

全方位画像の動きベクトルを利用したカメラ位置姿勢推定手法に対する誤差要因の影響  
Effects of Error Factors for Estimation of Position and Orientation Parameters  
Using an Omni-directional Image Sensor

浜田 哲也<sup>1</sup> 高野 孝英<sup>2</sup> 片桐 雅二<sup>3</sup> 杉村 利明<sup>1</sup>  
HAMADA Tetsuya TAKANO Takahide KATAGIRI Masaji SUGIMURA Toshiaki

### 1. はじめに

モバイル環境では利用者の位置姿勢がサービスを適切に提供するための重要な情報となる。携帯端末にカメラがあると、その撮画像も利用者の位置姿勢情報が含まれた重要な情報源と言える。現状、屋内外ともに高精度な位置姿勢情報が獲得できる万能なセンサは存在しないため、いくつかのセンサを組合せて利用することが考えられる。そのため、画像センサを利用した場合の位置姿勢推定の特性を明らかにすることは、他のセンサとの有効な組合せやアプリケーションの適用範囲を検討する上で重要である。カメラの位置姿勢推定手法としては、ロボットの自己位置推定などで多くの検討がなされている[1]-[3]。著者らは、利用者位置でのカメラの撮画像情報のみを利用することを前提とし、撮画像中の多数の特徴点を追跡し、カメラの位置姿勢を推定する手法を既に報告している[4]。この報告では、姿勢推定に対して位置推定を行う時間間隔を大きくすることでより正確な推定に結びつく事を示した。しかし、追跡する特徴点が偏って分布していると、位置姿勢推定の精度に大きな影響を与える可能性も考察された。特徴点分布の偏りの他にも影響を与える要因がいくつか考えられる。[4]ではカメラの姿勢(回転角)を求めた後、位置推定を行うため、回転角推定精度は位置推定精度に対しても大きく影響する。まずはカメラ回転角推定に対して4.2章に示す3つの要因の与える影響について検討を行い、推定誤差との関係を明らかにする。

### 2. 推定パラメータ

カメラの位置姿勢パラメータは6自由度と多く、利用者位置での一つのカメラの画像情報のみから、全6パラメータの推定を安定に精度よく行うことは容易ではない。ここでは推定するカメラの位置姿勢パラメータを水平面内の移動による並進成分(カメラの移動ベクトル2成分)と水平面に垂直な軸を回転軸とする回転成分(カメラ回転角1成分)との3成分に限定する(図1)。これら3パラメータを、カメラの撮画像から得られる動きベクトルを用いて推定する[4]。ここで動きベクトルとは、カメラの移動に伴い生じる2枚の撮画像間の画像変位を画素単位で表したベクトルである。動きベクトルを検出する画像には、側方360°を一度に撮影できる双曲面ミラーを利用した全方位画像[1]を利用する(図2)。全方位画像の長所として、全方位で動きベクトルを検出できること、1つの動きベクトルを長い時間観測するのに有利であることが挙げられる。

### 3. カメラ回転角推定

カメラの視野内に動物体が存在しないと仮定する。この時、動きベクトルはカメラの回転と並進移動により生じる。カメラが並進していないければ、動きベクトルと全方位画像中心とで成す扇型の中心角がカメラ回転角となる。そこで、

画像から得られる全動きベクトルに対し、各々カメラ回転角を求める。ただし動きベクトルには、画像解像度による量子化誤差が含まれる。さらに特徴点の位置に応じた並進成分も含まれるため、カメラ回転角の全計算結果をヒストグラムに表すと図3のように真値以外の値が多数含まれる。動きベクトルが全方位かつ奥行きについてもランダムに分布すると、カメラ回転角の真値を中心に左右同程度に広がりをもつヒストグラムが得られると考えられ、この時ランダムに加わる誤差や並進成分による誤差は全計算結果の算術平均を求める事で打ち消すことが期待される。算術平均を求める際には、角度が0[rad]と $2\pi$ [rad]とで連続していることは考慮する。つまり、並進成分を持つ動きベクトル群からカメラ回転角が推定されることが期待される。

### 4. 実験

#### 4.1 目的と特徴点生成

[4]の手法が有効な適用範囲や改善点を明らかにするために、まずはカメラ回転角推定について検討する。カメラ回転角推定に対し影響を与える要因として、ここでは特に4.2章に示す3つの要因を想定し、推定精度に対する影響について考察する。実験では、撮画像間の対応を取るための特徴点を仮想的に生成し条件をコントロールする。

カメラの移動と特徴点生成は次のように行う。生成する特徴点数は200とし、その配置例を図4に示す(左:偏りなし、右:45[deg]方向に偏らせた分布)。紙面に垂直な軸方向の特徴点分布は一様分布に従う。カメラは図4の座標(0,0)を初期位置とし、次フレームで(0,1)へと移動する。この間にカメラの姿勢は0.002[rad]回転させる。半径方向の特徴点分布は正規分布に従い、カメラから特徴点までの平均的な距離は100とした。これはフレーム間でカメラが1[cm]移動したとすると、カメラの初期位置から半径100[cm]を中心の特徴点分布している環境に相当し、室内などのカメラから比較的近距离に特徴物が存在する環境を想定している。生成した特徴点は双曲面ミラーを想定しCCD面上へ投影を行い、CCD面上座標にて画素単位への量子化を行う。量子化誤差は全試行で加わる。特徴点に追跡誤差を加える場合はCCD画素上で加える。CCD画素上に投影された特徴点例を図5に示す。特徴点生成の条件について表1にまとめる。

表1 特徴点生成の条件 (太字が基本条件)

1. CCD 解像度	<b>XGA, VGA, QVGA</b>
2. 特徴点の偏り方向	<b>なし</b> , 0, $\pm 45$ , $\pm 90$ , $\pm 135$ , 180 [deg]
3. 追跡誤差の含まれる割合	<b>0</b> , 5, 10, 20 [%]
追跡誤差の大きさ	10 [pixel] 相当

#### 4.2 実験項目

本報告にて検討する3つの要因について説明する。

1 (株)NTT ドコモ マルチメディア研究所  
2 NTT アドバンステクノロジー(株)  
3 DoCoMo Communications Labs. USA, Inc.

要因1 - 量子化誤差が動きベクトルには必ず生じる。そこで、精度に対し必要な CCD 解像度を求める必要がある。またカメラの性能で決まるため、他の要因の達成すべき性能の指標にもなると考える。

要因2 - 画像上で得られる特徴点は環境依存で全方位に存在するとは限らない。偏った特徴点分布での実験を行うことで、現実的な環境での推定精度について考察する。

要因3 - 動きベクトルを検出する際に、マッチングの誤対応などにより動きベクトルが誤りとなる場合がある。誤った動きベクトルを含む実験を行い、その影響を検討する。

4.3 結果と考察

結果を図 6-8 に示す。全て縦軸は推定誤差を示し、100 回の試行で得られた誤差の平均値と標準偏差からなるエラーバーにてグラフ化している。

要因1 に対する結果は図 6 となる。横軸は CCD 解像度を示す。誤差平均は解像度毎の量子化誤差の目安に比べ非常に小さい。これは、量子化誤差が全動きベクトルに対しランダムに加わる誤差であり、多数の計算結果から算術平均を取る方法が有効であることを示している。

要因2 に対する結果は図 7 となる。横軸はカメラの進行方向に対して特徴点が主に存在する方向を示す。誤差の標準偏差は、要因1 とほぼ同等である。しかし、誤差平均は正弦波のようなグラフ形状を示し、その大きさは  $\pm 90[\text{deg}]$  で今回実験した 3 項目の全条件の中で最大であった。逆にこの違いは、動きベクトルに占める並進成分の割合が誤差の大きさに反映しているためと思われる。

要因3 に対する結果は図 8 となる。横軸は追跡を誤った特徴点が含まれる割合を示す。割合が大きくなるにつれ、誤差の標準偏差が大きくなる傾向が得られた。

特徴点がカメラの進行方向に対して左右いずれかに偏って分布しているほど、カメラ回転角の誤差そのものが大きくなることが確認された。これは、動きベクトル中の並進成分が算術平均で打ち消されていないことによる。動きベクトル中の並進成分の割合は、カメラから特徴点までの距離が近いほど大きくなると思われる。今回想定した室内(特徴点が近距離にある)環境では、多数の計算結果から算術平均を用いて代表値を求める手法では、並進成分が無視できず、十分ロバストな手法とはならなかったと言える。特徴点の偏りは継続して同様の方向に生じる可能性があり、誤差の蓄積に繋がる。そのため、並進成分による影響を受けにくい手法に改善できることが望ましい。改善策として、カメラの並進方向に対して、動きベクトルの並進成分の符号は対称となることを利用する[5]などが考えられる。次に特徴点の追跡精度(要因3)が悪くなると、誤差の標準偏差が大きくなることを示されたが、特徴点の追跡精度を100%とすることはオクルージョンの問題もあり困難である。そのため、特徴点の追跡結果の信頼評価とその評価を次フレーム以降に反映させることが重要であると考えられる。

5. まとめ

位置姿勢推定手法[4]におけるカメラ回転角推定に対し、3つの要因(4.2章)が与える影響について検討を行った。その結果、特徴点がカメラ進行方向の左右いずれかに偏るとカメラ回転角の推定誤差が大きくなることが確認され、特徴点までの距離が近い環境では並進成分の影響が無視できないことが示された。この誤差は蓄積する可能性があり、

並進成分の影響を小さくする工夫が必要である。特徴点の追跡精度は、推定結果のバラツキに大きく影響することが示された。今後、位置推定についても同様の検討を行い、本手法全体がロバストとなる条件の評価や他センサとの統合時に他センサに求められる性能の指標を得る実験を行う。

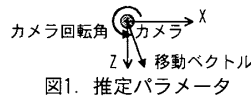


図1. 推定パラメータ



図2. 全方位画像例

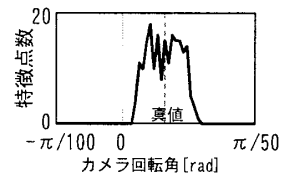
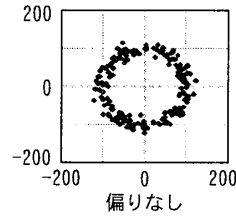


図3. カメラ回転角の計算結果のヒストグラム表示

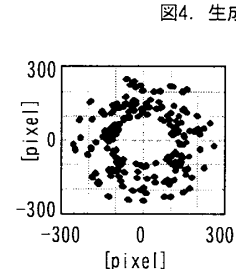


図4. 生成された特徴点の例

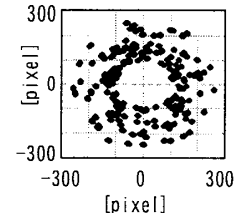


図5. CCD画素上に投影された特徴点の例

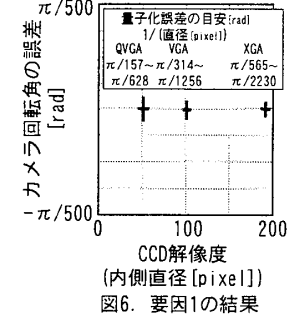


図6. 要因1の結果

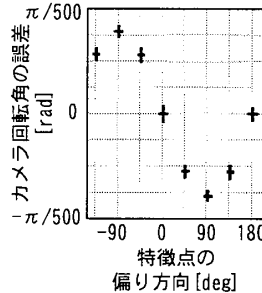


図7. 要因2の結果

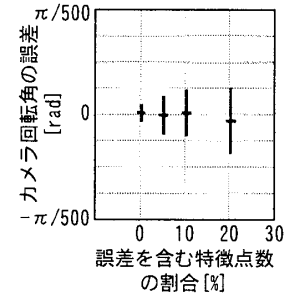


図8. 要因3の結果

謝辞

数々のアドバイスを頂いた NTT ドコモマルチメディア研究所の磯俊樹主任研究員、磯田佳徳研究主任に深く感謝致します。また同研究所所員の皆様にも感謝致します。参考文献

[1]山澤ら, 信学論, vol.J79-D-II, no.5, pp.698-707, May 1996  
 [2]勝屋ら, 日本ロボット学会誌, vol.16, no.5, pp.690-697, Jul. 1998  
 [3]畑ら, 信学論, vol.J84-D-II, no.3, pp.448-458, Mar. 2001  
 [4]浜田ら, 信学技報(PRMU2001-80), pp.117-124, Jul. 2001  
 [5]西井ら, 信学論, vol.J80-D-II, no.6, pp.1512-1521, Jun. 1997