

1. はじめに

ロボットを迅速にかつ正確に制御するためには、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。その際には、最新時刻(フレーム)におけるロボット等の対象とする物体の 3 次元位置をより正確に検出する必要がある。本研究では、3 台のカメラのシャッタータイミングのずれを利用した 3 次元位置の推定法について提案し、その有効性を示す。

2. シャッタータイミングのずれを利用した位置推定

対象物の 3 次元位置推定には、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、3 台のカメラ間のシャッタータイミングを 1/90 秒ずつずらし、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、90fps 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。 $\delta$  はカメラ間のタイミング間隔(1/90 秒)であり、 $\delta_{23}$  はカメラ 2 から 3 までの時間間隔、 $\delta_{31}$  はカメラ 3 から 1 までの時間間隔である。

$$\hat{P}_t = P_{t-1} + \frac{\delta_{23}(P_{t-1} - P_{t-2})}{\delta_{31}} \quad (1)$$

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。

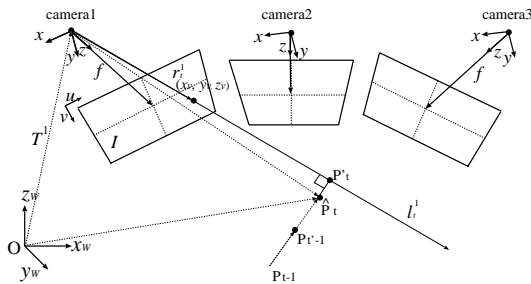


図 1: 光線情報を利用した 3 次元位置推定

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。3 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。

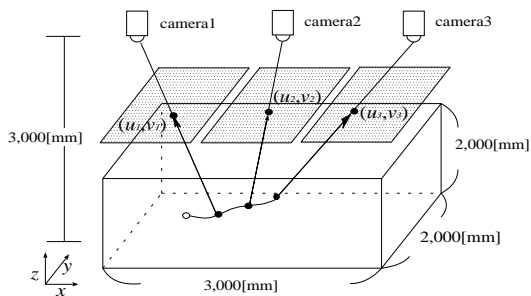


図 2: 仮想カメラ配置

- 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  $g=9.8 \text{ m/s}^2$ )

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 次元位置を提案手法により推定する。

シミュレーション結果 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、1/90 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。図 3 に非等速運動の復元結果と各フレームにおける推定した 3 次元位置の信頼度を示す。信頼度は、線形予測での 3 次元位置光線上の点  $P_t$  から光線上の点  $P'_t$  へ修正した際のユークリッド距離とする。図 3 より、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。このとき、信頼度も低くなるのが分かる。これにより、最新フレームでの 3 次元位置とその信頼度によるロボット制御が可能となる。

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	25.6	19.5	10.2
本手法	1.1	2.0	1.7

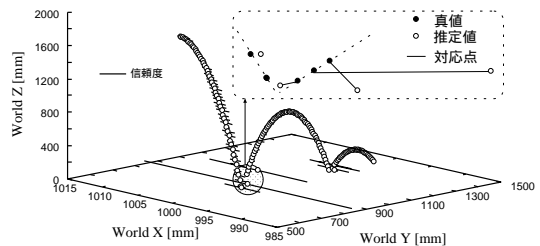


図 3: 非等速運動の復元

4. 運動復元実験

本手法を、1 台の PC と 3 台のカメラに実装し、運動復元の実験を行った。図 4 に、実際にボールを投げたときの 1.5 秒間の復元結果を示す。本システムは、1.5 秒間に 135 ポイントのボールの 3 次元位置を出力し、90 fps のカメラを用いた場合と同等の出力を得ることがわかる。

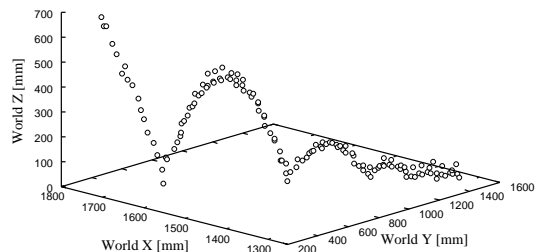


図 4: 復元結果

5. まとめ

本手法では、3 台のカメラ間のシャッタータイミングを 1/90 秒ずつずらし、各カメラのタイミング毎に 3 次元位置を求めることにより、90 fps で 3 次元位置の取得が可能となる。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。今後は、信頼度を用いた 3 次元位置の修正について取り組む予定である。また、本手法は特許出願した。