

GPS の併用による測位精度を考慮した 動画像からのカメラ位置・姿勢推定

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 桑 秀行, 武富 貴史, 佐藤 智和, 横矢 直和

1 はじめに

動画像上の特徴点の動きからカメラの位置・姿勢を推定する手法は Structure From Motion(以下, SFM) と呼ばれ, 三次元形状復元や自由視点画像生成をはじめとする多くの分野への応用が可能である. しかし, 撮影された動画像のみからカメラの位置・姿勢を推定する手法 [1] では, 推定結果に誤差が蓄積するという問題がある. また, 推定されるカメラの位置・姿勢はフレーム間での相対的なものであり, スケール情報が得られない.

このような問題に対し, 動画像に加えて環境に関する事前知識や GPS を併用する手法 [2, 3, 4] が提案されている. 環境に関する事前知識として, 三次元位置が既知の基準点を利用する手法 [2] では, SFM において, 基準点を併用した bundle adjustment を行うことにより, 蓄積誤差とスケールの不定性の問題を解決している. しかし, 広範囲な屋外環境において多数の基準点を計測するには多くの人的コストがかかるという問題がある.

GPS を併用する手法 [3, 4] では, 動画像中の特徴点の追跡によって得られるカメラの位置・姿勢と GPS から得られる位置情報を同時に用いることで, GPS 測地座標系における蓄積誤差のないカメラの位置・姿勢を得ることができる. これら従来手法では, GPS の測位誤差を平均値が 0 の正規分布としているが, 実際には短時間の観測では平均測位位置が真値から大きく外れるため, 特に GPS の測位精度が低い float 解や differential 解が得られた場合にカメラ位置・姿勢の推定精度が大きく低下するという問題がある.

そこで本研究では, GPS の測位誤差を正規分布と仮定せず, 代わりに GPS 受信機の真の位置が GPS の測位位置を中心とする GPS の測位精度 (RTK-fix, RTK-float 等) に依存した一定の範囲内に存在することを仮定する. この仮定に基づく誤差関数を最小化することで, GPS の測位精度に応じて動画像からのカメラの位置・姿勢推定結果を補正し, GPS の測位精度が低い場合にカメラ位置・姿勢の推定精度が低下することを防ぐ.

2 GPS の測位精度を考慮したカメラ位置推定

本研究では, 文献 [3] と同様にカメラと GPS 受信機の相対位置関係を固定して撮影した動画像と GPS の測位値から GPS 測地座標系におけるカメラの位置・姿勢を推定する. まず, 動画像中の特徴点を追跡することで, 逐次的に各フレームに対するカメラの位置・姿勢と特徴点の三次元位置の相対的な関係を推定する. 次に, 本研究で新たに定義する GPS の測位位置と特徴点の再投影誤差に関する誤差関数を最小化することにより, 動画像全体でカメラの位置・姿勢と特徴点の三次元位置を最適化する. これにより, 蓄積誤差を含まない GPS 測地座標系でのカメラの位置・姿勢を得る. ただし, 本研究では動画像と GPS 測位の同期が取れているものとする.

2.1 誤差関数の定義

本研究では, 誤差関数を第 i フレームにおける特徴点位置に関する誤差 Φ_i と GPS 測位位置に関する誤差 Ψ_i を用いて以下のように定義する.

$$E = \sum_{i \in F} \Phi_i + \omega \sum_{i \in F_g} \Psi_i \quad (1)$$

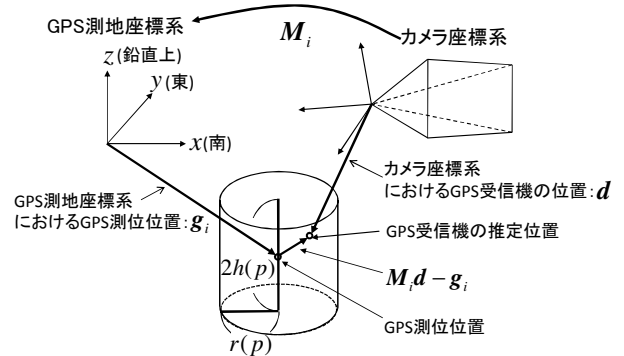


図 1 GPS 測位位置に関する誤差

ただし, ω は重み係数, F は動画像のフレームの集合, F_g は GPS 測位時刻に対応する動画像のフレームの集合を表す. 誤差関数 E を最小化することで, 動画像全体でカメラの位置・姿勢と特徴点の三次元位置を最適化する. 以下, 特徴点位置に関する誤差 Φ_i と GPS 測位位置に関する誤差 Ψ_i について詳述する.

2.1.1 特徴点位置に関する誤差

文献 [3] と同様に, SFM 法において一般的に用いられる再投影誤差を用いて, 特徴点の位置に関する誤差 Φ_i を以下のように定義する.

$$\Phi_i = \frac{\mu_i}{|S_i|} \sum_{j \in S_i} \kappa_j (x_{ij} - \hat{x}_{ij})^2 \quad (2)$$

ただし, S_i は第 i フレームの画像上で検出される特徴点の集合, μ_i は各フレームに対する重み係数, κ_j は逐次処理で得られた特徴点 j の信頼度を表す. また, x_{ij}, \hat{x}_{ij} はそれぞれ, 第 i フレームにおける特徴点 j の画像上での検出座標と, 特徴点 j の三次元位置を画像上へ投影した座標を表す.

2.1.2 GPS 測位位置に関する誤差

一般に GPS の測位誤差は水平方向と高度方向で異なることから, 本稿では, GPS の水平方向の誤差と高度方向の誤差を独立に扱う. すなわち, 図 1 に示すように, 真の GPS 受信機の位置は GPS の測位位置を中心とする GPS の測位精度に依存した一定の大きさの円柱内に存在するとし, GPS 測位位置に関する誤差 Ψ_i を以下のように定義する.

$$\Psi_i = \left(\frac{1}{r(p)} \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \right)^{2n} + \left(\frac{1}{h(p)} z_i \right)^{2n} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{pmatrix} = M_i d - g_i \quad (4)$$

ただし, M はカメラ座標系から GPS 測地座標系への変換行列, d はカメラ座標系における GPS 受信機の位置, g は GPS 測地座標系における GPS の測位位置, r は円柱の半径, h は円柱の高さの $1/2$, p は GPS の測位精度を表す. また, n はあらかじめ与える定数であり, n に大きな自然数を与えることで, GPS 受信機の位置が測位位置を中心とした円柱の中に存在する場合には Ψ_i が 0 に近い値となり, 円柱の外となる場合には非常に大きな値となる. ここでは Ψ_i を微分可能な形で定義することで, 次項の最適化処理における勾配計算を可能としている.

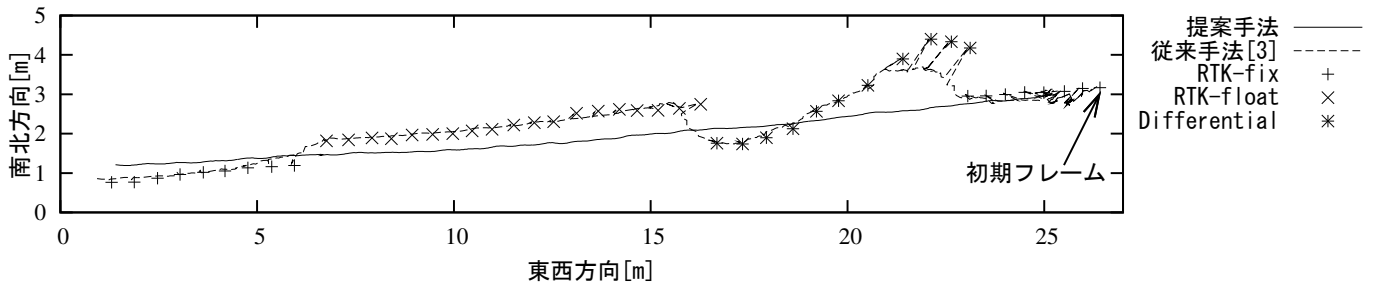


図2 カメラ位置の推定結果と GPS の測位位置 (水平方向)

表1 測位精度ごとの誤差の最大値 [mm]

測位精度	(a) 全データ		(b) 外れ値除外後	
	水平方向	高度方向	水平方向	高度方向
RTK-fix	3563	4552	761	322
RTK-float	11103	27882	1326	2642
Differential	178828	535325	5306	8867

2.2 誤差関数の最小化によるカメラ位置・姿勢推定

式 (1) で定義した誤差関数 E を、カメラの位置・姿勢 M と特徴点の三次元位置をパラメータとして、勾配法によって最小化する。ただし、誤差関数 E には局所解が多数存在するため、各フレームの重み μ_i を変化させることで局所解を回避する。具体的には、GPS 測位値があるフレームの重みを大きく設定することおよび、全てのフレームの重みを等価に設定することを最適化処理が収束する度に交互に繰り返す [3]。

3 実験

本節では、まず GPS を固定して観測を行い、式 (3) で用いる測位精度ごとの位置計測の誤差範囲を決定する。次に、カメラと GPS を移動させながら取得した動画と GPS の測位値を用いて従来手法 [3] との比較を行い、提案手法の有効性を確認する。

3.1 測位精度ごとの位置計測の誤差範囲の決定

RTK-GPS 受信機 (Nikon LogPakII) を固定して約 5 時間 30 分の連続測位を行った。表 1(a) は、得られた全ての RTK-fix データの平均位置を真値とし、測位精度ごとに真値からの誤差の最大値を算出したものである。表 1(a) より、測位精度ごとに誤差の最大値が大きく異なることが確認できる。ここで、得られた測位データから、GPS の測位値には誤差が極端に大きい外れ値が少数含まれていることが確認できたため、同表 (b) には測位精度ごとに、水平方向、高度方向それぞれについて誤差が大きい 2 割の測位値を外れ値として除外した結果を示す。外れ値を除外することにより、誤差の最大値が大幅に小さくなっていることが分かる。以降の実験では、GPS 測位の外れ値が何らかの手法により除外できるものとし、表 1(b) に示した各測位精度における水平方向の誤差の最大値と高度方向の誤差の最大値を、それぞれ円柱のパラメータ $r(p)$, $h(p)$ とする。

3.2 動画と GPS 測位値を用いたカメラ位置推定

本実験では、ワイドレンズ (Sony VCL-HG0758) を取り付けたビデオカメラ (Sony DSR-PD-150) を用いて約 30m の距離を直進して撮影した動画 (解像度 720 × 480 画素、プログレッシブ撮影、15fps、700 フレーム) と RTK-GPS 受信機 (Nikon LogPakII) から得られた 1 秒間隔で計測された GPS 測位値を入力として用い、従来手法 [3] との比較を行った。ただし、動画と GPS の測位値は手動で開始時刻を同期させ、カメラと GPS 受信機の相対位置関係は手動で計測した値を用いた。

水平方向および高度方向のカメラ位置の推定結果と GPS

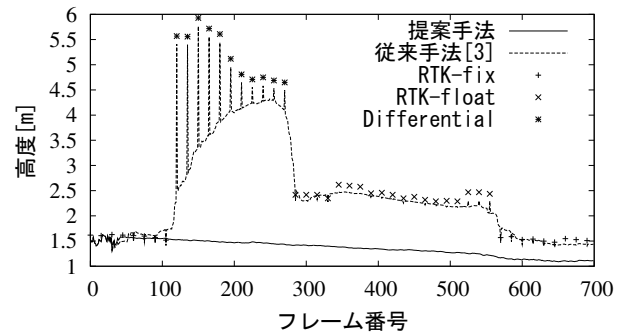


図3 カメラ位置の推定結果と GPS の測位位置 (高度方向)

の測位位置をそれぞれ図 2、図 3 に示す。これらの図より、従来手法 [3] では GPS の測位精度が低い場合 (RTK-float, Differential) において、カメラ位置が GPS 測位位置に引き寄せられ、直線的な移動から大きく外れていることが確認できる。これに対して、提案手法では GPS の測位精度にかかわらず、カメラの移動経路がおおむね直線上にあり、このような問題が生じていないことが分かる。

4 まとめ

本稿では、GPS 受信機の真の位置が GPS の測位位置を中心とする GPS の測位精度に依存した一定の大きさの円柱内に存在することを仮定し、この仮定に基づく誤差関数を最小化することで、GPS の測位精度に応じて動画からのカメラの位置・姿勢推定結果を補正する手法を提案した。実験では、提案手法を用いることで、GPS の測位精度が低い場合においても、GPS の測位位置に大きく依存することなくカメラ位置が推定できることを確認した。今後の課題として、GPS 測位に含まれる外れ値の除外手法の開発、逐次処理における GPS 測位値の利用などが挙げられる。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金 (基盤研究 (A), No.19200016) による。

参考文献

- [1] M. Pollefeys, R. Koch, M. Vergauwen, B. Dcknydt and L. V. Gool, " Three-dimensional Scene Reconstruction from Images, " Proc. SPIE, Vol. 3958, pp. 215-226, 2000.
- [2] 佐藤智和, 神原誠之, 横矢直和, 竹村治雄, " マーカと自然特徴点の追跡による動画からのカメラ移動パラメータの復元 " 信学論 (D-II), Vol. J86-D-II, No. 10, pp. 1431-1440, 2003.
- [3] 横地裕次, 池田聖, 佐藤智和, 横矢直和, " 特徴点追跡と GPS 測位に基づくカメラ外部パラメータの推定 " 情処学論:CVIM, Vol. 47, No. SIG5(CVIM13), pp. 69-79, 2006.
- [4] M. Agrawal and K. Konolige, " Real-time localization in outdoor environments using stereo vision and inexpensive gps, " Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition, Vol. 3, pp. 1063-1068, 2006.