁾がある。しかし、前者は、道路橋の特徴を考慮した手法を用いて3次元モデルを生成しているため、適応範囲が限定されるという問題がある。また、後者は、計測対象のオブジェクトが凸型であることを前提としているため、凹型の構造物では実際の形状と異なる面を生成する可能性がある。このように、複雑に分布した点群データから高精度な3次元TINを生成することは困難であり、対象物を限定する方法や設計図などを参照する方法が存在するが、汎用的な手法は確立されていない。

そこで、本研究では、高精度な3次元TINモデルを生成するために、別視点からの距離画像データを用いて3次元TINモデルを検定する手法を提案する。具体的には、3次元TINモデルを補正する際に利用可能な点を算出する。更に、実際の形状と異なる面を検出する。

2. 研究の概要

本研究では、別視点からの距離画像データを用いて点群データを生成し、3次元TINモデルと比較することにより、補正に利用可能な点と実際の形状と異なる面を算出するシステムを開発する。本システムの概要を図-1に示す。本システムは、点群データ生成機能、位置合わせ機能とTIN検定機能により構成される。入力データは、別視点から取得した距離画像データと3次元TINモデルとする。出力データは、3次元TINモデル内に含まれる実際の形状と異なる面と、距離画像データから生成された点群データ内に含まれる補正に利用可能な点とする。また、本研究では、持ち運びが容易な大きさであり、安価で入手しやすい距離画像センサであるMicrosoft社製のKinect⁹⁾を用いるものとした。

(1) 点群データ生成機能

本機能では、距離画像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とで点群データを生成する。実空間に投影する式を(1)に示す。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x - c_x) * \frac{dist}{f} * ZPPS \\ (y - c_y) * \frac{dist}{f} * ZPPS \\ dist \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 X 、 Y と Z は3次元空間における座標値、 x と y は距離画像における座標値、 c_x と c_y は、距離画像カメラ

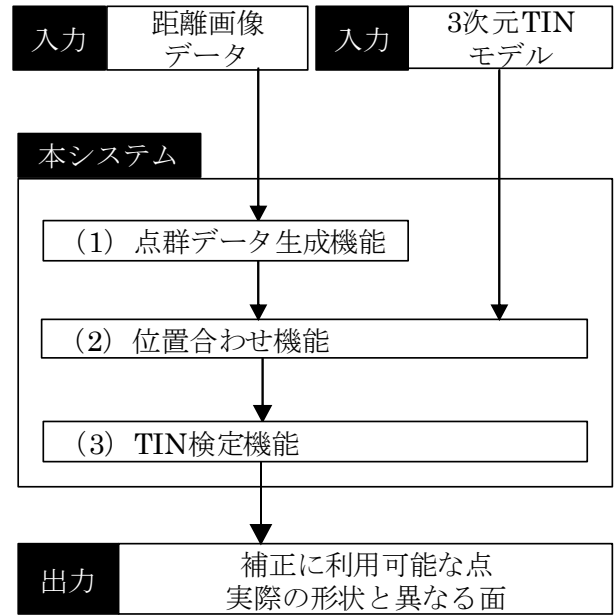


図-1 本システムの概要

の x 方向と y 方向の中心座標、 $dist$ は距離値、 f は焦点距離、 $ZPPS$ は距離画像データにおける1ピクセル当たりの実距離である。本手法を用いることで、計算コストを抑えた高速な点群データの生成が可能となる。

(2) 位置合わせ機能

本処理では、点群データ生成機能で生成した点群データと3次元TINモデルの位置合わせを行い、データを結合する。まず、2つのデータ間の対応点を利用して、3次元アフィン変換のパラメータを算出し、点群データの座標変換を行う。アフィン変換の式を(2)に示す。

$$\begin{aligned} X' &= a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4 \\ Y' &= a_5X + a_6Y + a_7Z + a_8 \\ Z' &= a_9X + a_{10}Y + a_{11}Z + a_{12} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 X' 、 Y' と Z' はアフィン変換後の点群座標、 X 、 Y と Z はアフィン変換前の点群座標、 a_1 から a_{12} はアフィン係数である。なお、本研究では、データ間の対応点は手動で選択するものとした。

(3) TIN検定機能

本処理では、距離画像データで得られた点群データには3次元的な重なりが発生しないという特性に着目し、3次元TINモデルを補正する際に利用可能な点と実際の形状と異なる面の検定を行う。まず、距離画像データから得られた全ての点群データに対して、最も距離の近い3次元TINとの距離を算出する。そして、その距離が一定の閾値内であれば、これを補正に利用可能な点と判定

する。次に、判定した点群データと距離画像センサの位置を通過する直線を引き、直線と3次元TINの交点を算出する。そして、交点が3次元TINの内部に存在する場合、これを実際の形状と異なる面と判断する。本手法によって、3次元TINモデルを構成するTINの検定を行い、補正に利用可能な点と実際の形状と異なる面を抽出することが可能となる。

3. システムの実証実験

実証実験では、3次元TINモデルの検定手法の有用性を評価するために、補正に利用可能な点の算出と実際の形状と異なる面の算出の2つの実験を行う。なお、本システムの実験環境を図-2に示す。また、実験で用いる3次元TINデータは、点群データの総数が41,167個、TINの総数が82,304個で構成されており、形状は図-3に示す通りとする。

(1) 実験内容

実証実験では、二つの実験を行う。一つ目は、補正に利用可能な点の算出実験である。本実験では、照度が400ルクス程度の直射日光が当たらない屋内において、Kinectから取得した距離画像データと3次元TINモデルから補正に利用可能な点を算出する。このとき、算出する点群データは、すべての3次元TINとの最短距離が0.03m以上離れているものを対象とした。これは、Kinectの計測誤差が0.03mであり、0.03mの変化は計測する度に変動すると考えられるためである。そして、算出した点群データが3次元TINモデルの構成点に含まれず、実環境において適切な位置に存在することを目視で確認し、これを正解と判断することで精度を評価する。

二つ目は、実際の形状と異なる面の算出実験である。本実験では、算出した点群データと距離画像の撮影位置との間に存在する3次元TINを検出し、これを実際の形状と異なる面として判定する。そして、算出した面が実際の形状と異なる面であることを目視で確認し、これを正解と判断することで精度を評価する。

(2) 結果と考察

補正に利用可能な点の算出精度を表-1に示す。表-1より、100%の正解率で補正に利用可能な点を算出できていることが分かる。また、3次元TINを構成する点と補正に利用可能な点を色付きで可視化した結果を図-4に示す。図-4より、3次元TINを構成する点群に存在せず、実際の空間を表現する上で必要な点群が適切に追加されていることが分かる。また、実際の形状と異なる面の算出精度を表-2に示す。表-2より、約75%の正解率で実際の

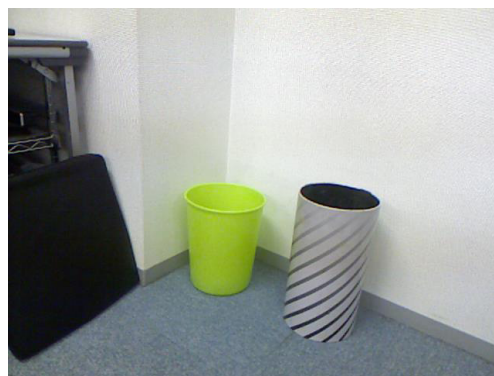


図-2 本システムの実験環境

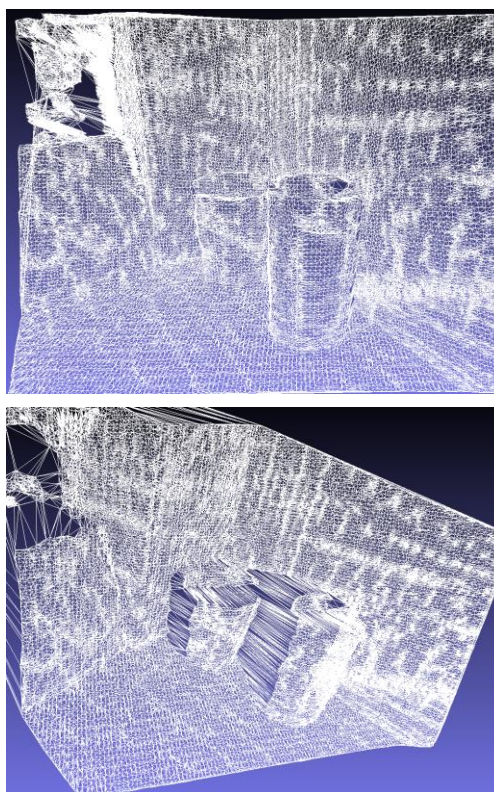


図-3 本システムの実験で使用する3次元TINモデル

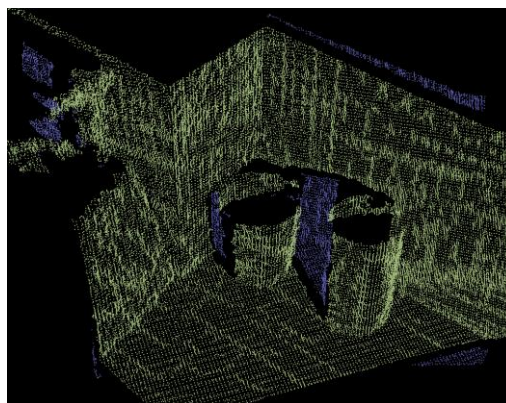


図-4 補正に利用可能な点の算出結果

の形状と異なる面の算出が可能であることが分かる。し

かし、約25%は、正しい面を検出していた。また、検定結果から実際の形状と異なる面を除去した3次元TINモデルを図-5に示す。図-5より、本手法により実際の形状と異なると判断された面が部分的に除去されているが、すべての面を除去できていないことがわかる。これらの問題は、距離画像データを撮影した際のセンサとオブジェクトの位置関係により、3次元TINが極めて小さく細長い形状となり、追加した点群と視点位置を結んだ直線上に存在しなかったためである。この問題に関しては、オブジェクトを真上から計測した際の距離画像データを用いるなど、視点を増やすことによって精度向上が可能と考えられる。

4. おわりに

本研究では、別視点から撮影した距離画像データと3次元TINモデルを重ね合わせることで、補正に利用可能な点と実際の形状と異なる面を検定する手法を提案した。そして、実証実験により、本システムの有用性を評価した。

実証実験では、本提案手法により算出した3次元TINモデルを補正するための点の精度を検証した。また、算出した点を用いて、実際の形状と異なる面の検定を行い、実際の形状と比較することにより精度を検証した。そして、実証実験の結果から、本提案手法により3次元TINモデルの高精度化に必要な点と面の検定が可能であることを確認した。これにより、既存の3次元TINモデルを補正し、高精度化するための基礎技術を確立できたと考えられる。

しかし、本研究では、補正に利用可能な点と実際の形状と異なる面を検定し、その結果を用いて3次元TINモデルから実際の形状と異なる面を除去するに留まった。そのため、今後は、3次元TINモデルの形状を部分的に再構成する手法について検討すると共に、距離画像センサのみならず、MMS、UAVや航空レーダ等で計測した点群データについても同様の実験を行い、有効性を評価する予定である。

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 2013.6.21)。
- 2) 日本建設情報総合センター：Construction Information Modeling / management,
<http://www.cals.jacic.or.jp/CIM/index_CIM.htm>,
(入手 2013.6.21)。
- 3) 塚田義典, 北川悦司, 田中成典, 安彦智史, 福島佑

表-1 3次元TINの補正に利用可能な点の算出精度

3次元TINの補正に利用可能な 点の算出結果数	正解数	正解率
3330	3330	100%

表-2 実際の形状と異なる面の算出精度

実際の形状と異なる 面の算出結果数	正解数	正解率
115	86	75%

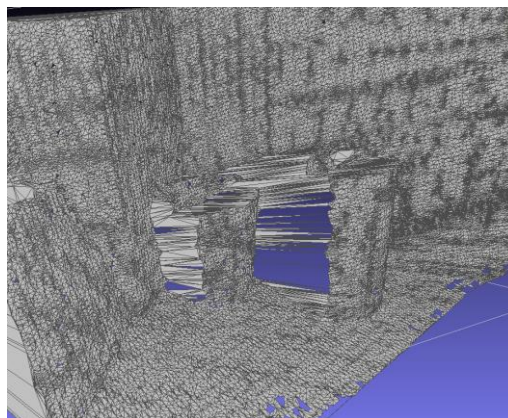


図-5 検定結果から実際の形状と異なる面を除去した3次元TINモデル

樹：距離画像センサを用いた3次元空間の構築に関する研究, 土木学会論文集, 土木学会, Vol.68-F3, No.2, pp.171-180, 2012.

- 4) Sloan, S. W. : A Fast Algorithm for Generating Constrained Delaunay Triangulations, Computers and Structures, Vol.47, No.3, pp.441-450, 1993.
- 5) 杉原厚吉：3次元単体メッシュ生成の課題-計算幾何学の立場から-, 数理解析研究所講究, 京都大学, Vol.1084, pp.124-134, 1999.
- 6) Marton, Z. C., Rusu, R. B. and Beetz, M. : On fast surface reconstruction methods for large and noisy point clouds, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, IEEE, pp.3218-3223, 2009.
- 7) 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.181-189, 2012.
- 8) 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, 日本知能情報ファジィ学会誌, 日本知能情報ファジィ学会, Vol.23, No.4, pp.572-590, 2011.
- 9) Microsoft : Kinect, <<http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/>>,
(入手 2013.6.21)。