

## Q8 建造物の線構造とGPSを利用した屋外環境の3次元復元

安藤 友典<sup>1</sup> 石井 郁夫<sup>1</sup> 高橋 章<sup>2</sup> 今井 博英<sup>1</sup> 牧野 秀夫<sup>3</sup><sup>1</sup>新潟大学大学院自然科学研究科 <sup>2</sup>長岡工業高等専門学校 <sup>3</sup>新潟大学工学部情報工学科

## 1 はじめに

画像から対象の3次元形状を復元するには、カメラの外部パラメータを知る必要がある。屋外環境においては、対象となる物体に関する3次元的情報は未知である場合が普通であり、対象となる空間も大きいことから、3次元復元に必要な情報をセンサを用いたり、画像情報から取得する方法が用いられている。しかしセンサ類を用いる手法は装置構成の複雑さや、センサの誤差が問題になる。また画像情報のみを用いる方法は精度の低下や解の安定性に問題がある。

そこで本研究では、カメラ姿勢の推定に建造物に存在する水平・垂直線群を利用すると共に位置の推定にRTK-GPSを利用する方法を提案し、高精度な3次元復元が可能であることを示す。

## 2 線構造を利用した姿勢推定

## 2.1 水平・垂直線からの姿勢推定

建造物の稜線や窓枠などが水平・垂直線であることを利用し、それらにより構成される平面に対するカメラ姿勢を推定する。カメラ座標系 CCS から見た平面の姿勢が分かれば、ワールド座標系 WCS に対するカメラ姿勢を知ることができる。CCS での平面の姿勢は垂直・水平線の単位方向ベクトル  $V_H, V_V$  より得ることができる。図1のように空間中の2本の水平線を  $l_{h1}, l_{h2}$ ,

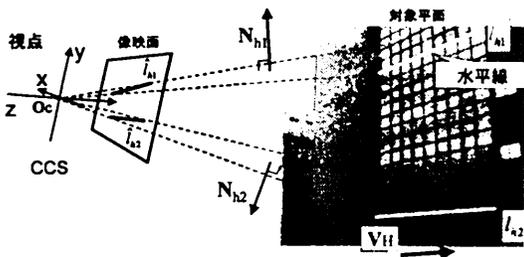


図1 水平線の方法ベクトル

その画像面への投影像を  $\hat{l}_{h1}, \hat{l}_{h2}$  とする。すると視点  $O_c$  と  $\hat{l}$  を通る平面が規定され、その平面の法線ベクトル  $N_{h1}, N_{h2}$  について  $V_H \perp N_{h1}, N_{h2}$  より、対象平面の水平方向ベクトル  $V_H$  は

$$V_H // N_{h1} \times N_{h2} \quad (1)$$

と表される。垂直方向ベクトルについても同様に、視点と投影像により既定される平面の法線ベクトル  $N_{v1}, N_{v2}$  を用いて

$$V_V // N_{v1} \times N_{v2} \quad (2)$$

が得られる。

$V_H, V_V$  から得られるカメラ姿勢のうち、方位角 (yaw 角) は  $V_H$  に依存して決定される。すなわち、同一平面上に乗っている水平線2本を選択すれば、その平面に対するカメラ姿勢が得られる。また、垂直線2本については必ずしも視覚的に実在する平面上になくともよい。

## 2.2 ベクトルの直交化

水平・垂直線は空間中で直交している。そのため前節によって決定された  $V_H, V_V$  も、本来直交しているはずである。しかし、一般に3次元空間中における姿勢は3自由度であるのに対し、 $V_H, V_V$  の持つ自由度は合わせて4であり、姿勢を表現するには冗長である。そのため、これらのベクトル間に直交性が保証されず、実際に直線抽出の誤差などの影響により2ベクトルは厳密には直交しない。

直交しない  $V_H, V_V$  を、そのままカメラ姿勢の推定に用いた場合、姿勢精度に悪影響がでる。そのため2ベクトルの明示的な直交化を行うような最適化を行う[1]。実装には Simplex 法を用いた。

## 2.3 画像からの直線抽出

姿勢推定に用いる水平・垂直線は、画像からサブピクセル精度で得る。画像は、事前に行ったカメラキャリブレーションにより放射状歪みを補正しておく。

具体的な手順は、1) 画像からエッジをサブピクセル精度で抽出、2) 方向別に分割、3) 劣性エッジを除去、4) エッジの明暗方向別に分類、5) 必要な直線に対し選択的に直線回帰を行う、である。

また途切れたエッジに対し個々に直線回帰を行うと本来の直線とは、ずれた結果を生じる。そのため途切れ線を統合して回帰直線を最小二乗推定するような実装を行った。

## 3 RTK-GPSによるカメラ位置の取得

カメラ位置を画像情報のみから推定すると誤差の影響を受けやすく、特に奥行き方向の誤差は屋外環境のように対象までの距離が遠くなればなるほど増大する。また、またカメラの並進成分のスケールが、画像からは特定できないため、大きさの基準となる物体を画像に写しこむ必要がある。

そこで本研究では、カメラ位置の特定に、画像とは別の情報-GPS-を用いる。ここで用いる GPS は RTK-GPS と呼ばれるリアルタイム干渉測位型の高精度 GPS であり、測位誤差は水平方向が 3cm 程度、垂直方向はそれより少し悪い程度である。

GPS の位置精度劣化の指標は DOP (Dilution of Precision) で表される。DOP は時間帯によって変化する

ため、DOP ができるだけ小さくなるような時刻に計測を行うことにする。

#### 4 実験

システム構成図を図2に示す。実空間をデジタルスティルカメラ (2464 × 1648 pix) で撮影し、そのときのカメラ位置を RTK-GPS で記録する。RTK-GPS による測位値 60 サンプル (1 サンプル/sec) の平均を、そのときのカメラ位置とする。GPS 座標系は日本測地系を利用する。

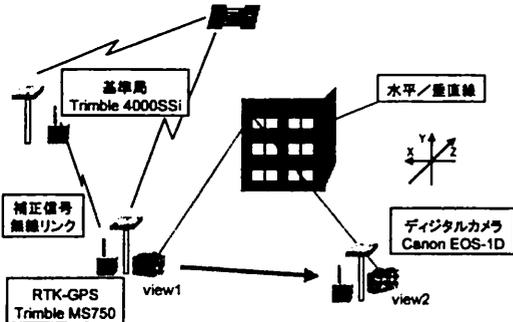


図2 システム構成図

建造物を2視点から撮影し、それぞれの画像について画像中の水平・垂直線よりカメラ位置を推定する。ここでは3次元復元が目的であるから、2視点間で同じ平面に注目しなければならない。図3, 4に、それぞれの姿勢推定に用いた直線 (手動で選択) を、表1, 2に

表1 視点Iの推定カメラ姿勢と座標

位置 (m)	x	207914.626	姿勢 (deg)	roll	-14.4906
	y	9.449		pitch	-2.6323
	z	39638.706		yaw	0.2990

表2 視点IIの推定カメラ姿勢と座標

位置 (m)	x	207961.923	姿勢 (deg)	roll	-18.9869
	y	9.405		pitch	34.5493
	z	39633.860		yaw	1.4875

姿勢推定結果と RTK-GPS による測位値を示す。

視点Iを WCS の原点とし、得られた外部パラメータを元に建物の3次元形状を復元する。復元の対象となる特徴点は、姿勢を推定する際に抽出した直線の交点を利用すれば、高精度化と同時に、隠れ点も場合によっては推定できる。

復元結果を建物の左斜め上方から見た様子を図5に示す。図6は右斜め上方から見た様子にテクスチャを貼り付けたものである。計測点の誤差については評価中であるが、例えば窓枠 (図5中に○で印した) に注目すると、対向する辺の長さの差が6mm程度、辺のねじれが0.4deg程度であり、窓枠のような小領域でも低歪みで復元できている。

#### 5 まとめ

建造物が有する水平・垂直線を用いてカメラ姿勢が推定できることを示した。

都市空間や屋内環境において水平・垂直線は高確率で観察でき、姿勢の推定に利用可能である。また RTK-GPS による位置情報とを組み合わせ、建物の一部の3次元復元を行い、高精度な3次元計測ができることがわかった。

今後の課題は、直線当てはめの最適化、復元された3次元情報の信頼性の評価・信頼性情報の付加、3次元復元の高効率化などである。



図3 視点I

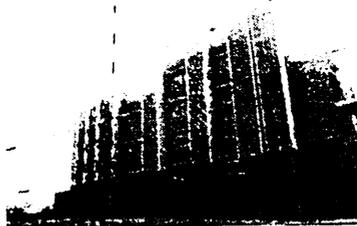


図4 視点II

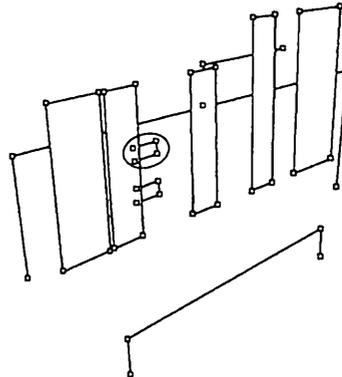


図5 : 3次元復元結果 (○が復元点)



図6 : 視点を変えテクスチャを貼った復元結果

#### 参考文献

- [1] 高橋, 石井, 牧野, 中静: 人口現実感インタフェースのための単眼画像からのマーカの位置と姿勢の計測, 信学論 VOL79-A No3, 804-812 (1996)