

遠隔操縦ヒューマノイドにおける視覚と力覚を用いた対人行動

○岡田 慧 小倉 崇 稲葉 雅幸 (東京大学)

*Kei Okada, Takashi Ogura, Masayuki Inaba (University of Tokyo)

Abstract— This paper describes tele-operation system for humanoid robot with sensor based autonomous behavior. We described system design for concurrent execution of several sensor-based behaviors. Vision based and force based autonomous behaviors are shown as an example of human awareness motion control. One is vision based floor recognition for avoiding obstacles and the other is force based online walking guidance.

Key Words: Tele-operation, Humanoid Robot, Sensor-based Behavior

1. はじめに

人間存在環境で行動するロボットにとり、人間や環境の存在に気づいて行動を変化させる、あるいは、人間がロボットに働きかけて行動を変化させるといった、人間や環境との関わりに基づく行動は、基本的かつ重要な機能の一つである。

筆者らはジョイスティックなどの入力装置から移動行動を操作するヒューマノイドロボットの遠隔操縦システムにおいて、センサ情報に基づき人間や障害物の存在を検知し行動を誘導していく機能を段階的に追加できるような発展的かつ包括的な対人行動を実現している。

本論文では様々なセンサ情報や状況判断に基づき誘導される対人行動において、それぞれの機能レベルを同一のプラットフォーム上で同時に稼働させるためのシステムデザインを述べ、人間や環境の存在に気づいて行動を変化させる例として、視覚により歩行可能状態の判断を行い人間の遠隔操作指令をキャンセルし自律的に人間や障害物を回避する行動と、人間がロボットに働きかけて行動を変化させる例として人間がロボットの手をとって移動行動を誘導する行動を述べる。

遠隔操縦システムは、極限環境などを中心にこれまでに数多くの研究がなされてきているが、ヒューマノイドの場合はマスタースレーブ方式により全身の全ての関節を個々に制御するのは困難であり、あらかじめ用意された要素動作を選択実行する管理制御方式や[1]、手先や足先など身体の部分の関節に限って個々に制御する部分マスタースレーブ方式や[2]、これらを組み合わせた方式[3]などが研究されてきているが、センサ情報や状況判断に基づいた例[4]は少ない。

2. ヒューマノイドの遠隔操縦システム

対人行動誘導機能には障害物を検知するもの、人間の存在に気づいて対応動作を行うもの、人間に身体を誘導されながら行動するもの等様々なレベルがある。対人行動誘導を取り込んだヒューマノイドの遠隔操縦システムではこれらの機能の実現とともに、これらの動作を段階的に追加でき、最終的に全ての機能を自然に切り替えながら行動できるような遠隔操縦システムの構成法が必要になってくる。

遠隔操縦システムの構成法としてはモード切り替えによりこれらの機能を逐次的に利用する方法と、これらの機能をサブサンプリングの包括し並行的に方法が考えられる。現在は前者のモード切替の手法を採用したシステムを構築しているが、後者の手法の例として、我々は環境の仮想的なポテンシャル場を利用したオンサイト誘導プランナ[5]を提案しており、対人環境での状況認識結果をポテンシャル場を反映させることで、各対人行動誘導機能を並行的に統合できると考えている。

3. センサ情報を利用した対人行動の誘導

人間や環境の存在に気づいて行動を変化させる例として、視覚により歩行可能状態の判断を行い人間の遠隔操作指令をキャンセルし自律的に人間や障害物を回避する行動例と、人間がロボットに働きかけて行動を変化させる例として人間がロボットの手をとって移動行動を誘導する行動例について述べる。

3.1 PSF を用いた床面認識による障害物回避

ロボットが床を認識することが出来れば、床と床上の障害物のセグメンテーションにより床面上の障害物を回避する行動が可能になる。本研究では三次元視覚による平面領域検出機能 (PSF: Plane Segment Finder) [6] を利用し、床面を認識し床面上の障害物を回避する。

PSF はハフ変換を用いた三次元平面検出法であり、これは、距離情報中の各点がパラメータ空間上の曲面に射影され、パラメータ空間中の曲面の交点が距離情報中の平面に対応するような、平面のパラメータ表現を用いることで実現できる。

3.2 手首力覚を用いたロボットの歩行行動誘導

人間がロボットの手を引くことでロボットの行動を誘導できる機能[5]は実際に環境中で行動するロボットの動作のオンサイトでの修正や学習などの誘導が可能にし、人間ロボット共存環境では重要な能力である。

ここはロボットが手を体の前に出し、腰座標から見た手先位置を固定した状態で歩行している状況において、手首の力覚センサで検知したセンサ値の床面への投影した二次元のベクトルを利用してロボットの移動方向を決定している。またロボットの回転量は移動方向に基づき計算する。

4. ヒューマノイドの対人行動誘導実験

4.1 HRP2 の統合システムソフトウェア

歩行と姿勢制御機能を主とする HRP2 制御システム[7]に対して、視覚や音声による環境認識、経路、姿勢、動作のプランニング、学習や動作記述等の上位の機能を提供するソフトウェア群を統合した統合システムソフトウェアの開発し利用している[8]。

4.2 ヒューマノイドロボットの遠隔操縦実験

ヒューマノイドロボットの遠隔操縦実験で利用したソフトウェアの構成図を Fig.1 に示す。入力デバイスの入力を受け付ける joystick, 手首力覚からロボットの移動・回転量を計算する pulling hands, 床面認識による障害物検知を行う floor detection はそれぞれ並列スレッドとして実装されており、joystick モード時には入力デバイスからの信号がロボットの歩行制御プログラムへ入力される。また、pulling hands モー

ド時は手首の力覚センサの信号を利用する。現状では floor detection は joystick モード時に利用され、障害物を検知した際にロボットの前方への移動運動量をキャンセルする。

joystick から pulling hands への切り替えは、joystick 時にはロボットは手をおろして歩行しているため、この手を人間が持ち上げるよう力を加えると、ロボットは腰の前に手を出した状態に姿勢を遷移させ、pulling hands へとモードが遷移する。また、このときロボットの手に下向きの力を加えると joystick へとモードが遷移する。

Fig.2 は床面認識により障害物を検知している様子である。上段はロボットの前方に十分な床面空間がある場合、下段は床面空間がない場合の、それぞれ視野画像、距離画像、床面検出結果である。Fig.?? は人間がロボットの手を引いている際の手首の力センサ値である。10500[msec] 時点から手首の力センサの z 軸（ロボットは手を前に出しているため人間に引かれる軸）が変化している様子が分る。実験の様子を Fig.4 に示す。1-5 はジョイスティックにより操縦している様子である。このとき 3,5 では、人間が近づいてきてロボット目の前に床面領域が検出できる後ずさりしている。6-8 は人間がロボットの手を引いて誘導している様子である。

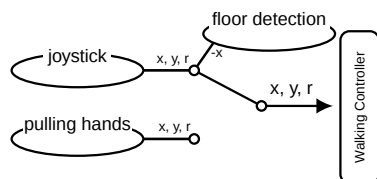


Fig.1 視覚と力覚を用いた対人行動誘導機能を持つ遠隔操縦システム

5. おわりに

人間や環境の存在に気づいて行動を変化させる、あるいは、人間がロボットに働きかけて行動を変化させるといった、対人行動誘導の例として、視覚により歩行可能状態の判断を行い人間の遠隔操作指令をキャンセルし自律的に人間や障害物を回避するレベルと人間がロボットの手をとって移動行動を誘導するレベルを組み込んだヒューマノイドの遠隔操作システムを実装した。現状ではモードによりこれらの対人誘導行動を切り替えているが今後は対人誘導行動機能を増やし、これらを破綻なく融合できるような、より自然な機構を構築していく予定である。

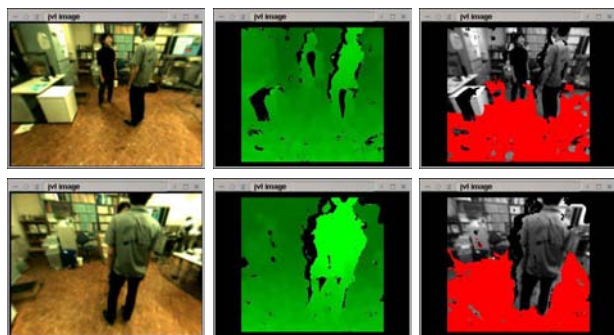


Fig.2 PSF を用いた平面検出による障害物検知の様子

参考文献

- [1] 松本剛明, 近野敦, 内山勝. 小型ヒューマノイドロボット HOAP-2 の遠隔操縦. 計測自動制御学会東北支部第 213 回研究集会資料, pp. 213-19, 2003.
- [2] 館嶺, 小森谷清, 澤田一哉, 井床利之, 井上幸三. HRP 遠隔操作プラットフォーム. 日本ロボット学会誌, Vol. 19, No. 1, pp. 16-27, 2001.

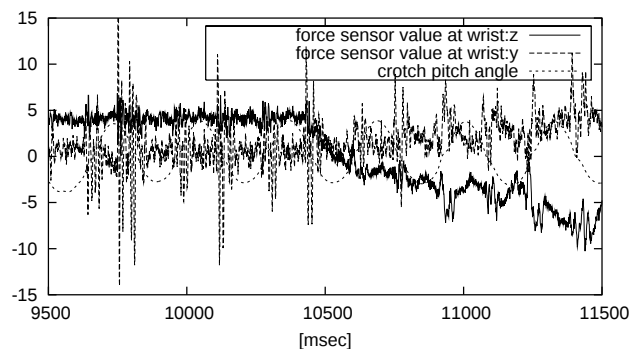


Fig.3 人間がロボットの手を引いている際の手首の力センサ値

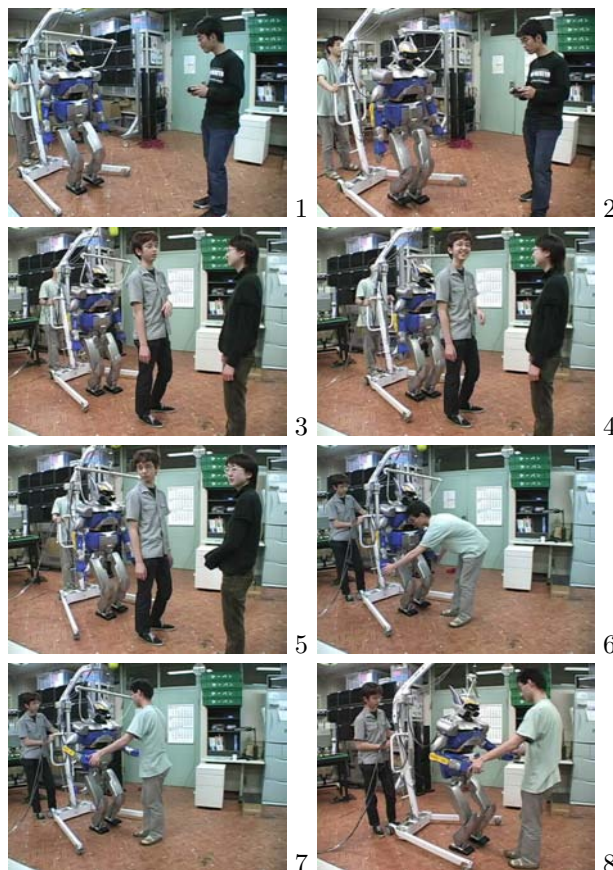


Fig.4 ヒューマノイド HRP2 における遠隔操縦実験の様子

- [3] 蓮沼仁志, 中嶋勝己, 小林政己, 御船文里, 宮原啓造, 鷹取正夫, 森山尚, 家中良太, 横井一仁. 人間型ロボットのための遠隔操縦システムの開発 - 人間型ロボットによる産業車両の代行運転への適用 -. 日本ロボット学会誌, Vol. 22, No. 1, pp. 45-54, 2004.
- [4] 加賀美聡, カフナージェームズ, 西脇光一, 杉原知道, 道方孝志, 青山拓磨, 稲葉雅幸, 井上博允. ヒューマノイドロボットの遠隔操作インターフェースの研究. 第 6 回ロボティクスシンポジウム予稿集, 2001.
- [5] 小倉崇, 岡田慧, 稲葉雅幸, 井上博允. ヒューマノイドのオンサイト誘導プランナの実現と行動学習の研究. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, 2000.
- [6] K. Okada, S. Kagami, M. Inaba, and H. Inoue. Plane segment finder : Algorithm implementation and applications. In *Proc. of International Conference on Robotics and Automation (ICRA '01)*, pp. 2120-2125, 2001.
- [7] 金広文男, 藤原清司, 原田研介, 金子健二, 梶田秀司, 横井一仁, 比留川博久. HRP-2 の運動制御システム - プラグイン群とその実行制御 -. 第 21 回ロボット学会学術講演会予稿集, p. 3A33, 2003.
- [8] 岡田慧, 小倉崇, 羽根田淳, 幸坂大輔, 中井博之, 稲葉雅幸, 井上博允. HRP2 ヒューマノイド統合システムソフトウェア環境と行動実験. 第 9 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 392-397, 2004.