

6B-1

隠れを考慮した交差レーザスリットとフォトダイオード列による
三次元位置・姿勢計測

椎谷 聡¹ 石井 郁夫² 高橋 章³ 今井 博英² 牧野 秀夫²

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科 ² 新潟大学自然科学系 ³ 長岡工業高等専門学校

1 はじめに

空間中の物体の位置姿勢計測がコンピュータビジョンの様々な分野で応用されている。高精度な位置姿勢計測には空間中に既知マーカを配置する方法が有効であり、交差レーザスリットスキャナと3個のフォトダイオードマーカを用いた方法が提案されている (Ascension Product 社 : Laser Bird)。しかし、3点のみを用いる場合には誤差の影響を受けやすい、オクルージョン発生時の計測が不可能といった問題がある [1]。そこで、我々は空間中の座標基準として交差レーザスリットスキャナを用い、同一平面上に配置したフォトダイオード列マーカの位置姿勢を P3P 法およびコニック当てはめにより計測する方法を提案した [2]。これにより計測誤差の影響を低減させた高精度な計測が可能となったが、フォトダイオード列の一部が計測できない場合 (オクルージョンの発生) については考慮していなかった。

本報では、交差レーザスリットとフォトダイオード列マーカを用いてオクルージョン発生時でも安定に位置姿勢を計測する方法について述べる。また、P3P 法およびコニック当てはめを用いたシミュレーションにより、オクルージョン発生時の計測精度について評価する。

2 計測システム

2.1 交差レーザスリットスキャナ

交差レーザスリットスキャナは、前報と同様に2組のレーザスキャナで構成した [2]。各スキャナの走査回転軸を X 軸、Y 軸、それらと直交する方向を Z 軸とし、これを基準座標系とする (図1)。フォトダイオード P に向かう2つのスリット面の回転角をそれぞれ θ_X 、 θ_Y とすると、スリット交点に向かうベクトル p が式 (1) で表される。 θ_X 、 θ_Y はレーザスキャナの走査によって決まる制御量であるため既知である。

$$p \parallel (\tan\theta_Y, \tan\theta_X, 1) \quad (1)$$

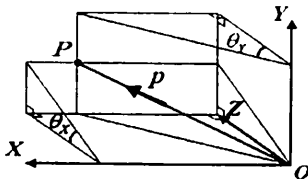


図1 交差レーザスリットスキャナ概略図

2.2 フォトダイオード列マーカ

位置姿勢計測を高精度かつ容易に行うための有効な手段は、空間中に形状が既知のマーカを配置すること

である。マーカの形状やマーカ点数により様々な位置姿勢計測手法が考案されているが [1]、本報ではオクルージョンに対する安定性を向上させるため円周上に多数のフォトダイオードを配置した円形マーカを用いた (図2)。各フォトダイオードは A/D 変換器に接続されており、レーザスリットを走査し、最も照度 (フォトダイオードの出力値) が高い走査角を得ることで、式 (1) よりフォトダイオードへ向かうベクトルを求めることができる。照度変化が微小であったフォトダイオードはオクルージョンによりレーザ光が入射しなかったと判定できる。入射光が得られたフォトダイオードのみを用いてマーカの位置姿勢推定を行う。

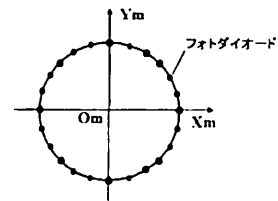


図2 円形マーカ板

3 位置姿勢推定法

3.1 計測の原理

交差レーザスリットスキャナ座標系 O-XYZ を基準座標系としたときのマーカ座標系 $O_m-X_mY_mZ_m$ の位置姿勢を計測する。マーカ面上のフォトダイオード位置は既知である。O からマーカ上の各フォトダイオードへ向かうベクトルを計測し、P3P 法またはコニック当てはめにより、マーカの位置姿勢を計測する。ここで、位置を O_m の XYZ 座標値、姿勢を Z_m 軸ベクトル、 X_m 軸ベクトルで表わす。

3.2 P3P 法による位置姿勢推定

3個のフォトダイオードを頂点とする既知三角形について、頂点に向かうベクトルに P3P 法を用い、 O_m の位置と Z_m 軸ベクトルを推定する。三角形1個では計測時のランダム誤差の影響が大きいため、検出されたダイオードにより多数の既知三角形に対して位置姿勢を求め、平均化によりランダム誤差を低減する。検出されたフォトダイオードから多数の三角形より位置姿勢が得られるが、一辺の長さが短い場合には誤差の影響が大きくなるため一定値以下の辺長を含む三角形を推定対象から除外する。P3P 法では1つの三角形で最大で4つの解が得られるため正しい解の選択が問題となるが、計測時に4個以上のフォトダイオードが検出されればそれらの位置情報により正しい解が選択できる。

3.3 コニックへの当てはめによる位置姿勢推定

円形に配置したフォトダイオード列に向かうベクトルは、平面 $Z=1$ への円の投影像であるコニックへ向かうベクトルでもある。オクルージョンが発生し得られた円の投影像がコニックのごく一部であった場合でも、高精度なコニック当てはめを行う「くりこみ法」が提案されている [3]。当てはめたコニックのパラメータより円の位置姿勢が解析的に求まる [4]。

3.4 Z_m 軸回りの回転姿勢推定

O から検出されたフォトダイオード列へ向かうベクトルと理論上の X_m 軸ベクトルとの誤差を最小にするように X_m 軸を決定する。誤差の最小化には O_m と Z_m 軸の推定値を利用しているため、 X_m 軸ベクトル推定の精度は O_m と Z_m 軸ベクトル推定の精度に依存する。

4 計測精度の評価

4.1 設定

P3P 法およびコニック当てはめの両方式について、オクルージョンの発生による計測精度への影響をシミュレーションにより評価した。

フォトダイオードの数を 24 個 (全て円周上で等間隔に配置) とし、24 点～7 点の隣接ダイオードを検出した場合 (図 3(a), (b), (c)) と、正三角形マーカ (図 3(d)) とを比較する。

用いるパラメータはマーカ円の半径 100mm、O から O_m までの距離 1500mm、マーカ平面の回転角を X 軸周りに 45° 、計測回数 300 回とした。交差スリットベクトルに標準偏差が $e=100\mu rad$ となる正規分布の誤差角を与える。ただし、分布範囲を 2SD までとする。誤差を与える方向は一様乱数で与える。誤差角はスキャナの誤差とフォトダイオードの検出誤差が複合されたもので、実験によって得られた値を参考にした。

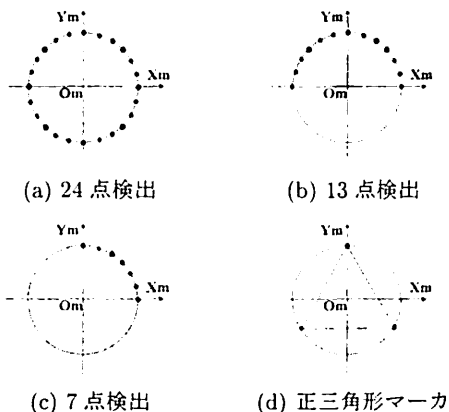


図 3 検出されたフォトダイオードの配置

4.2 シミュレーション結果

検出された隣接フォトダイオード数について、P3P 法とコニック当てはめによる位置姿勢誤差を求めた結果を図 4、図 5 に示す。図 4 の縦軸は真値との誤差距離の標準偏差、図 5 の縦軸は姿勢誤差は真値との誤差角の標準偏差である。正三角形マーカでは位置誤差の

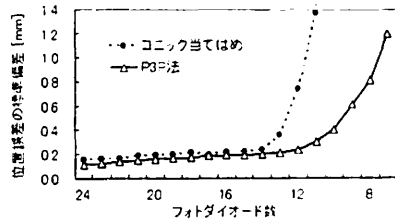


図 4 検出されたフォトダイオード数による位置誤差

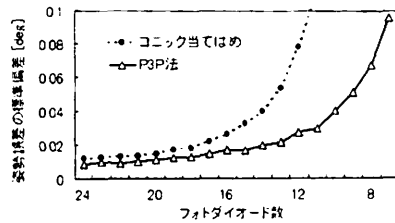


図 5 検出されたフォトダイオード数による姿勢誤差

標準偏差 0.33[mm]、姿勢誤差の標準偏差 0.023[deg] であった。図 4、図 5 より、正三角形マーカと比べ、すべてのダイオードを検出したときには位置誤差、姿勢誤差が約 $1/3$ 程度に軽減された。オクルージョン発生時でも、11 点が検出されていれば P3P 法で正三角形マーカとほぼ同程度の精度が得られた。また、図 4、図 5 のいずれの場合でも、コニック当てはめより P3P 法の方が誤差が少なくなった。

5 まとめ

オクルージョンが生じた場合でも安定した位置姿勢計測を行うために、交差レーザスリットとフォトダイオード列マーカによる位置姿勢計測法を述べた。オクルージョンが生じた場合、コニック当てはめよりも P3P 法の方が誤差が少ないことが明らかになった。コニック当てはめではダイオード列が円周上に配置されていることのみを利用して最適化しているのに対し、P3P 法では個々のフォトダイオードの位置情報を利用して、個々のベクトルが持つ誤差情報が反映され良好な推定結果が得られるためと考えられる。したがって、各フォトダイオードの位置が既知であるという情報をコニック当てはめ手法に付加することでさらなる精度の向上が期待できる。

今後、各フォトダイオードの位置情報をコニック推定に利用した最適化法の検討を進める予定である。

参考文献

- [1] 佐藤清秀, 内山晋二, 田村秀行, "複合現実感における位置合わせ手法" 日本 VR 学会論文誌, Vol.8, No.2, pp.171-180, 2003
- [2] 椎谷聡, 董嘉挺, 石井郁夫, 高橋章, 若月大輔, 今井博英, "交差レーザスリットとフォトダイオード列を用いた三次元位置・姿勢計測", 平 16 信学会信越支部大会, Oct 2004.
- [3] 三島等, 太田直哉, 金谷健一, "信頼性評価を備えた最適なコニック当てはめプログラム", 情処学 CV 研報 98-CV1M-111-4, pp.25-32, 1998
- [4] 劉武, 金谷健一, "コニックの 3 次元解釈とその応用", 情処学 CV 研報, 92-CV-76-14, pp.101-108, 1992