

データベース管理システムにおける3D TIN管理の検討

杉浦 健人[†] 椎名 健^{††} 石川 佳治[†][†]名古屋大学大学院情報学研究科 ^{††}名古屋大学工学部電気電子・情報工学科

1 はじめに

自動運転分野を中心に Lidar (light detection and ranging) 技術などで得られる点群データの活用が注目を集めている。点群データは、その名の通り二次元ないし三次元空間上における点データの集合である。例えば、Lidar 技術であれば照射したレーダーの反射を測定することでその方向に何かしらの物体があること、及びその距離がわかる。つまり、レーダーの位置を基準とした座標系において、ある点の位置に物体が存在することがわかる。このような測定を多方向に対して行うことで、レーダーの周囲にある物体やその距離を測定できる。

一方、点群データはあくまで点の集合であり、その活用方法は限定される。点群データに対して主に行われる処理はクラスタリングによる物体認識やポイントマッチング (registration) による同一物体の識別などである。つまり、点群データに何らかのアルゴリズムを適用し、その結果を得るような処理が多い。これは、点群中の各点の間の関係が不明瞭であることが原因の一つとして挙げられる。言い換えれば、全ての点は単なる座標情報のみであり、ある2点間が接続しているのかなどの幾何的な関係を持っていないためである。そのため、可視化などの応用に用いる場合、各点に色や画像を割り当てるなど限定的な使用しかできない。

そのため、より高度な処理を行うためのデータとして 3D TIN (triangulated irregular network) データが注目を集め始めている。TIN データは頂点と辺の集合からなるグラフ (ネットワーク) データの一種であり、特徴として全ての閉路が三角形 (3つの頂点及び辺) で構成されている。つまり、点群データが単なる頂点の集合であったのに対し、3D TIN データでは辺の情報が加わったことで物体の面を表せる。したがって、点群データでは曖昧であった各頂点間のつながりが明確になり、より正確な形式で物体を表現できる。その結果、物体表面の高精度な可視化、定期的な生成と比較による差分抽出など、3D TIN データは様々な応用を秘めている。

しかし、大規模点群データを格納、処理するための OSS (open source software) が活発に開発されている一方、3D TIN のそれは未成熟である。点群データの活用は早い時期から着目されており、PDAL (point data abstraction library) [4] や PCL (point cloud library) [3]、pgpointcloud [2] など、処理やデータ格納のための様々な OSS が開発されている。一方 TIN データに関し

ては、いくつかの処理を実行する OSS が存在するものの、特にその格納方法についての議論は少なく、ファイルとして保存しているのが現状である。しかし、大規模 TIN データの処理を考えたとき索引やサマリを活用した効率的なデータ処理は必要であり、解決すべき課題である。

そこで本稿では、3D TIN のデータベースへの格納、及びデータベースの機能を用いた 3D TIN データに対する処理の補助を検討する。特に、OSS データベースにおける TIN の格納について検討した既存研究 [5] を参考に、大規模な 3D TIN データが持つ性質及び応用において求められる機能を検討し、その格納方法を議論する。

2 3D TIN データの応用

本章では、3D TIN データがどのような応用に使用できるか紹介するとともに、データベースへ格納した際に求められる機能について検討する。

■可視化 まず、最も基本的な応用方法として可視化が挙げられる。3D TIN は三次元物体の表面を表すことができるため、各三角形などにテクスチャを貼り付けることで、高精度な可視化を実現できる。

可視化を考える際の問題として、柔軟な画像解像度の変更がまず挙げられる。一般的な可視化を考えたとき、対象となる領域が広くなればなるほど必要なデータサイズは大きくなる。しかし、対象となる物体を遠くから見る際と近くから見る際とは要求される解像度が異なり、可視化領域が広くとも解像度を下げることでデータサイズの削減が可能である。つまり、インタラクティブな可視化を考えたとき、領域の大きさに応じた柔軟な解像度の変更をサポートする機能が必須となる。

一方、可視化対象となる部分 TIN データをどのように抽出するかもまた問題である。現在普及しているような二次元空間の可視化であれば、ユーザが対象を見る視点は固定されている。例えば、二次元地図を見る際は一般に俯瞰視点が用いられる。したがって、部分的な地図を効率的に抽出したい場合、格子状にタイルを作成するなどすれば実現できた。しかし、三次元空間での可視化の場合、対象を見る位置及び視点方向はユーザが自由に決定できる。つまり、同じ対象を見ている場合でも、位置や視点方向が変わることで抽出すべき部分 TIN データも変化する。例えば、あるビルを地上から見る場合、ビルの屋上部分を表す TIN は可視化に含める必要がない。一方で、上空から同じビルを見る場合は、当然屋上部分の部分 TIN データを可視化に含めなければならない。したがって、二次元空間と同様にタイルへの分割を考えると、あらゆる視点からのタイル作成が必要となってしまう。そのため、ユーザの視点変更に応じた

Management of 3D TINs in a DBMS

Kento Sugiura[†], Takeru Shiina^{††}, and Yoshiharu Ishikawa[†][†]Graduate School of Informatics, Nagoya University^{††}Department of Information Engineering, School of Engineering, Nagoya University

柔軟な部分 TIN データの抽出方法が必要となる。

■3D モデルと組み合わせた処理 3D TIN データを用いた別の応用として、3D TIN と BIM (building information modeling) などで生成された 3D モデルとの組合せがある。3D TIN は前述したように物体の表面を表し、その内部構造に関する情報は持たない。例えば、ビルなどであればわかるのはその外観だけであり、屋内構造の情報は持たない。そこで、そのような内部構造を 3D モデルによって補い、より高度なシミュレーションや解析を行おうとする働きがある [1]。例えば、あるビルを表す 3D TIN の内部に机や椅子、蛍光灯など様々なオブジェクトの 3D モデルを入れることで、現実のビルをより正確に再現でき、建築計画や高精度シミュレーションへの応用が期待できる。

3D モデルとの組合せを考えたとき、どのように 3D TIN の情報と結びつけるかが問題となる。単純には絶対座標を用いた位置合わせが考えられるが、3D モデル側の座標精度は悪くなりうるため、現実的ではない。また、長期的な視点で言えば、プレートの移動や地盤沈下などにより建物の位置も変わる可能性があり、絶対座標を用いる場合屋内のオブジェクト全ての位置も更新する必要がある。つまり、全域における絶対座標ではなく、ある部屋の中における位置など、相対的な位置合わせが必要となる。言い換えれば、このオブジェクトはこの 3D TIN の中にあるという情報をテーブルに格納し、3D TIN とオブジェクトの結合処理が必要となる可能性がある。したがって、3D TIN をデータベースへ格納する際には、そうした 3D モデルとの結合を意識した構造が必要となる。

3 3D TIN のデータベースへの格納方法

本章では、3D TIN データをどのようにデータベースへ格納すべきか検討する。まず、既存研究 [5] におけるアプローチを紹介し、その後大規模 3D TIN データの応用を考慮した格納方法を議論する。

既存研究 [5] では、テーブル単位での TIN の格納とタイルによる部分 TIN データへの分割を提案している。あるテーブルにはタイルの情報を格納し、別のテーブルで各タイルにどの頂点ないし三角形が含まれているかを保持する。言い換えれば、各頂点・各三角形を表すテーブルに、対応するタイル ID を格納するための列が加えられている。これにより、TIN の構造をテーブルで保持しつつ、タイル単位での TIN データの読み取りが可能となる。

ただし、既存研究で考えられているのはあくまで二次元空間上における TIN であり、前述した 3D TIN の応用とは要件が合わない。つまり、タイルへの分割を前提に考えているが、三次元空間上では妥当なタイルの設定自体が難しい。また、タイルは 1 階層のみであり、問合せ領域に応じた解像度の変化にも対応していない。

そこで、以下のような TIN の格納について検討する。

■部分 TIN データ単位の管理 他のデータとの結合を考えたとき、TIN は一続きのデータではなく、何かしらのオブジェクト単位に分かれている方が都合が良い。そこで、点群データでの物体認識などによって、TIN 全域が部分 TIN データに分割されている状況を想定する。つまり、各部分 TIN データに ID を

割り振り、その ID を用いた結合を可能とさせる。

■三次元空間索引による部分 TIN の抽出 ユーザの三次元空間上における視点が決定したとき、そこからの視界は三次元空間上の三角錐で表せる。したがって、三次元空間上に存在する部分 TIN データとユーザの視界となる三角錐とを空間結合させることで、視界に入りうる部分 TIN データのみを効率的に抽出できる。なお、部分 TIN データの一部のみが視界に入る場合もあり、1) 大域的な空間索引による部分 TIN データの抽出と 2) 各部分 TIN データの局所的な空間索引による詳細な TIN データの抽出の二段階の抽出が必要となる可能性もある。

また、次の機能とも関連するが、距離に応じた段階的な抽出も必要となる。あるユーザの視界を考えたとき、例えばすぐ目の前にビルが建っている状況であれば、そのビルの後ろ側は視界に入らない。つまり、可視化に必要な部分 TIN データはビルを表すもののみで、その後方にある部分 TIN データは不要である。このような処理を行う場合、距離の近い部分 TIN データから抽出を行い、抽出した部分 TIN データから視界となる三角錐を再計算する必要がある。

■距離に応じた複数解像度への対応 効率的な可視化のために、複数解像度の画像と組合せた TIN をデータベースへ格納する。距離に応じていずれの解像度のデータが必要かは事前に決められるため、部分 TIN データの抽出時に適切な解像度を選択する機能も必要となる。つまり、上述の距離に応じた段階的な抽出の際に、距離が離れるとともに抽出する解像度を粗くしていく。このような機能をもたせることで、ユーザはアプリケーション側で部分 TIN データまでへの距離を意識することなく、一元的に抽出した TIN を可視化に扱える。

4 おわりに

本稿では、大規模な 3D TIN データのデータベースへの格納及び活用方法について議論した。3D TIN の応用を基に機能要件を確認するとともに、適切な格納方法を検討した。今後は、実装を行い 3D TIN データをデータベースに格納する他、実験により性能を測定する予定である。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 (16H01722, 18H06461) の助成、および、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務による。

参考文献

- [1] 3d セキュリティプランニング — セコム IS 研究所. <https://www.secom.co.jp/is1/research/3d-security-planning/>. Accessed: January 10, 2019.
- [2] GitHub — pgpointcloud/pointcloud: A PostgreSQL extension for storing point cloud (LIDAR) data. <https://github.com/pgpointcloud/pointcloud>. Accessed: January 10, 2019.
- [3] PCL — Point Cloud Library (PCL). <http://pointclouds.org/>. Accessed: January 10, 2019.
- [4] PDAL — Point Data Abstraction Library — pdal.io. <https://pdal.io/>. Accessed: January 10, 2019.
- [5] M. A. Al-Salami. TIN support in an open source spatial database. Master's thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, University of Twente, 2009.