

LiDAR VR による色つき点群データの写真画質化

芝浦工業大学 正会員 ○中川 雅史

1. 研究背景

地上レーザースキャナ計測や地上ステレオ計測といった正確な三次元スキャニング技術は、都市部における GIS データ取得や遺跡のデジタル保存といった様々な用途に用いられる。これらの技術によって得られる点群データは、三次元空間において自由な視点で表示できる。しかしながら、点群データは正確な三次元座標値を保持しているにも関わらず、点群データをレンダリングする際に視点移動が行われる場合は、隠ぺい部の露出と不均一な点群配列が際立ってくるために、レンダリング結果の表示品質が劣化する。さらに、大量の点群データの表示には、大量のビデオメモリと高クロックな CPU が必要となるため、点群データをスマートフォンのような端末上で表示できない。一方で、Google 社の Google Street View や Apple 社の Quicktime VR [1]といったパノラマ VR 生成は、処理がきわめて簡便で、必要なファイルサイズも軽量であるにも関わらず、高い臨場感をユーザーに提供できる。しかしながら、これらの手法は、実際の視点ごとの画像取得が必要となる課題がある。さらに、これらの手法で生成されたパノラマ VR データは、現実の三次元データではない。

2. 目的

点群データの優位性は、自由視点からでも精度よく表示できることである。また、パノラマ画像の優位性は、軽いファイルサイズで、高い臨場感を提供できることである。そこで、パノラマ空間への点群投影によって、これらの優位性を組み合わせられることに着目した。本研究の目的は、ポイントベースレンダリングにもとづき、点群データのレンダリング結果を高速に写真画質化することである。特に、大量の点群データを高速に処理するために、簡素なフィルタリングアルゴリズム構築が重要であることを考慮し、本論文で LiDAR VR データと呼称するデータを生成する手法を開発した。

3. 手法

本研究における提案手法の処理は、「点群データの取得」「点群データを用いた LiDAR VR 画像の生成」および「視点と計測点間の距離値を用いた空間補間」で構成される。これによって、大量の点群データのレンダリング結果を高速に写真画質化することが可能となる。

3.1. 点群データの取得

RGB といった色情報が付く点群データを取得できるセンサであれば、本研究での提案手法を適用できる。たとえば、レーザースキャナや、ステレオカメラ、TOF カメラなどが利用できる。もし、色情報が取得できない場合は、カラーインデックスを用いて、距離値や反射強度値を色情報の代替とすることができる。

3.2. 点群データを用いた LiDAR VR 画像の生成

点群データは、三次元空間からパノラマ空間へ投影され、パノラマモデルと、このモデル表面にあたるレンジ画像から構成される LiDAR VR データ（図 1）に変換される。この処理の目的は、視点移動、フィルタリング処理、および点群閲覧処理の簡略化である。パノラマ空間には、円筒型モデル、球型モデル、立方体型モデルなどが選択される。本研究では、円筒型モデルについて記述する。

任意視点から計測点までの三次元ベクトルから計算される方向角および仰角を、適切な空間角度分解能が設定されたレンジ画像上の列番号と行番号に変換することで、点群データから LiDAR VR データを生成できる。LiDAR VR データには、X, Y, Z, R, G, B, 反射強度といった計測点データが多層形式で保持される。LiDAR VR データの生成における視点位置は自由に決定できるため、連続的な視点移動は、連続的なレンジ画像の生成で再現することができる。

キーワード LiDAR, 点群データ, 三次元計測, VR, 歩行者 GIS

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学工学部土木工学科ジオインフォマティクス研究室

T E L 03-5859-8355 E-mail : mnaka@shibaura-it.ac.jp

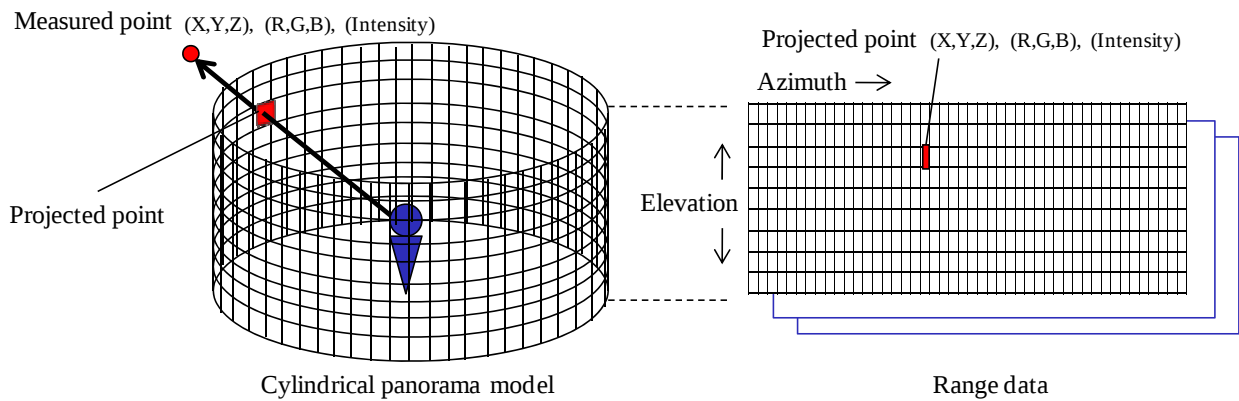


図1. パノラマモデルとレンジ画像から構成される LiDAR VR

3.3. 視点と計測点間の距離値を用いた空間補間

上記の円筒パノラマモデルにもとづき、視点移動を伴った点群データを用いてレンジ画像が生成される。

ここで、図2に示すように、任意視点 X_o から計測点 $P1$ までの方向角は、 R_o と記述できる。同様に、視点位置 X_o が視点位置 X_t へ移動した場合、視点位置 X_t から計測点 $P1$ への方向角は、 R_t と記述できる。方向角 R_o から R_t への変化にともなって、レンジ画像上での計測点 $P1$ の投影位置は移動する。このような視点位置の変化に伴う計測点の投影位置の変化によって、一般的な点群表示と同様に、視点移動を伴った LiDAR VR データ上のレンジ画像には点群の欠損箇所が発生する。

また、図2に示すように、計測点 $P1, P2, P3$ が視点位置 X_o からレンジ画像へ投影された場合、レンジ画像上では、 $P1, P2, P3$ と連続的に配置される。ここで、視点位置が X_o から X_t へ移動した場合、レンジ画像上へ投影される計測点 $P1, P2, P3$ は、 $P1, P3, P2$ といったように再配置される。しかしながら、実際の対象物表面上では、 $P1, P2, P3$ という順番で配置されているため、投影点 $P1$ は隠ぺいされるべき点である。この状態は、点群データのレンダリング結果において、見えないはずの点群が透けて見える状態を意味する。

ここでは、これらの欠損箇所や隠ぺい点群を自動的に特定し、任意視点と欠損箇所周辺の点群間の距離値および色情報を用いて、点群の奥行きを考慮した空間的な補間処理を適用する。これによって、点群データの表示を写真画質化することができる。

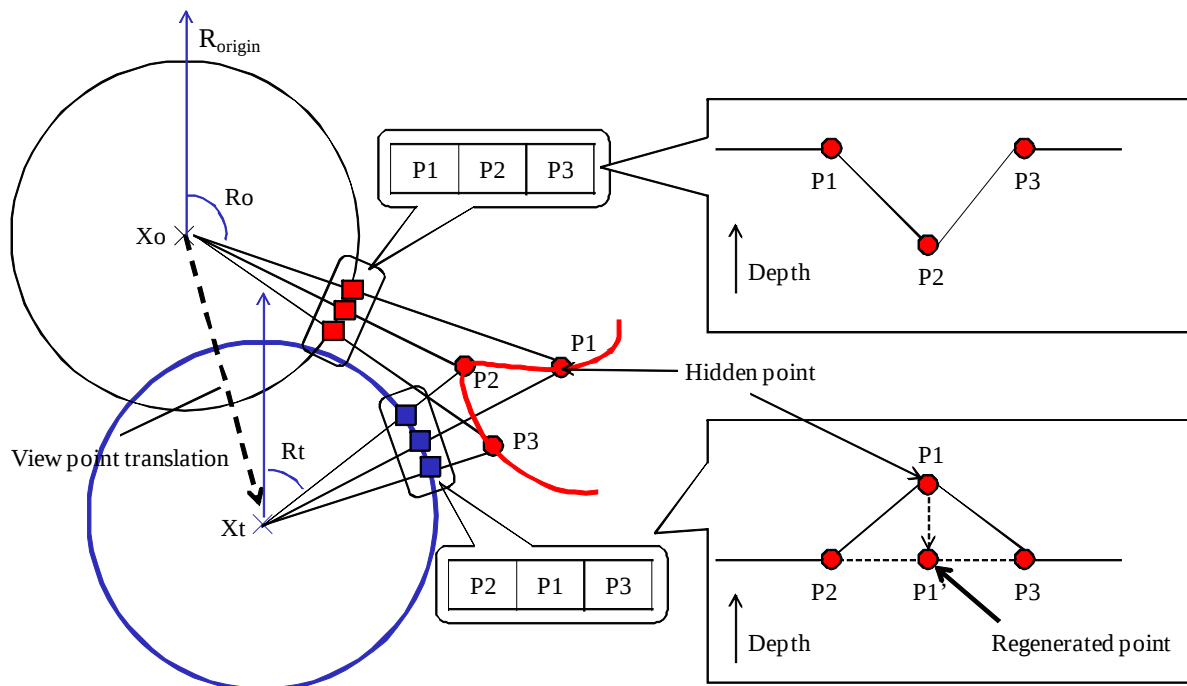


図2. レンジ画像上の視点移動と隠ぺい点群検出において決定される点群の配置と、距離情報を用いた点群補間

4. 実験

地上設置型レーザースキャナ LMS-Z420i (RIEGL Laser Measurement Systems GmbH)によって取得した色つき点群データを用いて、提案した手法に関する実験を行った。このスキャナは、水平方向 360 度および鉛直方向 80 度の範囲で、距離データと色情報を取得できる。大学キャンパスにおいて、地面や独立樹、水たまり、建物などを視野内に含む箇所にこのスキャナを設置し、約 150 万点の点群データを取得した。この点群データを、0.2 度の空間角度分解能および 1800×350 ピクセルの画像サイズで設定したパノラマ空間に投影し、図 3 に示す結果を得た。視点移動の再現例として、スキャナ設置位置から 2.5m 視点移動した後のレンジ画像の一部を図 4 に示す。さらに、視点移動後に空間補間を適用したレンジ画像の一部を図 5 に示す。入力データからレンジ画像への変換にかかった処理時間は、Intel Core 2 Duo プロセッサ (2.80GHz, シングルコア処理) で、一視点生成あたり 0.70 秒であった。また、空間補間のための処理時間は、同環境において 0.11 秒であった。



図 3. LiDAR VR に変換した入力データ (レンジ画像)

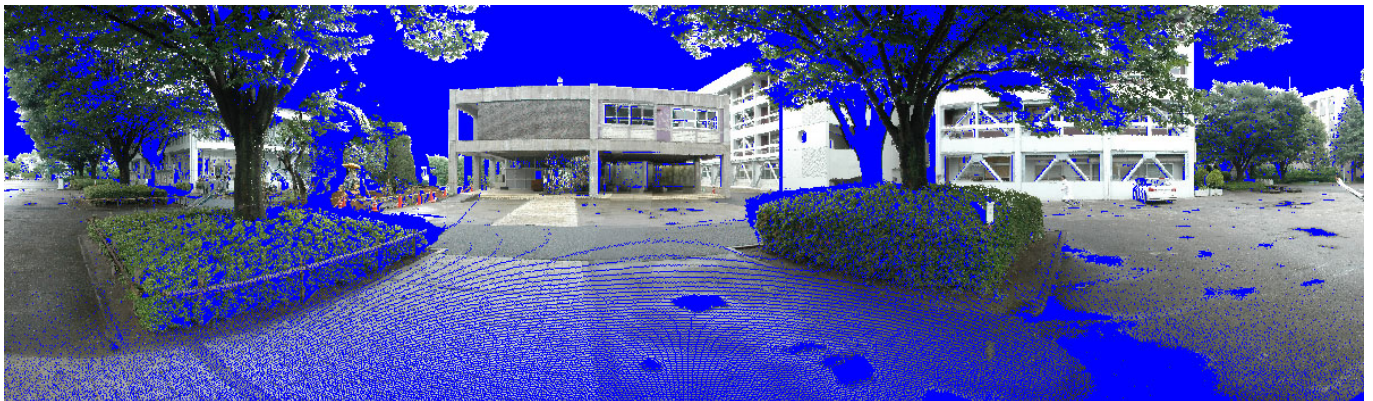


図 4. 視点移動後の LiDAR VR (レンジ画像) の一部



図 5. 視点移動および空間補間後の LiDAR VR (レンジ画像) の一部

6. 考察

ポイントベースレンダリングにもとづいた空間補間によって、点群データのレンダリング結果を高速に写真画質化することを実時間処理で達成できることを確認できた。

まず、図3に示したように、点群データのパノラマ投影を実行することができた。この結果を用いて、図4に示したように、視点移動を再現するLiDAR VRデータを生成できた。ただし、このLiDAR VRデータは、視点移動に伴う点群の欠落を含んでおり、点群の欠落箇所は、レンジ画像上で隙間のあるピクセル配置として、図4において表現されている。

また、図5に示したように、視点移動に伴う点群データの欠落に対して、点群データの欠落領域を自動的に特定し、空間補間処理によって、点群データを再生成できていることがわかる。ただし、水たまりといった大きな点群欠損領域や、樹木で隠れた建物壁面といった隠ぺい領域は、補間に用いる情報がないため、そのままの状態にしている。

一般的な画像処理による手法でこのような欠落箇所を含む画像の補間処理を行う場合は、ノイズ除去の効果を狙ったメディアンフィルタ処理などが適用される。しかしながら、欠落領域周辺の点群密度が低い場合は、ノイズを多く用いた補間処理となるため、色情報のブレンディングが起こる問題がある。しかしながら、本研究の手法では、点群データの奥行き情報を利用し、補間処理に用いる点群を自動的に選別しているので、このようなブレンディングは起こらない。

さらに、空間補間処理によって、隠ぺい領域の特定も行われており、見えないはずの点群が透けて見えるといった現象が回避されていることが確認できる。たとえば、樹幹の向こう側に建物が見えるといったような点群は、図5のレンジ画像上では存在しない。

パノラマ投影処理は、入力点群数と処理時間に比例の関係があるため、大量の点群データを処理するには処理時間が長くなる可能性がある。しかしながら、実験データの処理時間から、一般的に一視点で取得される点群数である100万点程度であれば、全体の処理時間は実時間を達成することを確認できた。

結果として、入力データが大量の点群であっても、本研究で提案した手法によって、写真画質の点群データを高速に生成できることを確認できた。

7. まとめ

本研究では、パノラマ空間への点群投影によって、自由視点からでも精度よく表示できる点群データの優位性と、軽いファイルサイズで高い臨場感を提供できるパノラマ画像の優位性を組み合わせられることに着目した。本研究において、ポイントベースレンダリングにもとづいた、LiDAR VRと呼称するVRデータを点群データから生成するアプリケーションを開発したことで、大量の点群データのレンダリング結果を高速に写真画質化することができるようになった。

参考文献

- 1) Chen, S.E. 1995. QuickTime VR - An image-based approach to virtual environment navigation. Proceedings of ACM SIGGRAPH'95: 29-38.
- 2) Johannes, K. Billy, Chen. Richard, S. Michael F.C. 2010. Street Slide: Browsing Street-Level Imagery. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2010), 29(4), Article no. 96.
- 3) Wei, Z. Shuming, Gao. Hongwei, Lin. 2007. A robust hole-filling algorithm for triangular mesh. The Visual Computer, 23(12): 987-997.
- 4) Zoltan, C.M. Radu, B.R. Michael, B. 2009. On Fast Surface Reconstruction Methods for Large and Noisy Point.. Robotics and Automation, 2009. ICRA '09. IEEE International Conference: 3218 -3223.

謝辞：本研究は総務省 SCOPE：戦略的情報通信研究開発推進制度の支援を受けて行われています