

移動計測データからのロバストなメッシュ生成手法

電気通信大学 ○小平 圭祐, 増田 宏

Robust mesh generation method from data of Mobile Mapping System

The University of Electro-Communications: Keisuke Kohira, Hiroshi Masuda

A mobile mapping system is effective for capturing dense point-clouds of roads and roadside objects. In our previous work, we proposed a method for generating mesh models at high speed. However, this method fails to detect connectivity between points when the next scan line cannot be measured. In this paper, we propose a new method to robustly generate mesh models even when scan lines are partly missing. In our method, we map a point-cloud on a 2D lattice using GPS time, rotation frequency and pulse repetition frequency. Then we detect connectivity of points on the 2D lattice. Our experiments showed that our method could successfully connect neighbor points even when scan-lines were partly missing.

1. 緒言

移動計測装置(MMS)で取得した道路周辺の点群は、効率的なインフラ設備の維持管理に有効である。そのためには、点群に対してセグメンテーションを行い、管理対象の物体ごとに点群を分割する必要がある。

これまでに、我々は、MMSで取得した点群から高速にメッシュを生成する手法として、GPS時刻とレーザスキャナの回転周波数を用いる手法を提案した[1]。点群がメッシュに変換できれば、個々の地物への分割は比較的容易である。

しかしながら、この手法では、隣り合うスキャンライン間で近傍点を連結するため、スキャンラインに欠落がある場合には接続関係を検出できず、メッシュ生成に失敗するという問題があった。そのため、スキャンラインの欠落が頻発する電線などの細い物体において、点群の接続関係を検出できないケースが多く見られた。

そこで、本研究では、スキャンラインの欠落がある場合でも、安定してメッシュを生成するための手法を提案する。この手法では、GPS時刻、レーザパルス繰り返し周波数、回転周波数に着目して点群の構造化を行うことで、点群の接続関係を導出する。

2. 点群の構造化

2.1. 回転周波数の補正

まず、レーザスキャナの回転周波数 f を算出する。ここでは、例題として、レーザスキャナとして Z+F Profiler 9012 を用い、周波数が 100 Hz のモードで計測した点群を用いる。

図 1 は、回転周期ごとに点を追跡したもので、図中の黒丸は、 $1/f (=0.01)$ 秒後ごとの計測点の位置を表している。レーザスキャナのスピンドルは一定速度で回転していたため、隣り合うスキャンライン上の最近傍点は 1 周期後付近に位置すると考えられる。しかしながら、図 1 の黒丸の位置は最近傍点と離れており、計測時に設定した回転周波数(100Hz)は実際の値と異なっていることがわかる。

そこで、点群から回転周波数を推定して補正する。まず、各点と隣り合うスキャンライン間で最近傍点を求め、その最近傍点との GPS 時刻の差 ΔT を算出する。図 2 に ΔT に関するヒストグラムを示す。グラフの横軸は、GPS 時刻の差の階級、縦軸は度数を表している。グラフの分布から、 ΔT は 0.01007 秒付近にピークがあることが分かる。そこで、度数が最大となる ΔT をレーザスキャナの回転周期 T' として用いる。この例

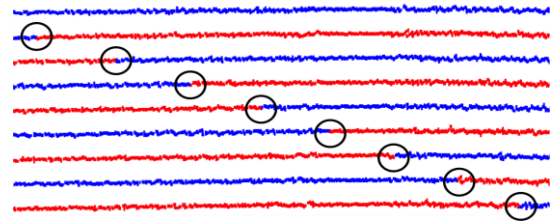


図 1 回転周期後の計測点の位置

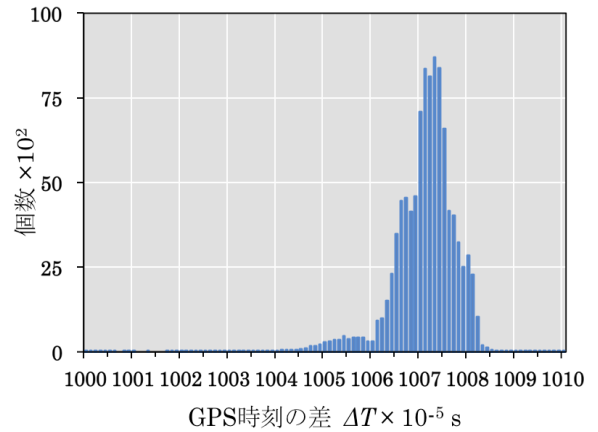


図 2 最近傍点の GPS 時刻の差に関するヒストグラム

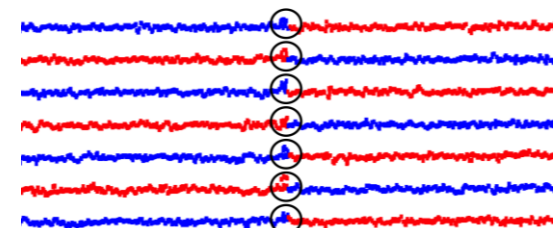


図 3 補正した回転周期後の計測点の位置

では、回転周期は、 $T' = 0.010072$ s となる。回転周波数 f' は、 T' の逆数として算出できる。

2.2. GPS 時刻に基づく点群の 2 次元化

本研究では、Bruno らの提案した手法[2]を用いて、点群を 2 次元に構造化する。ここでは、GPS 時刻、レーザパルス繰り返し周波数、回転周波数を用いる。各点が保持する GPS 時刻

を $t_i (i = 1, \dots, n)$, レーザパルス繰り返し周波数を $f_p (= 1.0 \times 10^6)$, 開始時刻を t_1 からの GPS 時刻を $\Delta t = t_i - t_1$ とする. このとき回転数 r , 照射角度 θ は以下の式で算出できる.

$$r = [\Delta t \times f']$$

$$\theta = (\Delta t - [\Delta t]) \times f_p$$

次に, 回転数 r を縦軸に, 照射角度 θ を横軸にとった 2 次元画像を生成する. 各点での r と θ に基づいて, 点群を画像上のピクセルに写像する. 図 4 に生成した画像の例を示す. この画像では, 各点を持つ反射強度によって明暗値を定めている. 点が格納されていないピクセルは, 青色で示した.

3. メッシュと最近傍グラフの生成

3.1. メッシュ生成

r - θ 画像には, 点群の隣接関係が保存されているため, 高速にかつ簡単に近傍点の探索を行うことができる. ここでは, 点群からメッシュモデルを生成するために, 2 次元画像上でメッシュ生成を行う. ここでは, まず, 2 次元画像の隣り合う 4 点があれば, 四辺形の面を生成する. 次に, 面が定義されていない画像上の領域があれば, その領域に Delaunay 分割を施し, 三角形メッシュを生成する. なお, 本手法では, 点を規則正しく配列させているので, 点群が非常に大規模であっても, Streaming Mesh [3] を用いることで, 実用的な時間でメッシュに変換することが可能である.

2 次元画像がメッシュに変換されたら, 2 次元メッシュの接続関係を用いて, 3 次元のメッシュ生成を行う. ここでは, 2 次元の面に関して, 面を構成するすべての辺の 3 次元距離が閾値以下であれば, 3 次元メッシュでも面を生成する. すべての面にこの処理を行うことで, 3 次元のメッシュが生成できる.

3.2. 最近傍グラフの生成

ケーブルのように細い対象物では, 面が生成できないことも多く, その場合は, スキャンライン方向とスキャンライン間で, 最近傍点を連結したグラフが有用である. ここでは, ケーブル計測のように, 点がケーブルに乗らず, 欠落するようなケースでも点の連結が行えるように, 近傍点探索をする.

いま, 図 5 で示す, r - θ 画像上にある点(赤ピクセル)の最近傍点を探索することを考える. この点に対して, スキャンラインに沿った探索範囲を w とし, スキャンラインに跨る探索範囲を h とする. この $w \times h$ の探索範囲に含まれる点で, 3 次元距離が最短となる最近傍点を求める.

なお, 本研究では, 実験に基づいて $h=5$, $w=30$ と設定した. また, 連結の基準となる閾値は, スキャンライン上で 10cm, スキャンライン間の距離においては, 20cm とした.

4. 評価実験

ここでは, スキャンラインの欠落が頻繁に生じるケーブルを計測した点群を例題として用いた. 本手法を用いて最近傍グラフを生成し, 連結成分ごとに色分けした結果を図 6(b) に示す. 従来手法[1]を用いた場合, 図 6(a)のように, スキャンラインの欠落が原因で電線が細かい連結成分に分割された. 一方で, 本手法を用いた場合, 図 6(b)で示すように多くの電線を長い連結成分として検出できた.

5. 結論と今後の課題

本研究では, レーザスキャナの回転周波数, レーザパルス繰り返し周波数に着目した点群の構造化を行い, 点群の接続関係を安定して導出する手法を提案した. これにより, 従来のメッシュ生成手法では検出できなかった接続関係をロバストに検出することが可能になった.

今後は, 探索領域と接続距離に関する閾値を変化させ, 接続関係をさらに安定して検出する手法を検討する予定である.

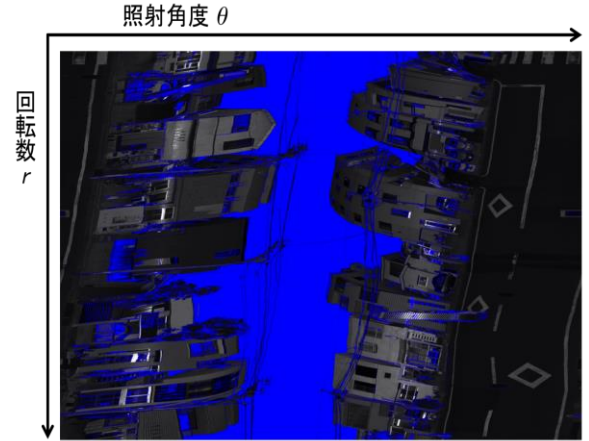


図 4 回転数と照射角度に基づく 2 次元マップ

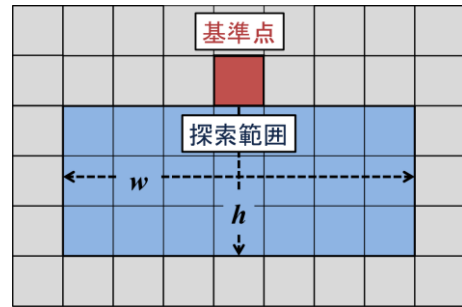
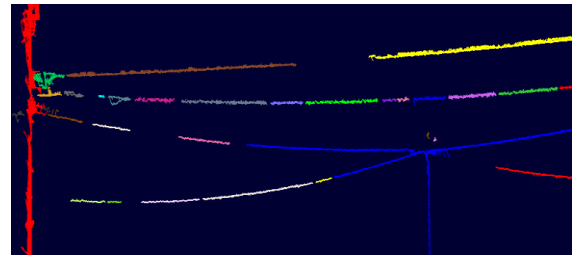
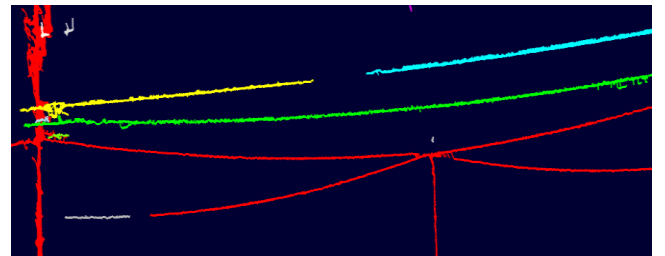


図 5 スキャンライン間の最近傍点探索



(a) 従来手法を用いた最近傍グラフの生成結果



(b) 本手法を用いた最近傍グラフの生成結果

参考文献

- [1] H. Masuda and J. He, TIN generation and point-cloud compression for vehicle-based mobile mapping systems, Advanced Engineering Informatics, 29(4), pp. 841-850, 2015
- [2] V. Bruno, et al., TerraMobilita/iQmulus urban point cloud analysis benchmark, Computers & Graphics 49, 126-133, 2015
- [3] M. Isenburg, Y. Liu, J. Shewchuk and J. Snoeyink: Streaming Computation of Delaunay Triangulations, SIGGRAPH (2006) 1064.