

身体動作のパターンと変化量に基づいた直感的ロボット制御システム

廣瀬勇也[†] 加藤昇平[†]

[†]名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻

1 はじめに

近年、ヒューマノイドロボットの制御手法について様々な研究が行われており、その中でも、モーションキャプチャを利用した制御手法 [1] が着目されている。モーションキャプチャを用いた制御手法は、人の動きをセンシングし、ダイレクトにロボットを制御する。身体動作によるダイレクト制御は操作の自由度が高く、ユーザの動きとロボットの動きが結びついており、直感的な操作が可能である。しかし、その自由度の高さゆえに冗長な動作を引き起こす可能性がある。例えば、ある動作を行う場合における人間の手先の微細な揺れにも反応してしまう。

本稿では、ダイレクト制御に身体動作のパターン認識を組み込むことで、冗長な動作を防ぎつつ操作の直感性を維持したロボット制御システムを提案する。そして、ユーザビリティ評価実験を行い、提案システムの有効性を検証する。

2 動作認識・制御システム

図1に動作認識・制御システムの概要を示す。提案システムは、学習部・認識部、制御部に分けられる。本研究では、ユーザの動きをセンシングのために、6軸センサを内蔵したWiiリモコンを使用する。Wiiリモコンは、ゲームコントローラとして一般に広く普及しており、近年ロボット制御にも応用されている [2]。提案システムでは、Wiiリモコンにより取得したユーザの手先の加速度、角速度を使用し、隠れマルコフモデル(HMM)を用いて腕の運動を認識する。認識対象の動作はそれぞれ対応する動作モデルを持っており、学習部で動作モデルを作成し、認識部ではその動作モデルをもとに認識を行う。さらに制御部では、ユーザの身体動作に伴い変化した角速度センサの情報から認識結果に対応したロボットの関節角度の変化量を算出し、ユーザの運動認識結果をもとにロボットを作動させる。

2.1 学習部

学習部では、認識すべき N パターンの動作それぞれについて動作モデルを構築する。あるユーザの身体動作 u の動作モデル M^u は、動作 u 時の X, Y, Z 軸についての加速度の観測系列 O_X^u, O_Y^u, O_Z^u をそれぞれ Baum-Welch アルゴリズムを用いて学習させた隠れマルコフモデル $\lambda_X^u, \lambda_Y^u, \lambda_Z^u$ と、動作 u を行う際に角度を変化させる必要のあるロボットの関節の集合 J^u から構成される。 J^u はヒューリスティックにより決定する。

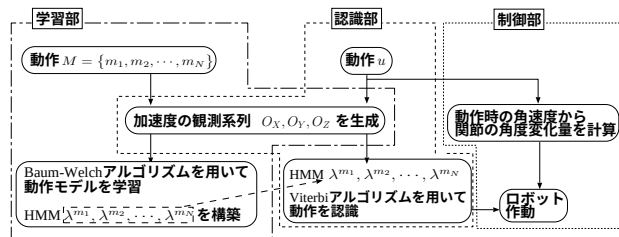


図1: 動作認識・制御システム

表1: 認識アルゴリズム

- 動作 u の観測系列 O_X^u, O_Y^u, O_Z^u を生成。
- 閾値 Th を設定し、以下の3条件をすべて満たす動作 m_i を選択。選択された動作 m_i の集合を M' とする。

$$N(O_X^u | \lambda_X^{m_i}) > Th$$

$$N(O_Y^u | \lambda_Y^{m_i}) > Th$$

$$N(O_Z^u | \lambda_Z^{m_i}) > Th$$
- 集合 M' のうち以下の式により選択される動作 m_j を認識結果とする。

$$\arg \max_{m_j \in M'} \frac{1}{3} (N(O_X^u | \lambda_X^{m_j}) + N(O_Y^u | \lambda_Y^{m_j}) + N(O_Z^u | \lambda_Z^{m_j}))$$

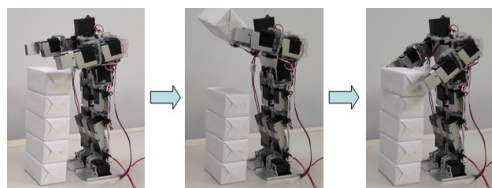


図2: 荷物持ち上げタスク

例えば、腕を下げる動作 $down$ の場合 $J^{down} = \{ \text{肩関節} \}$ 、腕を前に押し出す動作 $push$ の場合 $J^{push} = \{ \text{肘関節}, \text{肩関節} \}$ などである。

2.2 認識部

認識部では、ユーザの身体動作 u が学習済み動作のいずれかであるか、もしくは未学習動作であるのかを認識する。いま、動作 u の X 軸についての加速度の観測系列 $O_X^u = o_{X1}^u, o_{X2}^u, \dots, o_{XT}^u$ が得られたとする。ここで、 o_{Xt}^u は動作 u を開始してから t 番目に測定される絶対座標系での X 軸の加速度 A_X^B を量子化した値、 T は動作開始から終了までに測定された A_X^B の総数を示す。上述の値より、Viterbi アルゴリズムを用いて、尤度 $P(O_X^u | \lambda_X^{m_i})$ を算出する。このとき算出される尤度の尺度は、動作モデル間で異なるため、動作モデルごとに尤度の正規化を行い、動作モデル間で比較可能な正規化尤度 $N(O_X^u | \lambda_X^{m_i})$ にする。 $N(O_Y^u | \lambda_Y^{m_i})$, $N(O_Z^u | \lambda_Z^{m_i})$ についても同様に計算する。認識はこの正規化尤度を用いて、表1に示すアルゴリズムで行う。

2.3 制御部

制御部では、ユーザの身体動作 u の角速度から、認識結果に対応したロボットの関節角度の変化量を算出する。そして、認識部での動作 u の認識結果およびロボットの関節角度の変化量をもとにロボットを作動させる。

3 ユーザビリティ評価実験

提案システム (S) を用いたロボット制御の有効性を検証するため、ユーザビリティ評価実験を行った。比較対象としては、身体動作による入力の影響を検証するため、joystick をインターフェースに用いた制御システム (S_j)、ダイレクト制御に認識を組み込む効果を検証するため、kinect をインターフェースに用いた制御システム (S_k) を選択した。また、提案システムの関節角度のリアルタイム調整による効果を検証するため、提案システムから関節角度のリアルタイム調整を除いたシステム (S_r) も比較対象として用意した。比較対象である S_j , S_k では、ロボットはインターフェースから受け取った3次元の座標情報 (以下「目標座標」と呼ぶ) に、手先の動きを対応させる運動をリアルタイムに行う。ロボットの腕の各関節角度は目標座標から

*Intuitive humanoid robot operating system based on pattern and variation of human body motion, Yuya HIROSE[†] and Shohei KATO[†]

[†]Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan
{hirosey, shohey}@katolab.nitech.ac.jp

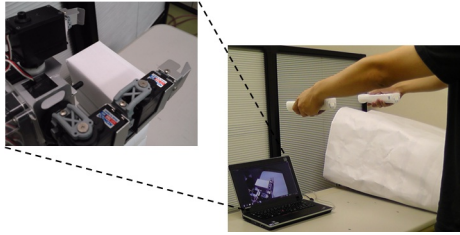


図 3: 実験の様子

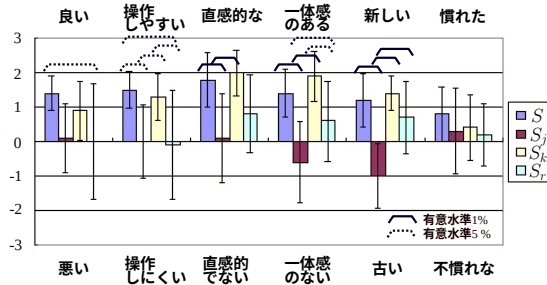


図 4: 制御システムの評価

逆運動学を用いて計算する。 S_j は、joystick を倒した方向と量を目標座標の変化量とした。joystick のみでは 3 次元の座標を指定するのは困難であるため、側面に設置された二つのボタンも使用する。joystick を pitch 方向に傾けると目標座標を上下方向、roll 方向に傾けると左右方向、ボタンにより手前と奥に変化させる仕様とした。また、 S_k は、センサにより取得したユーザの手先位置の 3 次元座標を目標座標とした。

3.1 タスク遂行実験

提案手法の操作性を検証するために、図 2 に示すタスク遂行実験を行った。実験は、遠隔地でのロボット制御を想定し行った。ロボットは被験者から直接見ることができない場所に設置する。被験者は、web カメラを通してモニターに映し出されるロボットの様子を見ながらロボットを制御し、タスクを行う。タスクの成功条件は、「ロボットの前に設置された箱を持ち上げ、元の位置に下ろす」とこととした。失敗した場合、箱およびロボットを初期状態に戻し、成功するまで繰り返し行う。本実験では、大きさの異なる箱 A(55×90×46 [mm])、B(55×102×46 [mm]) を用意し、それぞれについて同様のタスクを行う。実験には、近藤科学社製 KHR-2HV 実機を使用した。

被験者は大学生男女 20 名。ロボットの操作に使用する制御システム、および対象物の箱 A、B の順番は被験者毎にランダムな順序とし、各被験者は 1 回ずつタスクを行った。実験の様子を図 3 に示す。全ての被験者における、それぞれの制御システム使用時のタスク成功までの平均失敗回数および平均時間を算出した。表 2 に実験結果を示す。

表 2 より、提案システムは大きさの異なる A、B どちらの箱を用いた場合でもタスクを成功させることが可能であり、 S_r に比べ高い汎用性が確認された。また、 S_j に比べ短時間でタスクを成功させられることが分かる。これは、ユーザの動きとロボットの動作が関連付けられていることにより、直感的な操作ができたためと考えられる。さらに、 S_k と比較すると失敗回数が少ないことが分かる。これは、 S_k は kinect によりユーザの運動が直接ロボットへ転送されるため、箱を持つ際、手先の微細な動きまでが動作に反映してしまい荷物を落としてしまったのに対し、提案システムはあらかじめ学習した動作の中から、身体動作による入力を認識し動作を選択するため、タスクを行う上での冗長な動作を防止することができたためであると考えられる。以上より、本研究で開発したシステムを用いることで、他の 3 つの制御システムに比べ高い汎用性を持ち、タスクを速く、正確に成功させられることが分か

表 2: 実験結果

	箱 A(55×90×46) [mm]		箱 B(55×102×46) [mm]	
	平均失敗回数	平均時間 (s)	平均失敗回数	平均時間 (s)
S	0.9	39.98	0.8	33.19
S_j	3.2	119.82	3.8	134.74
S_k	1.6	43.18	2.5	61.75
S_r	0.9	37.43	1.5	70.32

る。このことから、提案システムはユーザの意図した動作を適切にロボットに行わせることが可能であることを確認した。

3.2 印象評価実験

タスク遂行実験終了後にロボットを操作した制御システムについて印象評価を行った。印象評価には SD 法を用いて、6 種類の形容詞対に対する 7 段階評価で行った。図 4 に評価結果を示す。Tukey 検定の結果、有意水準 5% で有意差が確認された項目について項目ごとに棒グラフ上部の破線の括弧、有意水準 1% で有意差が確認された項目については実線の括弧で示す。図 4 より、 S 、 S_k は、他の二つの制御システムと比べてポジティブな評価を得ていることがわかる。また、「直感的な」「一体感のある」の項目に着目すると、 S 、 S_k は S_j と比べて有意にポジティブな評価を得ていることが確認できる。これらの結果から、提案手法および S_k は身体動作とロボットの運動がうまく対応し、ユーザの身体動作と同じようにロボットが動くことで、直感的な操作を行えたと考えられる。さらに、「良い」の項目に着目すると、 S は S_r と比べて、有意にポジティブな評価を得ていることが確認できる。このことから、提案手法は動作認識だけでなく関節角度リアルタイム制御をすることにより、ロボット制御に適した制御システムになっていることが確認できる。

4 おわりに

本稿では、ヒューマノイドロボットの制御システムとして、身体動作のパターンと変化量に基づいた直感的ロボット制御システムを提案した。提案システムでは、ユーザの動作を隠れマルコフモデルを用いて認識・識別し、動作時の関節角度の変化量をロボット制御に反映することにより、ロボットの直感的な操作とユーザの意図を適切に表現するロボット制御を実現した。

タスク遂行実験によって、提案手法が従来手法に対して高いタスク達成能力（平均失敗回数、およびタスク成功までの平均時間）を持つことを確認した。また、印象評価実験により、提案手法は直感的な操作が可能であり、ロボット制御に適した制御システムであることを確認した。

本稿で提案した制御システムはロボットからユーザへのロボットの状態情報のフィードバックを行っていない。例えば、ロボットに圧力センサ等を搭載しフィードバック機能を実装することで、操作性がより向上することが期待される。今後は、箱の上げ下ろし以外にも様々なタスクを対象とした追加実験や、提案システムを用いた遠隔地間におけるロボットを用いたコミュニケーション実験などを行い、提案システムの実用性を検証したい。

謝辞

本研究は、一部、文部科学省科学研究費補助金（課題番号 20700199）の助成により行われた。

参考文献

- [1] Nakaoka, S., Nakazawa, A. and Yokoi, K.: Generating whole body motions for a biped humanoid robot from captured human dances, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 3, pp. 3905–3910 (2003).
- [2] Smith, C. and Christensen, H. I.: Wiimote Robot Control Using Human Motion Models, *The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 5509–5515 (2009).