

人間の動態観測に基づく多指ハンドロボットによる手渡し動作生成

Handover Motion based on Observation of Human Motion

2041013



研究代表者

神戸大学大学院

准教授

小林 太

[研究の目的]

人間と協調して共同作業するロボットにおいて、人に危害を加えないことは当然である。また、人間の作業を妨げることも避けなければならない。特に、「ロボットが人間の作業を補助する間接的な作業」では、人間が主体となり作業を実施するため、ロボットが補助することにより人間の作業効率が下がることはあってはならない。本研究は、ロボットと人間との共同作業において、人間の動きや姿勢（動態）を観測し、ロボットから支援対象者に道具などを手渡しする動作を生成するシステムを構築することを目的とする。人間とロボットとの共同作業の形態として、「ロボットが人間の作業を補助する間接的な作業」を挙げることができる。本研究で取り上げる手渡し動作は、ロボットから人に作業に必要な道具などを手渡す作業であり、ロボットが人間の作業を補助する上で欠かすことのできない動作である。手渡し動作において、人間の動態を観察することにより、人間がロボットの動作に影響されることなく、作業を円滑に遂行することが可能となる。

[研究の内容, 成果]

上記目的を達成するため、本研究計画では、

① 支援対象者のリアルタイム動態認識

② ハンド/アームロボットリアルタイム動作計画

の、2つの研究項目を実施した。以下に、それぞれの研究内容、成果を述べる。

1. 距離画像センサ Kinect による動態計測

「ロボットが人の作業を補助する関節的な作業」では、人間の動作に合わせてロボット自身の動作を計画することが重要であることから、支援対象者の動作を逐次認識する必要がある。これまでの研究では、人間や物体の3次元点群情報を祝可能な距離画像センサを用い、人間の骨格追跡から図1に示す手の3次元点群情報を取得した。次に、この3次元点群情報から手の位置・姿勢を推定し、手の位置・姿勢から手渡し動作のための軌道生成を行った。本研究計画では、手の位置・姿勢を推定した手法を拡張し、人間の全身を複数台の距離画像センサ Kinect (図1) によりリアルタイムで計測する。

距離画像センサ Kinect は、人間に専用の機器を装着することなく、人間の動きを高精度に認識可能なセンサとして、多くの分野から注目されている。距離画像センサ Kinect に搭載さ



図1 距離画像センサ Kinect



図2 画像距離センサ Kinect により取得した RGB 画像と距離画像

れている距離情報取得センサは PrimeSense 社によって開発され、赤外線プロジェクターと赤外線センサの組み合わせで動作している。このセンサは、赤外線プロジェクターで特徴的なパターン (Light Coding) を照射し、その反射光の歪みから 3 画測定の方式で距離を導出する。距離画像センサ Kinect により計測した距離画像を図 2 に示す。

距離画像センサ Kinect の照射パターンの各点は一意に識別できるようになっており、複数の距離画像センサ Kinect を同時に使用することが可能である。そこで、2 台の距離画像センサ Kinect を隣同士水平に並べて、2 視点分の距離情報を計測する。距離画像センサ Kinect の取得する 1 視点分の距離画像は 80x60 ピクセルであり、2 台の距離画像センサ Kinect を使用することにより、9600 ピクセルの距離情報を獲得することができる。

2. 深層ネットワークによる動態認識

距離画像センサ Kinect により取得した距離情報を基に、人間の動態認識を行う。ここで、人間の動態を認識するため、人間が日常的に行う姿勢を識別し、動的な姿勢変化を追跡する。本研究で識別する姿勢として、下記の 4 つの姿勢とした。

- ・直立姿勢
- ・しゃがみ姿勢
- ・中腰姿勢
- ・手を広げる姿勢

これらの動作は、人間が日常的に行う動作であ



(a) 直立姿勢

(b) しゃがみ姿勢



(c) 中腰姿勢

(d) 手を広げる姿勢

図3 各姿勢の距離画像

り、中腰姿勢は直立姿勢としゃがみ姿勢の中間的な姿勢である。それぞれの姿勢の距離画像を図 3 に示す。

これらの姿勢を識別する手法として、深層ネットワークを利用する。深層ネットワークは、識別問題に用いられる代表的な手法である階層型ニューラルネットワークであり、通常 3 層である階層型ニューラルネットワークの階層を十分に多くしたニューラルネットワークである。

十分に多くの層を持つニューラルネットワークは学習により識別を行うことが可能となるが、その学習法は深層学習 (Deep Learning) として知られている。これまでの識別問題では、特徴はあらかじめ決められ、その特徴に基づいて識別が行われており、その特徴が不適正な場合、識別ができないこともあった。深層学習は、表現学習とも呼ばれ、ビッグデータのような生データから、その内容を表現する特徴を学習することが可能であり、識別性能が向上する。深層学習においては、階層型ニューラルネットワークと同様、いくつかの方法が提案されているが、ここでは Restricted Boltzmann Machine を用いて、各層間の事前学習を行い、逆誤差伝播法により全体のネットワークの学習を行う。

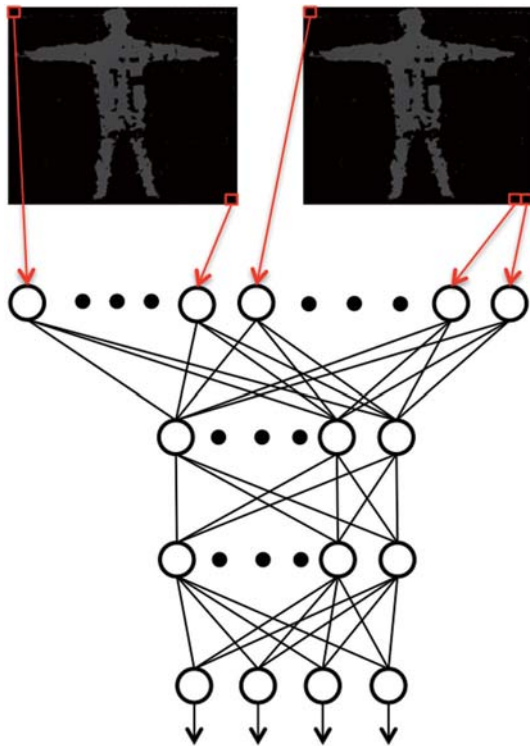


図4 深層ネットワークによる姿勢識別

深層ネットワークによる姿勢識別の概念図を図4に示す。先に述べたように、2台の距離画像センサ Kinect を使用することから、深層ネットワークの入力は、2視点分の9600ピクセルの距離情報となる。深層学習にはあらかじめ取得していた280セットの姿勢距離情報を用い、深層ネットワークの構造を獲得した。ここで、深層ネットワークは4層構造とし、第2層のニューロン数を変えて、比較実験を行った。また、3層構造のニューラルネットワークとの比較も行った。表1に学習に用いた姿勢距離情報とは異なる100セットの姿勢距離情報を用いて姿勢を識別したエラー率を示す。この結果より、ニューロン数を多くした構造(9600, 1000, 1000, 4)を持つ深層ネットワークが姿勢をよく識別できることを示している。

表1 姿勢識別におけるエラー率

Network Structure	Error Rate
(9600, 100, 1000, 4)	27.0%
(9600, 1000, 1000, 4)	21.0%
(9600, 100, 4)	37.0%

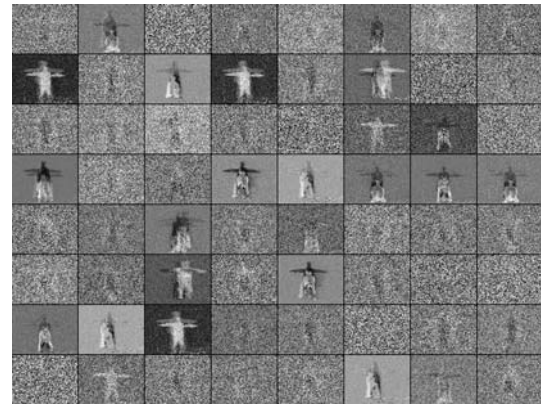


図5 入力層と中間層の重み

深層ネットワークの学習において、層間の重みがどのような反応を示しているか、可視化を行った。図5に入力層と中間層の重みを可視化した結果を示す。この結果を見てみると、人間の形をとった重みが得られていることが分かる。これより、距離情報から姿勢識別を行うための特徴が学習により獲得され、高精度な識別が可能となることが分かる。

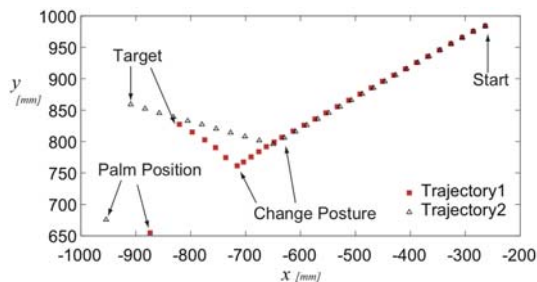
3. ハンド/アームロボットリアルタイム動作計画

深層ネットワークによる姿勢識別により、人間の動態認識における姿勢の推移がある程度推定することができた。この姿勢の推移を基に、人間の手の位置や姿勢を推定し、人間の手の位置や姿勢に基づいた手渡し動作のためのリアルタイム計画を行う。ここで、人間は手がある程度伸ばした姿勢で手の位置や姿勢を変化させ、それに合わせたハンド/アームロボットの動作生成を行う。

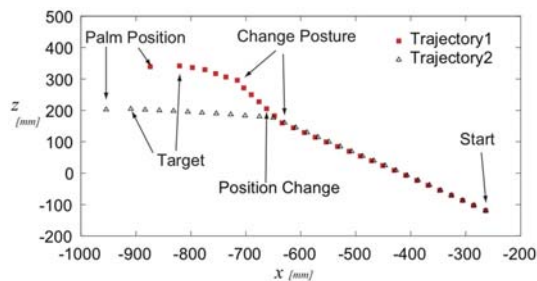
図6にハンド/アームロボットによる手渡しの様子を示す。ハンド/アームロボットは、動態認識に基づき動作計画を行い、人間の手の位置や姿勢に合わせて、手渡しを行っていることが分かる。また、図7にハンド/アームロボットが手渡し動作を行った際のロボットハンドの軌跡を示す。手渡し動作中に人間の手の位置や姿勢が変化しても、リアルタイムで動作計画を実施していることが分かる。



図6 ハンド/アームロボットによる手渡し動作



(a) yx 座標



(b) zx 座標

図7 手渡し動作におけるロボットハンドの軌跡

これらの結果より、人間の動態計測を行うことで、ハンド/アームロボットが人間の動態に合わせ、手渡し動作が可能となった。

[今後の研究の方向、課題]

ロボットから人間への手渡し動作において、人間の手の動態に合わせた手渡し動作の生成が可能となったが、ハンド/アームロボットは床に固定されており、実際の人間の作業を想定した場合、作業において人間は動き回ることが多いと予想され、手渡し動作が十分に行えないことが分かった。

人間の動きに合わせた手渡し動作の実現のためには、移動ロボットによる手渡し動作が必要になる。今後は、環境に設置された距離計測デバイスとロボットに搭載された距離計測デバイスを用いることにより、人間の動態計測を行う。

[成果の発表、論文等]

1. Kouki Okamoto, Futoshi Kobayashi, and Fumio Kojima: Robot-Human Handover for Home-living-assistance Robot, Proc. of International Conference on Functional Materials and Applications, 2014
2. Futoshi Kobayashi, Kouki Okamoto, and Fumio Kojima: Robot-Human Handover Based on Position and Posture of Human Hand, Proc. of Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 918-921, 2014