

L2 建造物中の直線とGPSを用いた屋外環境の3次元再構築

安藤 友典¹ 石井 郁夫¹ 高橋 章² 今井 博英³ 牧野 秀夫³

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科 ² 長岡工業高等専門学校 ³ 新潟大学工学部情報工学科

1 はじめに

VRや3次元GISなどに用いる3次元都市モデルの構築には、デジタルカメラ画像を用いて2次元画像から3次元形状を再構築する手法が広く用いられる。その際には撮影時のカメラの外部パラメータ(ワールド座標系における位置・姿勢)を知る必要がある。

屋外環境の3次元再構築は対象となる空間が大きく視点数も増える。そのため外部パラメータをマーカなどから得ることは難しく、センサから取得したり、画像からカメラ運動と物体の形状を同時に推定する手法[1]が用いられている。しかし前者は装置構成の複雑化やセンサの誤差、後者は位置姿勢誤差の蓄積や精度低下、計算安定性が問題となる。

本研究ではカメラ姿勢を建造物が有する水平・垂直線群から、カメラ位置をRTK-GPSから取得する手法を提案している。[2] 本稿では姿勢の推定法を拡張するとともに広域空間の3次元構築が可能であることを示す。

2 水平・垂直線を利用した姿勢推定

2.1 水平・垂直線方向ベクトルとカメラ姿勢推定

建造物の稜線や窓枠などが水平・垂直線であることを仮定し、それらの直線により構成される任意の平面に対するカメラ姿勢Rが推定できる。[2]

3次元空間中で平行な2直線の投影像(カメラ画像)より、カメラから見た直線の3次元方向ベクトルを求めることができる。図1に水平線2本の例を示す。

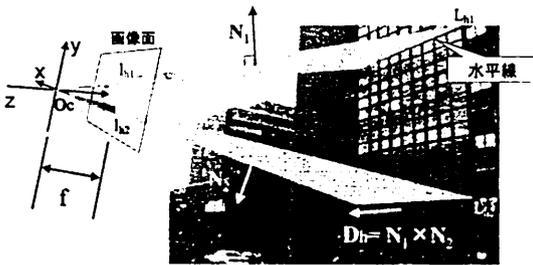


図1 水平線方向ベクトル

図1のように空間中の2本の水平線を L_{h1}, L_{h2} 、その画像面への投影像を l_{h1}, l_{h2} とする。視点 O_c と L_{h1} は同一平面上に存在するので、カメラの焦点距離 f が既知であれば点 O_c と l の両端点を通る平面の法線ベクトルが得られ、 N_{h1}, N_{h2} が求まる。水平方向の単位ベクトルを D_h とすると $D_h \perp N_{h1}, N_{h2}$ より

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

となる。垂直方向の単位ベクトル D_v についても同様

にして得ることができ $D_h \rightarrow (1, 0, 0)$, $D_v \rightarrow (0, 1, 0)$ となるような Roll 角, Pitch 角, Yaw 角を計算することにより R が求まる。 D_h の成分から Yaw 角を計算した場合、水平線群が乗る平面に対するカメラ姿勢が得られ、垂直線群は同一平面上に乗っている必要はない。

このように水平・垂直線が最低各2本ずつ観察できればカメラ姿勢を推定できる。また D_v は直交する水平線の外積によっても求めることができるので、水平線2本とそれに直交する水平線1本によっても姿勢は推定可能である。

2.2 複数直線の利用

画像から抽出された直線は誤差を含んでおり、カメラ姿勢を水平・垂直線各2本ずつから推定した場合、その誤差の影響を受けやすくなる。

また水平線と垂直線は空間中で直交している(すなわち $D_h \cdot D_v = 0$) ことから、水平・垂直方向ベクトルは合わせて3自由度で表現できるが、得られた D_h, D_v は合わせて4自由度を持っている。そのため画像誤差によりこれらは直交せず姿勢推定精度が悪化する要因となる。

そこで直交性を保証する方向ベクトル組 \hat{D}_h, \hat{D}_v を3自由度で定義し、評価関数

$$E = \left\{ m - \sum_{i=1}^m (\hat{N}_i \cdot N_i)^2 \right\} + \left\{ n - \sum_{j=1}^n (\hat{N}_j \cdot N_j)^2 \right\} \quad (2)$$

$$\hat{N}_i // \hat{D}_h \times s_i, \quad \hat{N}_j // \hat{D}_v \times s_j$$

を最小化することにより最適な \hat{D}_h, \hat{D}_v を得る。ここで m, n はそれぞれ水平線、垂直線の本数 ($m, n \geq 2$) で図2のように s は視点 O_c から直線 l (L) の重心に向かうベクトルである。

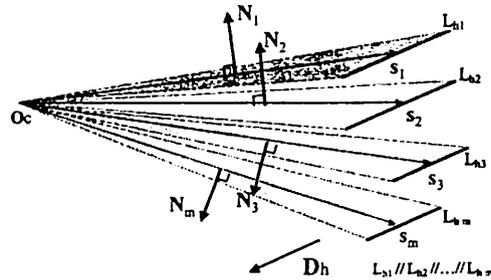


図2 複数直線と(水平)方向ベクトル

画像中には複数の水平・垂直線が存在している場合が多いため、それらを利用してカメラ姿勢を推定することにより誤差の低減と信頼性の向上をはかることができる。

2.3 カメラ姿勢のワールド座標系への変換

v 番目の視点において得られた建物の平面 (壁面など) に対するカメラ姿勢 R_v を後述の GPS によるワールド座標系におけるカメラ姿勢 R_w に変換する。姿勢の推定において建物中の直線が水平・垂直線であると仮定したので R_v のうち Roll 角, Pitch 角については変換の必要はないが, Yaw 角については図3のような場合が想定されるため δ_{yaw} を推定する必要がある。

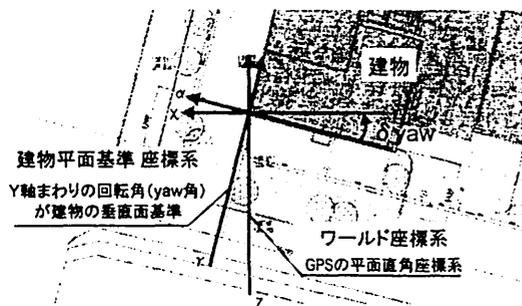


図3 ワールド座標系に対する Yaw 角

事前に行ったシミュレーションにより δ_{yaw} が正しくないと3次元再構築結果に特定の歪が観察されることが分かった。このことを利用し、再構築結果における歪が最小となる $\hat{\delta}_{yaw}$ を推定する。すると次式により R_w が得られる。

$$R_w = R_v R_{\hat{\delta}_{yaw}} \quad (3)$$

3 RTK-GPS によるカメラ位置の取得

本研究ではカメラ位置を RTK-GPS により取得し、ワールド座標系を平面直角座標系 (系番号 8, 日本測地系 2000) を用いて構築する。RTK-GPS はリアルタイム干渉測位型の高精度 GPS で測位精度は数 cm 程度である。衛星配置による位置精度劣化指標となるのが PDOP 値で7以下が望ましいとされる。

GPS を用いると、屋外環境のような対象までの距離が遠い状況でカメラ位置を画像情報から推定する場合の問題点、すなわち画像解像度やカメラ運動に起因するカメラ位置の推定誤差や、多視点撮影での視点間の並進成分の誤差の蓄積、カメラの並進成分のスケールの不定性などが生じない利点がある。

4 実験

過去に行った再構築 [2] よりも広域な空間を対象とし視点数も大幅に増やして実験を行った。単一焦点距離レンズ ($f=24\text{mm}$) を装着したデジタルスチルカメラ ($3072 \times 2048\text{pix}$) で建物群を周囲 25 視点から撮影する。

そのときのカメラ位置を RTK-GPS から取得したものを図4に示す。塗りつぶし部分の建物の再構築を行う。視点1のカメラ位置をワールド座標系の原点とした。測位値は±数 cm 程度のランダムノイズを含んでいるため 60 サンプル (1 サンプル/sec) の平均値を用いた。撮影を行った時間帯における GPS の PDOP 値は 2~5 程度であった。

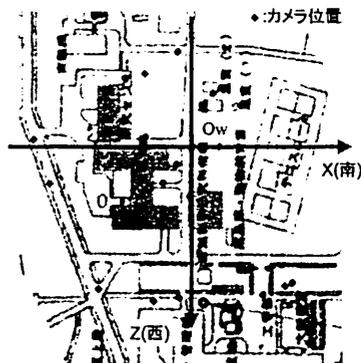


図4 再構築を行う建物とカメラ位置

撮影画像中の水平・垂直線は手動で判別し、そのエッジをサブピクセル精度で抽出する。抽出したエッジから直線をロバスト推定し、各視点のカメラ姿勢 R_v を計算する。

再構築を行う特徴点は 3~4 視点で観察されており、姿勢を推定する際に抽出した直線の交点が利用できる場合はそれを利用し、そうでない場合は手動で抽出した。交点を利用した場合サブピクセル精度で直線を抽出しているので高精度化ができるとともに、隠れ点の推定も可能である。

再構築結果とその評価については発表会場で報告する。再構築結果における形状歪や寸法の誤差についての評価と、画像からカメラ運動と物体形状を同時推定する手法 [1] による再構築結果との比較を行う予定である。

5 まとめ

建造物中の複数の水平・垂直線を用いて単眼視画像からカメラ姿勢を推定するとともに RTK-GPS により構築したワールド座標系を用いて屋外環境の多視点3次元再構築を行う手法を提案した。

文献 [1] のような画像ベースの3次元再構築手法では推定された物体形状を、同時に推定したカメラ運動を用いて画像平面に再投影し、その誤差を最小化することによりカメラ運動と物体形状の推定結果を最適化する手法が用いられており、これは本提案手法においても適用可能である。

画像ベースの手法では画像間の特徴点の対応を確保するために画像枚数が増え、パラメータも多くなるため計算収束性が問題となるが、提案手法では初期値に十分な精度を持つパラメータを与えることができるので更なる高精度化を検討中である。

参考文献

- [1] 徐剛: 写真から作る3次元CG, 近代科学社, 初版, 2001
- [2] 安藤, 石井, 高橋, 今井, 牧野: 建造物の線構造とGPSを利用した屋外環境の3次元復元, 信学信越支部大会論文集, pp357-358, Oct 2002