

移動ロボット上の2台の非同期カメラによる3次元位置推定の基礎検討

中部大学 清水 彰一, 藤吉 弘亘

Basic Examination of 3D Position Measurement from Two Unsynchronized Cameras on a Mobile Robot

Shoichi SHIMIZU and Hironobu FUJIYOSHI Dept. of Computer Science, Chubu Univ.

Abstract: We present a method for calculating 3D positions of objects using two unsynchronized cameras (30 fps) mounted on a mobile robot. If robot's motion and orientation are known, a viewing ray of each camera passing through the point of the object on the image is calculated. Then, a curved surface passing through the viewing rays of previous three frames is generated, and the 3D position is calculated as an intersection point between the ray and the curved surface. 3D position of last frame is calculated by linear prediction using previous two frames, and the 3D position is calculated once more using constraint by viewing ray information in 3D space obtained from the last image. Since the 3D position is calculated at every shutter timing of each cameras, the 3D position can be obtained at 60 fps using only two unsynchronized cameras.

1. はじめに

自律移動型ロボットでは、静的なランドマークだけでなく動的な周辺環境をセンシングすることが重要な課題である。本研究では、高速運動する対象物の3次元位置を自律移動型ロボット上の非同期カメラ2台を用いて推定する手法を提案する。

各カメラはロボット上に搭載しているため、フレーム毎にカメラ位置が変動する。各カメラのシャッタータイミングにおけるロボットの移動量と向きが既知であれば、カメラの画像平面上の点を通る3次元空間中の光線を各ロボットの位置で求めることができる。本提案手法では、同一カメラで得られた過去3フレームの光線から3次元空間に曲面を生成し、一方のカメラから得られる光線との交点を3次元位置として求める。さらに、求めた3次元位置から最新フレームの3次元位置を線形予測により推測する。これらの処理を各カメラのシャッタータイミング毎に行うことで、2台のカメラで1秒間に60ポイントの3次元位置を求めることが可能となる。

2. 非同期カメラにおける対象物の3次元位置推定

最新フレームにおける対象物の3次元位置は、前2フレームの3次元位置から線形予測により推測する。以下に、そのアルゴリズムを示す。

2.1. 前2フレームの3次元位置を計算

Fig.1に前2フレームの3次元位置を求める手法を示す。各フレームにおいて対象物の画像座標とロボットの姿勢から3次元空間の光線を求める。光線は、各時刻におけるカメラ*i*の位置 $T_t^i = [T_x, T_y, T_z]^T$ とロボット向きより得られ

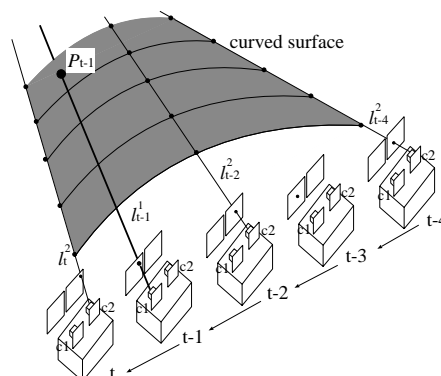


Fig. 1: A curved surface calculated by B-spline in 3D space

るz軸まわりの回転行列 R_t から、次式に示すように直線 l_t^i と表現できる。 k は実数であり、 $r_t^i = [x_c, y_c, f]^T$ は画像平面上の観測点 (u, v) を通る光線の傾きを表すベクトルである。

$$l_t^i = k R_t r_t^i + T_t^i \quad (1)$$

各フレーム $t, t-2, t-4$ における直線 $l_t^2, l_{t-2}^2, l_{t-4}^2$ に実数 k を代入し、各光線上に5点ずつ計15点の3次元位置を求める。求めた15点のデータを入力値とし、B-スプラインを用いて曲面を求める。次に、時刻 $t-1$ のカメラ1からの光線 l_{t-1}^1 と曲面が交わる点を求め、その点を3次元位置とする [1]。同様の処理を時刻 $t-2$ においても行うことで、 $t-1$ と $t-2$ における3次元位置 P_{t-1}, P_{t-2} が求まる。

2.2. 最新フレームの3次元位置推定

本提案手法では、Fig.2に示すように既に計算された前2フレームの3次元位置 P_{t-1} と P_{t-2} を用いて、最新フ

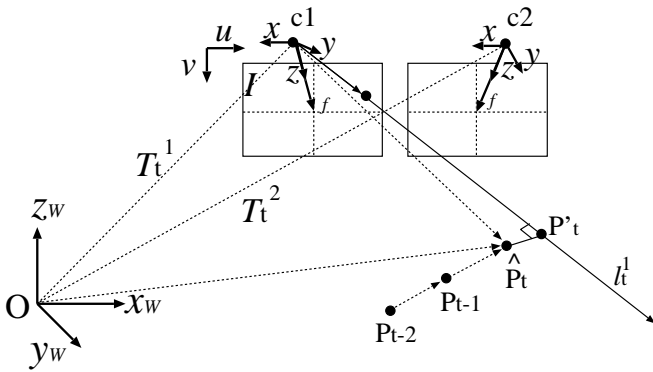


Fig. 2: 3D position estimation on the latest frame

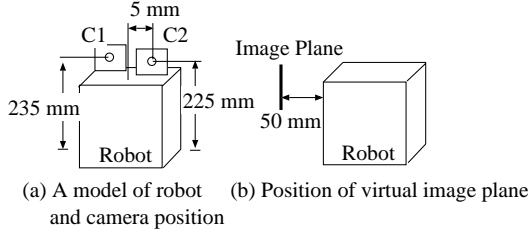


Fig. 3: Robot model in simulation experiments

フレーム t における予測位置 $\hat{P}_t = [x_w, y_w, z_w]^T$ を次式に示す線形予測により求める． δ はカメラ間のタイミング間隔とする．

$$\hat{P}_t = P_{t-1} + \delta v_{t-1}, \quad v_{t-1} = (P_{t-1} - P_{t-2}) / \delta \quad (2)$$

本来、予測位置 \hat{P}_t は、最新フレームにおけるカメラ i の画面上の検出位置を通る光線 l_t^i 上に存在する．線形予測により求められた位置 \hat{P}_t は、予測誤差を含んでいることが考えられる．そこで、予測位置 \hat{P}_t に最も近い光線上の点 P'_t を求める． P'_t は予測位置 \hat{P}_t から r_t^i 方向への正射影ベクトルであり、次式で求めることができる．

$$P'_t = \frac{(\hat{P}_t - T_t^i) \cdot R_t r_t^i}{|R_t r_t^i|^2} R_t r_t^i + T_t^i \quad (3)$$

これらの処理を各カメラのシャッタータイミング毎に求めることで、1秒間に60ポイントの3次元位置を求めることが可能となる．

3. シミュレーション実験

3次元空間中の対象物の運動を復元するシミュレーション実験により、提案手法の評価を行う．

3.1. 対象物の運動復元

対象物とロボットが仮想世界座標空間 ($3,000 \times 2,000 \times 2,000$ mm) を移動していると仮定し、対象物の運動復元を行う．2台のカメラはロボット上部に10 mm ずらして取り付けられており、画像面までの距離を50 mm とする (Fig.3 参照)．高さ方向のカメラ位置の違いは、ロボットと対象物が同一方向に移動した場合、2台のカメラの高さが同じであると、作成する曲面 (この場合は平面) と光線が平行となり、交点が求められないことを防ぐためである．

Fig.4 にロボットと対象物の軌跡を示す．仮想世界座標空間に重力加速度 ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) を持った対象物の放物

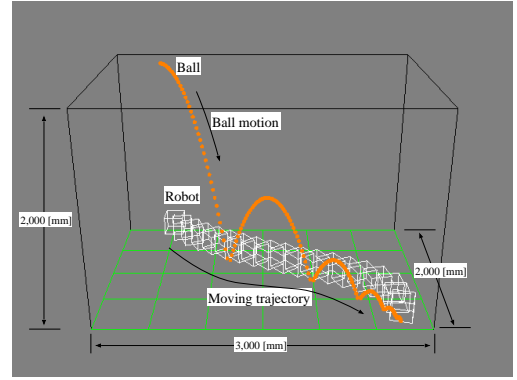


Fig. 4: An object motion and its robot trajectory

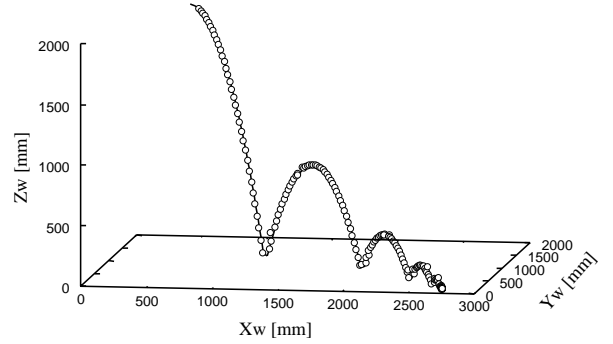


Fig. 5: Recovery results of the object motion
運動に対し、提案手法により3次元位置を推定し、追跡タスクにおけるロボットの軌道である．

3.2. 実験結果

Fig.5 に提案手法により推定した最新フレームの3次元位置の推定結果を示す．また、そのときの3次元位置推定結果と真値との平均誤差を Table.1 に示す．括弧内の値は、対象物体が床に衝突した時に生じる特異点を考慮しない場合の結果である．“ステレオ視 + 線形予測” は、同時刻に取得した両カメラの画像中の点からステレオ視によって3次元位置を求め、1/60秒後の3次元位置を線形予測により推定した結果である．Table.1 より、本提案手法の精度はステレオ視 + 線形予測の結果より約2 mm 程低いが、非同期カメラでも3次元位置の推測が可能であることがわかる．

Table 1: Average of absolute errors in 3D positions [mm]

	本提案手法	ステレオ視 + 線形予測
誤差	6.9 (3.4)	1.6

4. おわりに

本稿では、自律移動型ロボットの非同期カメラ2台を用いて、各カメラのシャッタータイミング毎に3次元位置を推定することで、1秒間に60ポイントの出力を得る手法について提案した．今後は、実際のロボットとカメラを用いた実験を行い評価を行う予定である．

参考文献

- [1] 清水彰一, 藤吉弘巨, “カメラ間のシャッタータイミングのずれを利用した高速3次元位置推定”, Proc. of MIRU2004, vol.1, pp.428-433, July, 2004.