移動計測データから 3 次元道路モデルの構築

東京大学　○賀君，増田宏

Reconstruction of Road Surface Shapes from Mobile Mapping System Data

The University of Tokyo: Jun He, Hiroshi Masuda

Mobile Mapping System (MMS), a vehicle combined with laser scanners, cameras, and GPS/IMU navigation system, is recently used to measure a wide range of roads and to get point-cloud data of them. In this paper, we propose a high speed method to reconstruct road surface shapes by using MMS data. We also compress coordinates of points to make MMS data smaller. To reconstruct the whole road systems, we use Delaunay Triangulation for the street corner where there are intersecting measured lines. At last, we use recorded time information of points to search and extract a part of road from huge MMS data to make a quick representation of that part of road.

1. はじめに

移動計測装置，Mobile Mapping System（以下 MMS）は，走行しながら道路周辺環境の 3 次元計測を行い，3 次元情報を持つ点群を効率的に取得することを目的としている．ただし，移動計測では長距離の計測を行うため，取得される計測データは非常に膨大である．

本研究では，取得された点群データに基づいて路面情報を抽出し，道路の 3 次元モデルを高速かつ高精細に再構成することを目的とする．そこで，大規模な MMS データを効率的に圧縮する手法を考え，また，MMS データの特徴を利用することで，モデルの再構築をできる限り効率化する．

2. MMS データの特徴と走行軌跡

MMS では，回転するミラーにレーザを反射させることで計測を行うため，点群はライン状に取得される．また，走行しながら繰り返しスキャンするため，膨大な個数のラインデータが取得される．各点には計測された時点での GPS 時刻が記録されている．

走行中の移動計測装置の位置も GPS 時刻と共に記録されている．その位置を時系列的に結ぶと，図 1 のような走行軌跡が得られる．MMS データから路面などのメッシュモデルを再構成すれば，この走行軌跡に沿った道路の 3 次元モデルを構築することができる．

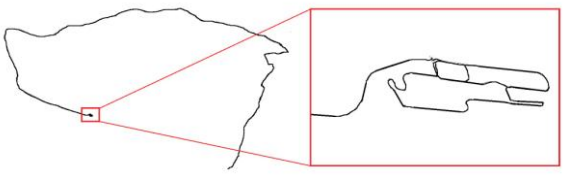

図 1　MMS の走行軌跡

しかし，図 1 のような計測規模でも数百個の MMS データがあり，数千万から数億の点が計測される．そのため，全てのデータを同時に処理するのは困難であり，特定の部分だけを取り出す方法が必要となる．

3.　提案手法

3.1 メッシュ生成

第一報[1]で示したアルゴリズムを用いて，MMS データからメッシュ生成を行う．MMS データの隣り合った 2 つのラインでメッシュを生成し，それを繰り返すことで全体のメッシュを生成する．また，点データがライン上に順番に並んでいる特徴を利用し，近傍点の検索範囲を縮小することでメッシュ生成の高速化を図っている．表 1 に，このアルゴリズムの検証結果を示す．

表 1　メッシュ生成時間

点数：30 万点．行数：1674 行．N：一行の点数．k は係数，k<<N

近傍探索方法	一行の計算オーダ	計算時間	速度比率
全点探索	$O(N^2)$	7.359s	／
本手法	$O(k \times N)$	0.168s	2.3%

しかしながら，この手法では，曲がり角などでは処理が適切に行われない問題があった．交差点や急カーブがあるところでは，計測ライン同士が交わる現象が起きる（図 2 左）．そのようなデータをラインごとで処理するとメッシュの裏返りなどが生じてしまう．

図 2　曲がり角のメッシュ生成

そこで，点群データを地面に投影し，2 次元のドロネー三角分割を行って，メッシュを作成した．その結果，計測ライン同士が交わっている状況でも裏返りがないメッシュの生成が可能となった（図 2 右）．これで曲がり角を含め，連続な路面のメッシュモデルを生成することを可能とした．表 2 に，連結した 15 個の MMS データを用いて本手法の計算時間を検証した結果を示す．

表 2　複数データのメッシュ生成時間

データ数	総点数	メッシュ生成時間	平均計算時間
15 個	450 万点	3.931s	0.262s

3.2 圧縮による MMS データ軽量化

路面データでは点データが直線状に並んでいるという特徴を利用し，線形予測符号化によるデータ圧縮の手法を考えた．ラインの起点を除き，後ろの点は起点とのオフセット量だけを持たせたことでデータ量を削減することができた．表 3 に 1 個の MMS データ（約 30 万点）を圧縮した結果を示す．

表 3　路面データの圧縮率

	大きさ	圧縮率	読込時間	速度比率
元データ	26,948KB	／	4.876	／
本手法	1,637KB	93.9%	0.269	5.5%

また，MMS では路面以外の地物，樹木や電柱などの点群も得られる．しかしそれらは直線上に並んでいない．そこでこれらのデータに対しても，この手法が有効かを検証した．その結果，路面データの圧縮率より低いが，ほぼ同じレベルの圧縮が可能であることを確認できた（表 4）．さらに，この手法では，起点の位置とオフセット量を用いて，高速にデータを復元することも実現している（表 5）．

表 4　路面以外のデータの圧縮率

	大きさ	圧縮率	読込時間	速度比率
元データ	27,246KB	／	4.976	／
本手法	2,197KB	91.9%	0.343	6.9%

表 5　データの復元速度（ファイル 15 個）

	点数	読込時間	速度比率
元データ	450 万点	73.71s	／
本手法	450 万点	3.53s	4.79%

3.3 GPS 時刻によるデータ検索

ここまでの手法で移動計測データから図 3 のような連続な道路モデルを生成することができた．

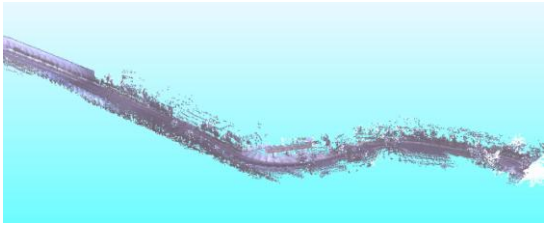

図 3　連続な道路モデル

しかし，第 2 章で述べたように，一回の計測だけでも数百個のデータがあり，データ量が非常に膨大である．そのため，多数のデータファイルから使用したい部分だけを取り出すことが必要となる．そこで，走行軌跡を用いて特定の部分を取出し，高速に表現する手法を実装した．具体的な手順を以下に示す．

① 走行軌跡を表示し，検索したい部分を選択する．
② 選択した部分に含まれる点の GPS 時間の範囲を取る．
③ 事前に作成したインデックスファイルの中で設定した GPS 時間範囲に入るデータを探索する．
④ 見つけたデータを読込み，必要な解像度で表示する．

ここのインデックスファイルは，一回の計測で得られる全ての MMS データファイルの GPS 時間情報を集めたファイルである．具体的には以下の情報を持っている．

① 全てのデータファイルに対し，ファイルごとに含まれる点の GPS 時間範囲を持つ．
② 一つのデータファイルに対し，ラインごとの GPS 時間を持つ．

このインデックスファイルを用いて検索する際には，まず設定した GPS 時間範囲と全てのデータファイルの GPS 時間範囲を比較し，共通の GPS 時間範囲がある場合，そのデータファイルを記録する．次に，記録されたデータファイルのラインごとの GPS 時間を調べ，設定した時間範囲内にあるライン番号を記録する．最後に，記録されたデータファイルを開き，見つけたライン点群を必要な解像度で表示する．

図 4 は，検索の一例を示している．黄色の走行軌跡のピンクの部分が検索範囲とし，その部分の GPS 時刻と同じ GPS 時刻を持つ MMS データファイルを 18 個見つけた．そのうちの 4 つを図 4 の周囲に示している．中央部は読込んだすべての点群の集合である．表 6 にこれらのデータを検索する時間と読込時間を示す．

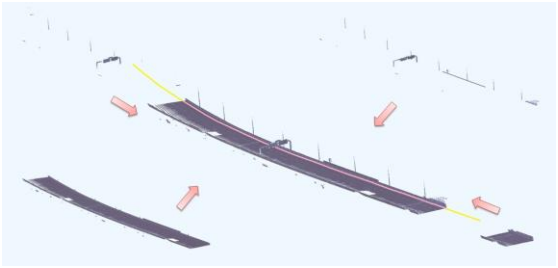

図 4　GPS 時刻によるデータ検索

表 6　検索時間と読込時間

データ数	探索時間	読込時間	平均読込時間
18 個	0.406s	5.585s	0.310s

4. まとめ

本稿では，移動計測点群データの特徴に基づいて，線形予測符号化を用いた圧縮手法で MMS データの軽量化を実現し，計測ラインごとに処理することによって高速にメッシュを生成する手法を示した．ドロネー分割を用いた曲がり角の処理によって，連続な道路モデルを構築することを可能とした．また，走行軌跡の GPS 時刻を用いた検索により，特定な部分だけのデータを表示する手法を示した．

今後は，路面点群を抽出して正規な形に補完し，走行ラインを解析することで曲がり角を自動的に検出するような，さらに応用しやすい道路モデルを作成する予定である．

参考文献

[1] 賀君，増田宏：移動計測データからの路面形状の抽出と表現，平成 23 年度精密工学会秋季大会　2011

[2] 池田邦彦，増田宏：移動計測データのセグメンテーションと地物形状抽出（第二報），　平成 24 年度精密工学会春季大会 2012