

ステレオカメラを用いたロボット教示法の開発

山本光男^{*1}、室田修男^{*2}

Development of Robot Teaching Method Using Stereo-Camera

Mitsuo YAMAMOTO^{*1} and Nobuo MUROTA^{*2}

Industrial Technology Division, AITEC^{*1*2}

安価な Web カメラを用いてステレオカメラを構成し、リハビリロボットの軌跡教示に利用することを検討した。構成したステレオカメラの位置検出誤差は 3mm 程度、角度検出誤差は最大 4.6°であった。このステレオカメラを用いて、肘関節のリハビリ動作をロボットで行わせることを目的に、腕の 1 軸モデルを用いてロボット教示を行った。使用したロボットの機能不足のため正確な再現はできなかったが、再現可能であることが推定された。

1. はじめに

産業用ロボットを利用する上で大きな負荷となるのが動作教示である。CAD データを利用することにより動作教示の作業量はかなり減ったが、微調整が必要であり、依然として大きな負荷となっている。ここでは安価な Web カメラを利用してステレオカメラを構成し、ロボットの軌跡教示への利用を検討した。Web カメラは、解像度が悪く、位置測定精度も低いことから、ここでは、リハビリロボットへの利用を検討した。具体的には、肘の曲げ伸ばしを想定した簡易なモデルの動きをステレオカメラで検出し、ロボットに再現させることを試みた。

2. 装置の構成

図 1 に、今回用いたステレオカメラを示す。Web カメラは 130 万画素、フレームレート 30fps、固定フォーカスの市販品である。カメラ間距離は 300mm とした。このカメラは取り込み画素数を選択することができるが、USB(Universal Serial Bus)を用いているため、取り込み画素数が多くなるとフレームレートが小さくなる。画像取り込み時間は、2 台の場合、240×320 画素で最大 100ms、480×640 では 600ms であった。



図 1 ステレオカメラ

3. 検出精度

3.1 位置

カメラキャリブレーションを Zhang¹⁾の方法を用いて行った後、位置測定精度を調べた。カメラキャリブレーションなどの画像処理には Intel 社による OpenCV を利用した。図 2 に、位置検出精度の測定方法を示す。上下に 100mm 離れたマーカに対し、500mm 離れた位置

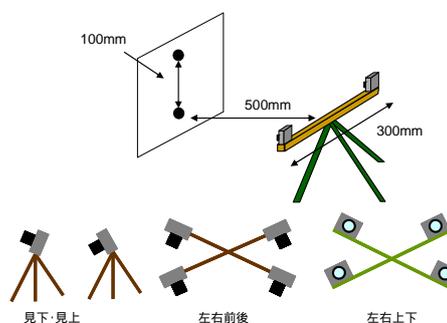


図 2 測定精度評価用マーカとカメラの向き

にステレオカメラを水平に置き、マーカの距離を測定した。さらに、ステレオカメラを上下、左右、前後に傾け測定した。表 1 に各測定結果を示す。240×320 画素の測定では最大 2.7mm、平均 2.0mm の誤差が生じた。垂直方向の視野が約 450mm であることから、240×320 画素では距離分解能は約 1.9mm/画素となり、2mm 程度

表 1 測定結果

画素数	(単位 mm)					平均		
	正面	左右上下	左右前後	見下・見上	平均			
240×320	98.8	98.0	98.3	97.5	98.1	97.3	97.8	98.0
480×640	98.6	98.5	98.6	98.4	98.4	97.8	97.8	98.3

*1 工業技術部 機械電子室 (現基盤技術部) *2 工業技術部 機械電子室 (現企画連携部)

の位置測定誤差は妥当な精度であると考えられる。480 × 640 画素の測定では、距離分解能が倍になることから誤差も半分になると予想されたが、実際は平均誤差が 1.7mm となり、240 × 320 画素に対し 0.3mm の改善にとどまった。今回使用したカメラは、レンズ径が小さく固定焦点であることから鮮明な画像を得ることが難しく、これが画素数が増えても測定精度があまり改善しない理由ではないかと思われる。以後の検討は、取り込み時間の短い 240 × 320 画素で行った。

3.2 ねじりおよび曲げ

空間上の 3 点の位置が分かれば、3 点を含む面を決定できる。したがって、**図 3** に示すマーカのように平面上に描画した半径の異なる 3 個の円の中心位置を求めることにより、その面の傾きが計算できる。そこで、肘関節のリハビリ動作を追跡することを前提に、**図 4** に示す腕モデルのねじりと曲げについて測定した。測定結果の評

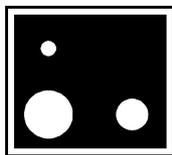


図 3 マーカ

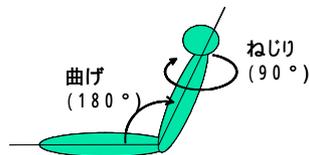


図 4 肘関節の動き

価は、6 軸ロボットのハンドにマーカを取り付け、ロボットの角度設定値とステレオカメラの測定値を比較することにより行った。その結果、曲げ方向で最大 4.6°、ねじり方向は 1.3° の誤差が生じた。ねじりでは大きくねじるとマーカが見えなくなることから測定範囲を 90° としたのに対し、曲げでは 360° の範囲でマーカが見えることから測定範囲を 180° と広くしたことや、マーカをカメラに対し直角に取り付けることが難しいことが、両者の誤差に差が出た原因と思われる。

4 . ロボットによる再現実験

図 5 に示すように、300mm × 50mm の平板を腕の 1 軸モデルと見なし、マーカを取り付けた。平板の片端を支点（肘に相当）として、他端を人の手で回転させることにより、肘の曲げ伸ばしのリハビリ動作を模擬した。

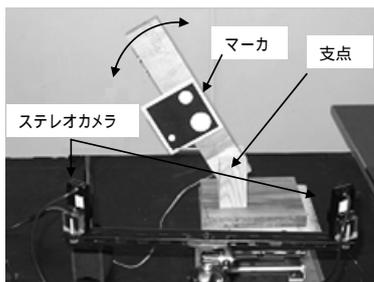


図 5 腕の 1 軸モデル

この動きをステレオカメラで検出してマーカの軌跡を求め、その軌跡と同じ動きをロボットに行わせることを試みた。測定には支点の回転軸に取り付けたロータリーポテンシオメータを用いた。動作角度範囲はロボットの稼働領域が小さいことから約 60° とした。また、ロボットは位置制御だけでなく、ハンドの向きが腕に対して常に直角になるように制御した。

図 6 は、腕モデルの回転角の動きを示したものであり、横軸は時間、縦軸はポテンシオメータの出力を電圧値として表示した。どちらの波形も 2 つの山を持ち、動きとしては同じであることが分かる。しかし、ロボットによる再現では、波形の時間軸が拡大し、少しづつ上にシフトしている。時間軸の拡大は、使用したロボットに目標位置に到達したことを判断する機能がないため、連続的な動作が行えず、時間的に等間隔で小刻みに移動、停止を繰り返したことが原因である。波形のシフトについては、移動先の位置指定を空間座標ではなく、現在位置に逐次変位量を加算することにより位置を変化させたため、誤差が蓄積したと思われる。

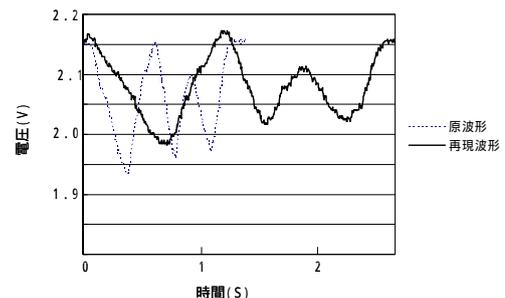


図 6 腕モデルの動き

5 . 結び

安価な Web カメラを用いてステレオカメラを構成し、肘の曲げ伸ばし動作を検出し、得られた軌跡データからリハビリ動作をロボットにより再現させることについて検討した。位置検出誤差が 3mm 程度あり、リハビリに適用できるかは今後検討する必要がある。また、画像処理時間は、約 150ms / フレームであり、比較的ゆっくりとしたリハビリ動作には適用できると思われる。ロボットによる再現では、使用したロボットが制御機能不足であったため正確な再現はできなかったが、ロボットの機能に問題がなければ再現は可能であると考えられる。

文献

- 1) Zhengyou Zhang: Microsoft Research Technical Report (1999)