

点群と画像の併用による移動計測データからの対話的な形状再構成

東京大学 ○小栗昇悟, 増田宏

Interactive Shape Reconstruction from Mobile Mapping Data using Point Clouds and Images

The University of Tokyo: Shogo Oguri, Hiroshi Masuda

Recently, there are many studies about methods to make 3D models automatically from point clouds. However, shape reconstruction by automated processing from mobile mapping data is difficult because of its low density and low accuracy. In interactive modeling with a human, similarly, it is difficult to recognize objects because of low density of mobile mapping data. In this paper, we consider an intuitive interactive shape reconstruction method in which images and point clouds captured by mobile mapping are used together.

1. 目的

現実世界を3次元モデルとしてコンピュータ上に再現することは様々な分野で有用である。現実世界を忠実に再現した3次元モデルを作成するためには現実世界を計測する必要があるが、近年はレーザにより周囲の物の位置を点群データの形で短時間に大量に取得できるレーザスキャナが進歩を遂げてきた。さらに、レーザスキャナと CCD カメラ、GPS、慣性計測装置 (IMU) をシステム化し、自動車に搭載した GPS 移動計測装置 (Mobile Mapping System. 以下, MMS) が開発され、道路周辺の地物については短時間で広範囲にわたって計測することが可能となった。

しかし移動計測により取得できる点群データは低密度・低精度であるため、移動計測による点群データから全自動で3次元モデルの作成を実現することは困難である。そのため本研究では人間とコンピュータとが対話的に形状の再構成を行う手法について考える。

人間とコンピュータが対話的に操作を行う場合も、MMSの移動計測によって得られる点群データの低密度・低精度は障害となる。計測で得られた点群データを単純に画面上に表示しただけでは、どのような構造物を表しているのか人が見て容易に把握することができないからである。そこで、CCD カメラから得られた画像と、レーザスキャナから得られた点群データを融合させ、ユーザの画像上での指示に基づいてコンピュータが3次元形状を再構成できる環境の構築を目的とする。

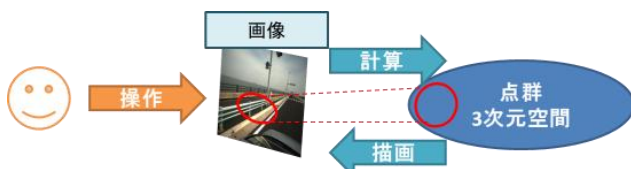


図 1 画像と点群を組み合わせたシステムのイメージ

2. 点群の2次元画像上への投影

2.1 ピンホールカメラモデル

3次元空間において計測された点群を画像と対応付けるために、まず点群を画像上に投影する。点群の画像上への投影

には、ピンホールカメラモデルを用いる。この手法により、カメラの中心を原点としたカメラ座標系で3次元空間上の点が記述されていれば、その点の画像内での位置を計算することができる。カメラ座標系から画像上の座標系への計算の流れを図に示す。ピンホールカメラモデルを適用するためには、3次元空間上の点群の座標をカメラ座標系で表す必要がある。カメラ座標系は画像撮影時のカメラの位置・角度に依存する座標系のため、カメラ座標系への変換は画像撮影時のカメラの位置・角度を用いて計算を行う。また、移動計測によって得られる点群は非常に広い範囲から得られたものであり、画像撮影場所とは関係のない点が大部分を占める。そこで画像撮影時刻と点が取得された時刻を比較して投影に使う点群を絞り込む。以上の投影の一連の流れを図3に示す。

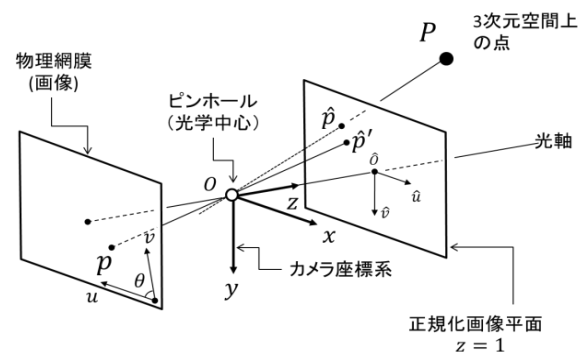


図 2 ピンホールカメラモデル

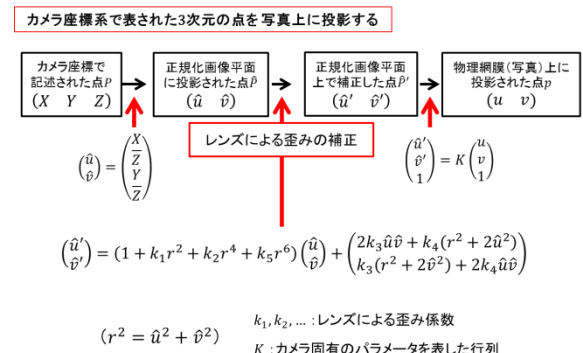


図 3 ピンホールカメラモデルの計算の流れ

2.2 画像の歪みを考慮した3次元座標の算出

画像上の点から3次元空間上の座標を求めるにはレンズに

よる画像の歪みを考慮しなければならない。3次元空間座標から画像上の座標への変換については、歪みを反映した手法が存在する。しかしその手法の逆変換を解析的に求めることは難しい。そのため、画像上の座標 p からレンズによる歪みがない場合の正規化画像平面上の座標 $\hat{P}$ の算出に非線形関数の最適化の解法を利用した。

画像上での位置を x_i, y_i , また $\hat{P} = (\hat{u} \ \hat{v})^T$ とおくと、ピンホールカメラモデルによって、既知の関数 f, g を用いて以下の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} x_i &= f(\hat{u}, \hat{v}) \\ y_i &= g(\hat{u}, \hat{v}) \end{aligned} \quad (1)$$

x_i, y_i から $\hat{P} = (\hat{u} \ \hat{v})^T$ を、非線形関数の最適化で求める場合、以下の式を満たす $\hat{u}, \hat{v}$ を求める問題を解くことと同じと考えられる。

$$\{f(\hat{u}, \hat{v}) - x_i\}^2 + \{g(\hat{u}, \hat{v}) - y_i\}^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

この問題の解法には、準ニュートン法を用いた。歪みを無視し逆変換を行った場合と、歪みを考慮して準ニュートン法を用いた逆変換を行った場合の比較を図4に示す。大きな点がマウスポイントにより選択した場所であり、小さな点は算出された路面との交点を画像上に投影したものである。マウスで横断歩道のエッジ部分をクリックしたが、歪みを無視して交点を求めた場合(図4左)では交点が内側にずれている。歪みを考慮した場合(図4右)は、クリックした場所と交点が一致している。

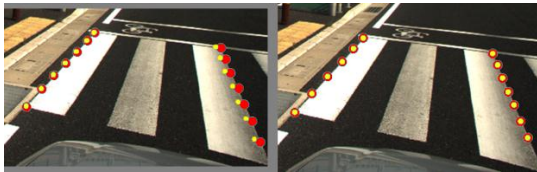


図4 歪みを無視した場合(左)と考慮した場合(右)

3. 対話的な手法による形状再構成

形状再構成手法の概要は以下の通りである。

1. 点群から曲面(ここでは平面)を決める。
2. 画像上に線画を描く。ユーザが描画するか、もしくは画像から特徴線を抽出する。
3. 上記の線画を曲面上に投影することにより、空間曲線が決まる。空間曲線が閉曲線であれば、曲面から面を切り出し、フェイスを構成する。
4. フェイスをスイープすることにより、立体を構成する。
5. 同じ立体が複数表れていれば、手動または自動認識によって、立体をコピーして配置することで、対象物体を再構成する。

本研究では、平面に限定して、スイープ形状を再構成することを考える。また、立体のコピーは、手動で行う。

平面の決め方は、点群を画像上に投影しておき、ユーザが画像上の点群と対応した3つの画素を選択することで、その3点を含む平面を計算する。

スイープについてもユーザが画像上において操作する。スイープの長さの決め方については図5に示す。図5において、

点 Q は平面上に描画されて線画の始点、直線 n は平面に対する垂線、直線 m は直線 l, n の両方に垂直に交わる直線である。

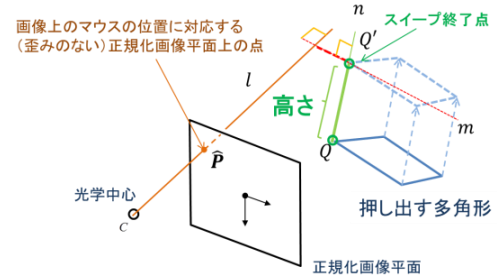


図5 スイープの長さの決め方

4. 評価実験

以上の手法を用いて、形状の再構成を画像上で行ったものを図6に示す。画像はMMSによって点群と共に取得されたデータである。平面として路面を指定した後、信号柱・ガードレールの足・緑石などを、画像に合わせて形状の再構成を行うことができた。

ただし図6においてはモデルと画像が一致しているものの、同じ3Dモデルを他の画像上に投影するとずれが生じる場合が存在することもわかった。対象物が画像の端に投影されるほど画像とのずれが大きくなるため、カメラパラメータやキャリブレーションの誤差によるものと考えられる。このことは、モデリングにおいては、対象物ができるだけ中央部分にある画像を選択することが必要であることを意味している。



図6 形状再構成を行った結果

5. まとめ

点群と画像を対応付ける手法と、画像上での操作による形状再構成手法を示した。今後は、再構成の対象物に応じて適切な画像を自動的に選択する仕組みや、より複雑な形状の再構成を可能にすること、また形状再構成時に形状を点群と自動的に一致させられるように改良を加えていきたい。

参考文献

- 1) Forsyth, David A.; Ponce, Jean. “幾何カメラモデル”. コンピュータビジョン. 大北剛訳. 共立出版, 2007, p. 23-43