

## 道路面と道路周辺物体を用いた 市街地 SfM メッシュと MMS 点群のスケール・位置合せ

北海道大学 ○吉村玲二, 伊達宏昭, 金井理  
アジア航測株式会社 本間亮平, 織田和夫, 池田辰也

### 要 旨

本研究は、市街地の航空写真に対する SfM (Structure from Motion) により得られた SfM メッシュと、MMS (Mobile Mapping System) によるレーザ計測により得られた MMS 点群の合成による高品質市街地計測データ生成を目的とする。本報では、道路面と道路周辺物体から抽出した特徴点を用いた、SfM メッシュと MMS 点群のスケール調整及び位置合せ手法を提案する。

### 1 はじめに

今日、Google マップを始めとする様々な地図閲覧サービスが普及しており、ナビゲーションを目的として我々の生活に身近なサービスとなっている。しかし大規模市街地の3次元モデル構築にはコストと時間がかかるため、3次元計測データから効率よく高品質な3次元モデルを生成する手法が望まれている。現在、市街地の3次元計測データの取得方法として、従来の写真測量や複数画像から3次元形状とカメラ位置、姿勢を同時に推定する Structure from Motion (SfM)、航空レーザ計測や Mobile Mapping System (MMS) が利用可能である。

本研究では、図1に示すように、市街地の航空写真から SfM により生成されたメッシュ (SfM メッシュ) と MMS により道路周辺を計測した点群 (MMS 点群) とを統合することによる、高品質な3次元市街地モデル生成を目的とする。本研究ではこれまでに、ビルのエッジ情報を用いた SfM メッシュと MMS 点群のスケール・位置合せ手法を開発した[1]。この手法は、計測データ内にビルが複数存在する都市部では有効であるが、その他の環境へは適用不可能であった。そこで本報では、より様々な環境から得られた SfM メッシュと MMS 点群の統合を可能とするため、特定対象物を必要としない、道路面の抽出と道路周辺物体上の計測点の点分布に基づく特徴量を用いた、新たな SfM メッシュと MMS 点群とのラフスケール・位置合せ手法を提案する。

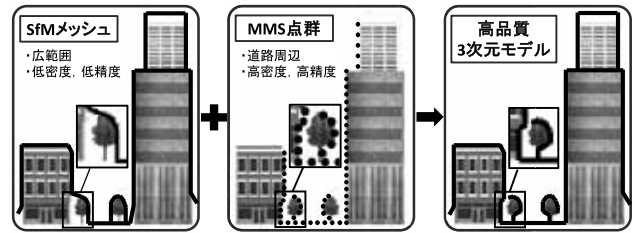


図1 研究概要

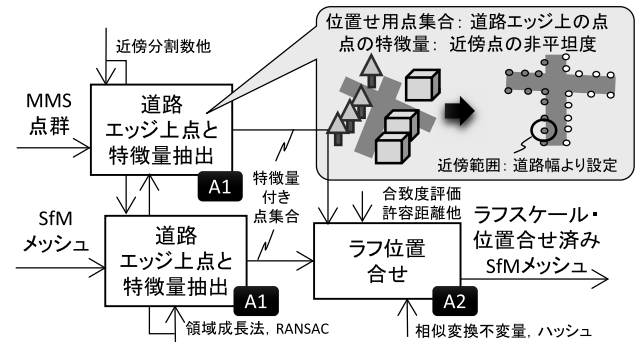


図2 提案手法の概要

## 2 提案するスケール調整・位置合せ手法

### 2.1 提案手法概要

提案手法の概要を図2に示す。まず領域成長法により抽出した道路面から道路幅の推定ならびに道路エッジ (道路縁) 上の点集合を抽出する。次に、推定した道路幅の情報をもとに道路エッジ上の各点の近傍を定義し、その近傍内にある点集合の点分布に基づく特徴量を算出する (図2, A1)。その後、算出した特徴量が類似した道路エッジ上の点集合に対し、3点から求める相似変換不変量とハッシュを用いて SfM メッシュと MMS 点群の間でラフスケール・位置合せを行う (図2, A2)。

### 2.2 特徴量抽出

#### 2.2.1 SfM メッシュの道路エッジ上点と特徴量算出

##### 1) 道路面抽出

本研究では計測データ内の最大面積を持つ平面領域は道路面であると仮定し、法線に基づく領域成長法により平面領域を表す三角形集合を抽出し、三角形数が最大の集合に対して最小二乗法による平面フィッティングを行う。得られた平面領域を道路面とする。

領域成長法は、ランダムに選択したシード三角形 (初期領域) の法線を基準法線とし、領域の隣接三角形と基準法線との法線

間角度が閾値以内であればその領域に隣接三角形追加する処理を反復する。また、一定数以上の三角形が領域に追加された場合、基準法線を領域内の三角形法線の平均へと更新する。ある領域の領域成長処理の終了後、いずれの領域にも属していない三角形を新たなシード三角形として以上を繰り返す。

##### 2) 道路エッジ上点と道路幅算出

抽出した平面領域のメッシュにおいて、接続三角形が1つのエッジの端点を道路エッジ上候補点として抽出する。そして、この候補点集合に対してユークリディアンクラスタリングを行い、微小なクラスタとなった点集合はノイズ点として除去し、その他の点を道路エッジ上点集合  $P_R$  とする。その後、 $P_R$  に対して RANSAC により直線フィッティングを反復して適用し、複数の道路エッジ候補直線を得る。得られた直線から2つを選び、線間角度が閾値以下であれば線間距離を算出し、最大の線間距離を道路幅  $d^M$  とする。

##### 3) 特徴量算出

まず  $P_R$  の各点  $i$  において、道路面に垂直な軸を持ち半径が  $d^M/n$  の円柱内の点集合を  $i$  の近傍点集合  $i^*$  として求める。次に、 $i^*$  を高さ方向 (道路面に垂直な方法) に  $m$  分割する。そして、各分割点集合に対して主成分分析を行い、第三主成分  $\lambda_3$  を各分割点集合の非平坦さとして得る。最後に、 $i^*$  で得られた  $\lambda_3$  の平均値  $\bar{\lambda}_3$  を点  $i$  の特徴量とする。本研究では  $n$  と  $m$  はそれぞれ実験的に 2, 5 に設定した。

## 2.2.2 MMS 点群の道路エッジ上点と特徴量算出

### 1) 道路面抽出

まず主成分分析により各点の法線を求め、法線に基づく領域成長法により平面領域を抽出する。そして、点数が最大の平面領域に含まれる点を道路面点群として抽出する。その後、道路面点群に対して RANSAC による平面フィッティングを行い道路平面を得る。領域成長法における領域成長条件は SfM メッシュの手法と同様である。

### 2) 道路エッジ上点と道路幅算出

道路平面に道路面点群を投影し、道路平面をグリッド化する。グリッドの各セルにおいて、その隣接に点が含まれていないセルが 1 つでもあれば、そのセルを道路エッジ候補セルとする。そして、道路エッジ候補セルに対するユークリディアンクラスタリングを行い、一定数以上のセルを含むクラスタのセル集合を道路エッジセル集合  $C_R$  とする。その後、 $C_R$  の各セルにおいて、近傍セル内に含まれる点集合を用いて主成分分析を実施し、第二主成分  $\lambda_2$  が閾値以下のセルを求める。このセルは、周辺点が一次的に分布しているとみなせ、道路エッジ上の可能性が高いため、それらをサンプルとする RANSAC により、 $C_R$  内の点集合に直線フィッティングを行い、道路エッジ候補直線と道路エッジ上点を得る。最後に、得られた直線群から SfM メッシュと同様に道路幅  $d^P$  を算出する。

### 3) 特徴量算出

道路エッジ点を中心に SfM メッシュと同様に近傍点集合の分割点集合に対する主成分分析を行い、特徴量を得る。

## 2.3 ラフ位置合せ

上記で算出した特徴量が付与された道路エッジ上の点集合を用いて MMS 点群と SfM メッシュの対応を見つける。本研究では、まず特徴量が類似した点集合をそれぞれのデータから抽出し、それらを地面平面に投影し、ダウンサンプリングした 2 次元の特徴点集合を得る。そして、前報[1]と同様の相似変換不変量とハッシュを用いて、スケーリングを伴うラフ位置合せを行う。この処理は以下の手順で行う。

### ① 登録処理 (図 3)

相似変換不変量として、特徴点  $i^M$  (基準点) から他の 2 点  $j^M, k^M$  までの距離  $l_{jM}, l_{kM}$  ( $l_{jM} < l_{kM}$ ) の比  $L$  と差分ベクトル間角度  $\theta$  を用いる。求めた相似変換不変量を用いて特徴点の組  $(i^M, j^M, k^M)$  をハッシュテーブルに登録する。この処理を MMS 点群の特徴点の全組み合わせについて行う。

### ② 検索処理・合致度評価

SfM メッシュの特徴点からランダムに選択した 3 点  $i^P, j^P, k^P$  の相似変換不変特徴量を求め、①で作成したハッシュテーブルを検索することで、類似した特徴量をもつ MMS 点群中の特徴点の組の集合  $\{(i^M, j^M, k^M)\}$  を取得する。そして、 $i^P$  と  $i^M$ 、 $j^P$  と  $j^M$  を一致させる座標変換を求め、得られた座標変換を SfM メッシュの特徴点集合へ適用する。最後に、SfM メッシュの各特徴点の一定距離内にある MMS 点群の特徴点の総数を合致度として求める。以上の処理を一定回数繰り返す、合致度が最大の座標変換を SfM メッシュの全頂点へと適用することにより、位置、姿勢ならびにスケールの一致した SfM メッシュを得る。

## 3 結果

図 4 に本実験で用いた SfM メッシュ (頂点数 475,784) と MMS 点群 (点数 3,179,086) を示す。SfM メッシュは商用ソフトウェア (Smart3DCapture) により作成した。図 5 に本手法に

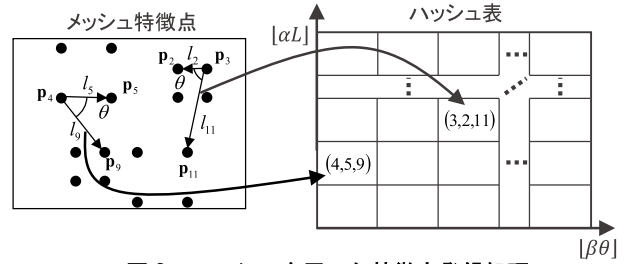
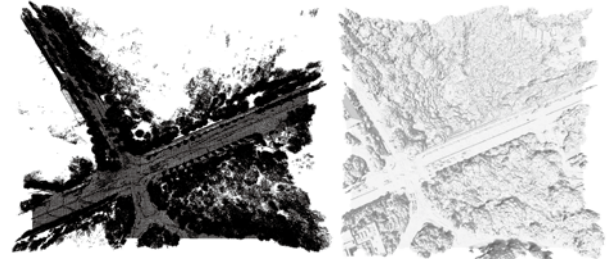


図 3 ハッシュを用いた特徴点登録処理



(a) MMS 点群 (b) SfM メッシュ

図 4 実験に用いたデータ

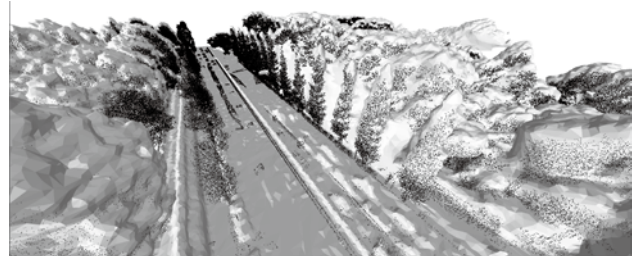


図 5 位置合せ結果

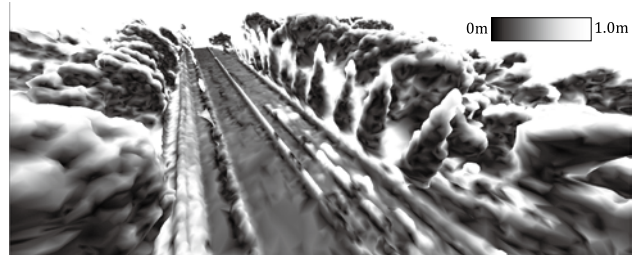


図 6 位置合せ誤差表示

より、得られたラフスケール・位置合せの処理結果を示す。実験より、本手法では前報[1]と異なり、高層ビル等がない環境の計測データに対するラフスケール・位置合せが行えることが確認できた。位置合せの処理時間は 1,002sec であった。また図 6 は、SfM メッシュ頂点から MMS 点群の最近点までの距離を色付けした結果である。1m 以内に最近点を含んでいる SfM メッシュ頂点から最近点までの平均距離は 0.61m であった。

## 4 おわりに

SfM メッシュと MMS 点群を用いた高品質市街地モデル生成のための、道路エッジ上の点集合を用いた、スケールを考慮した両データの位置合せ手法を提案した。実験の結果、本手法により初期位置とスケールが異なる SfM メッシュと MMS 点群を概ね妥当なスケール・位置に調整可能であることがわかった。スケール調整を伴う詳細位置合せ手法の開発が今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 吉村他, 航空写真計測メッシュと MMS 計測点群を用いた高品質市街地モデル生成—計測データ間の位置合わせ—, 2015 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.485-486 (2015)