

非同期カメラを用いた高速3次元位置推定のシミュレーション評価

清水 彰一 藤吉 弘巨 (中部大学工学部)

1. まえがき ロボットを迅速かつ正確に制御するには、ビジュアルフィードバックのサイクルを高速に行う必要がある。我々は、2台の非同期カメラ(30fps)を用いて、カメラ間のシャッタータイミングのずれを利用し、対象物の3次元位置を高速(60fps)に推定する手法を提案している[1]。本報告ではシミュレーション実験により評価を行い、提案手法の有効性を示す。

2. 3次元位置推定 対象物の3次元位置を測定するには、通常ステレオ視が用いられている。ステレオ視の際には、複数のカメラ間のシャッタータイミングを同期させ、同時刻の画像群を取得する必要がある。本手法では、2台のカメラ間のシャッタータイミングを1/60秒ずらし、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。これにより、60fpsの周期で3次元位置を得ることが可能となる。

本手法では、図1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(1/60秒)である。

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

本来、予測位置 \hat{P}_t は、画像面上の検出位置を通る光線 l_t 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 から光線 l_t の傾きを表すベクトル r_t 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。

$$P'_t = \frac{(\hat{P}_t - T) \cdot r_t}{|r_t|^2} r_t + T \quad (2)$$

T は世界座標における原点 O からカメラへの平行移動ベクトルである。これらの処理を、最新画像を得たカメラの光線情報を用いて行う。

3. シミュレーション実験 対象物が世界座標空間(3,000×2,000×2,000[mm])を移動していると仮定し、その運動復元を行う。2台のカメラは、高さ3,000[mm]に平行となるように設置してあるとする(図2参照)。このとき、3次元空間内の対象物の運動として、以下に示す3種類の等速・非等速運動を考える。

元空間内の対象物の運動として、以下に示す3種類の等速・非等速運動を考える。

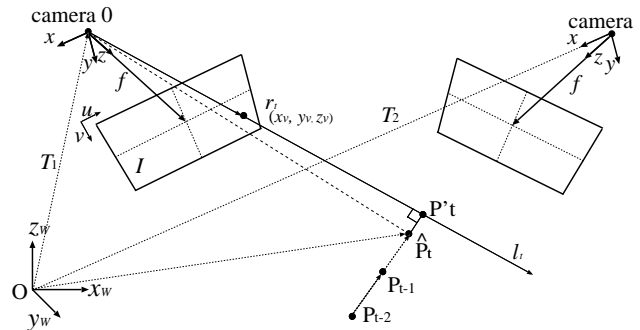


図1: 光線情報を利用した3次元位置推定

- 等速運動(直線): $(x, y, z) = (0, 1, 200, 2,000)$ から $(x, y, z) = (3,000, 1,200, 0)$ に向けて直線上を速度 $3[m/s]$ で移動
- 等速運動(螺旋): $(x, y) = (1,000, 1,000)$ を中心に半径 $620[mm]$ 、角速度 $4.7[rad/s]$ で螺旋上を移動
- 非等速運動: 高さ $2,000[mm]$ の位置からボールを落下させたときの放物運動(重力加速度 $g=9.8[m/s^2]$)

これらの対象物の運動軌跡を、交互に各カメラの仮想画像平面へ投影する。シミュレーション実験では、各カメラの仮想画像面上の点 (u, v) を用いて、3次元位置を2.に述べた手法で推定する。

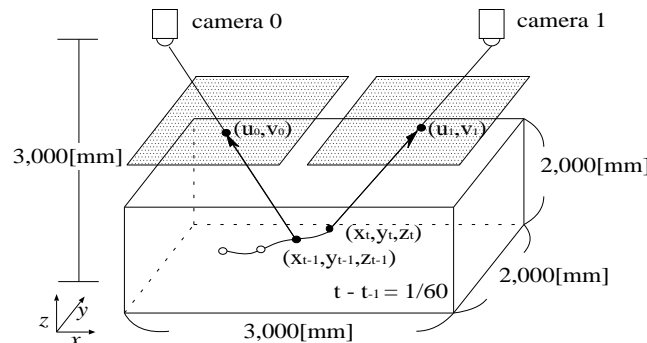


図2: 仮想カメラ配置

4. 実験結果 各時刻における等速・非等速運動の最新位置を推定した。その推定値と真値との平均誤差を表1に示す。表1におけるステレオは、1/60秒ずれた対応点によるステレオ視の結果である。提案手法の誤差はすべての運動に対して $3[mm]$ 以下であり、位置推定精度が良いといえる。非等速運動の復元結果を図3に示す。ボールが床面で跳ねたとき、その位置推定誤差は大きくなっている。これは、3次元位置を線形に予測していることが原因であると考えられる。

5. まとめ 等速・非等速運動の復元を行うシミュレーション実験により、本手法による高速3次元位置推定の有効性を示した。今後の課題として、推定した各点の信頼度を光線と予測位置 \hat{P}_t から求めることが挙げられる。

表1: 平均誤差 [mm]

方法	等速運動		非等速運動
	直線	螺旋	
ステレオ	23.2	21.4	16.2
本手法	1.1	2.2	1.8

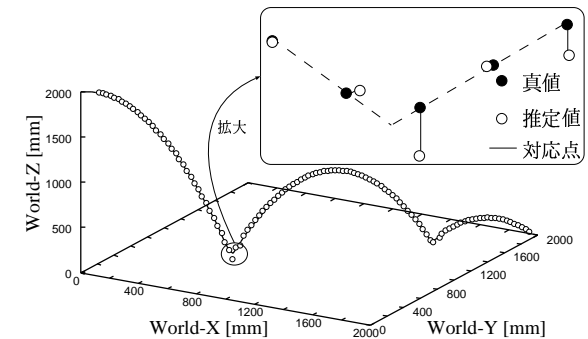


図3: 非等速運動の復元

参考文献

- [1] H. Fujiyoshi and *et al.*: Fast 3D Position Measurement with Two Unsynchronized Cameras, IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotic and Automation(CIRA'03), Kobe, Japan, 2003.