

自律行動と遠隔操作の対話的切替え機構を備えた ヒューマノイドシステムの構成法

古城直樹 園田朋之 稲邑哲也 稲葉雅幸(東京大学)

A Humanoid Robot with Interactive Switching Mechanism between Automatic and Tele-operated Behavior

Naoki KOJO, Tomoyuki SONODA,
Tetsunari INAMURA, Masayuki INABA (The Univ. of Tokyo)

Abstract: In this paper, we introduce an interactive method to integrate automatic behavior and teleoperation. In various environments, automatic behavior programmed in advance might not work. Humanoids need support by human using teleoperation. We propose stochastic method to resolve when and how humanoids give up and get over initiative. We actually implement the method on a humanoid; HRP-2W.

1. はじめに

ヒューマノイドロボットにおける自律行動は、基本的には予めプログラムすることにより実現される。このため、作業環境・内容が複雑・多様化するにつれ、自律行動のみで全てを実現させることは、現実的に難しい。一方で、自由度の多いヒューマノイドをいつでも人間が操作するのは多大な労力を要する。そこで、自律行動と遠隔操縦を組み合わせたシステムが有用となる。

自律と操縦の組み合わせでは、すでに様々な研究が行われている。文献¹⁾²⁾では、注目する部位のみ操作し、他の部位の運動をヒューマノイドが自律的に生成する、という自律行動と遠隔操縦の同時に組み合わせる手法を提案している。しかし、人間の誤った操作をヒューマノイドが補正する、もしくは逆に、ヒューマノイドが達成し損なったタスクを人間がサポートする、といったことを実現するためには、同時的な組み合わせではなく、自律行動と遠隔操作の切り替えが必要となる。その際、常に主導権が人間にあったのでは、結局は遠隔操作に他ならない。状況に応じて主導権をヒューマノイドが握るべきである。また、ヒューマノイドが主導権を持って切り替えを行う場合には、操作者に状況を通知し、緊急でなければ承諾を得るべきであり、必然的に切り替えを対話的に行うことが重要になってくる。

本稿では、この自律行動と遠隔操作の対話的切替えをについて述べ、ヒューマノイドロボットを用いて、この考え方を反映させた実験を行い、その有効性を検討する。最後に、本システムに学習という要素を加えることで、今後どう発展していくかについて述べる。

2. 自律行動と遠隔操作の切替え

2.1 主導権の所在

前節で述べたように、主導権は状況に応じて人間とヒューマノイドの間で移り変わるべきものである。遠隔操作と自律行動への切り替えは、主導権を持って切り替えを行う主体がどちらか、ということを考えて入れると、Fig.1のように4通り考えられる。

Direction \ Actor	Human	Humanoid
Tele-operated to Autonomous	Manual	Certainty Factor
Autonomous to Tele-operated	Manual	Evaluation

Fig. 1 Switching of initiative

人間が主導権を持ち、意図的に自律行動と遠隔操作を切り替える場合には、当然判断基準を設ける必要はない。しかし、ヒューマノイドが主導権を獲得し切替える場合には、何かしらの基準が必要となる。そこで我々が提案するのが、操縦の正しさの確信度 (Certainty Factor) と自律行動の評価 (Evaluation) の導入である。なお今回対象とするのは、ボールを取るなどの action レベルでの自律行動であるが、本システムを応用すると、次に何をすべきか、という Behavior レベルでの自律行動にも対応できる。

2.2 操縦の正しさの確信度

人間が主導権を持って遠隔操縦しているときに、ヒューマノイドが主導権を獲得し自律行動へと切替えるためには、操縦の正しさに対する確信度が必要となる。確信度とは、ヒューマノイドの推論に対する確信の度合いである。

ヒューマノイドはセンサの値を利用して、操縦者の入力正しいかどうか、つまり壁にぶつかろうとしたり無理な負荷をかけたりしてないか、を常にチェックする。センサ値が正常値から外れるにつれ確信度が上がり、閾値に達すると操作者に状況を通知し、ヒューマノイドが主導権を獲得して動作（例えば緊急停止）を実行する。一方で、警告にもかかわらず操作者からの入力が続く場合には、確信度が下がる。このように、操作者が加わり対話的に確信度が上下することで、閾値自体は一定でも操作者によって事実上その値を変えることができる。

実装にあたっては、過去の経験とセンサ値により確信度を計算する手法が提案されている³⁾ので、これを利用する。

2.3 自律行動の評価

今回我々は、タスクの進行状況を、達成したかしなかったかではなく、どの程度達成できそうかという達成可能性を評価することを試みる。達成可能性の評価には、かかる時間、対象をどれくらい確実に認識できているか（基本的には視覚情報に基づく）、さらには状況が改善しているか（例えばボールを取る動作であれば、対象との距離が確実に縮まっているか）を用いる。そして、達成可能性が一定値より低くなった場合には、操縦者に通知し、承諾が得られれば遠隔操縦へ、得られなければ再び自律行動へと移行させる。ここでも確信度と同じく、閾値に達した後の操縦者の対応次第で、確信度が上下する仕組みを導入する。

3. 遠隔操縦型ヒューマノイドロボットシステム

実装にはヒューマノイドロボット、HRP-2W⁴⁾を利用した。我々は、センサーと多数の入力デバイスを統合し使いわけすることで、ユーザーフレンドリーな遠隔操縦システムを確立した。詳細は Fig.2 に示す。

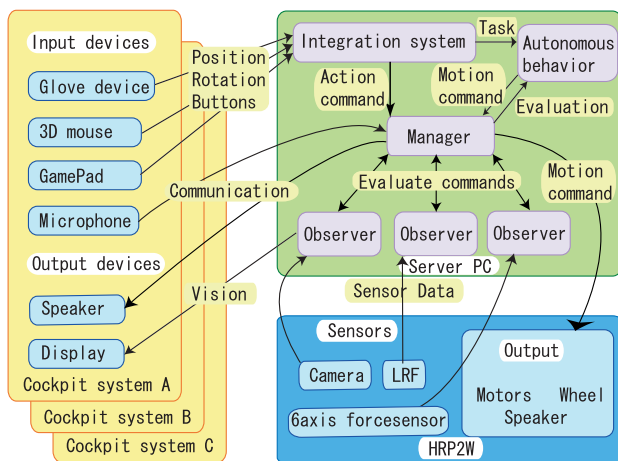


Fig. 2 System structure

遠隔操作時の入力デバイスとしては、6次元の位置姿勢データを取得できるマウス型デバイス（以下：3D mouse）とグローブ型デバイス（以下：Glove Device）、ゲームパッド、音声、さらにはコンピュータ画面に表示させたボタンなどで操作できるようにし、タスクに応じて使い分ける。音声認識には IBM 社の Viavoice を利用しており、認識した単語を socket 通信により HRP-2W へ送るシステム構成になっている。

操縦者はヒューマノイドからのカラーカメラ画像を見ながらロボットの手の3次元座標、関節角度、車輪の回転を操縦する。また、HRP-2W には SICK 社製の Laser Range Finder（図中：LRF）を取り付けてあり、前方 180° の範囲を 0.5° の分解能で走査し、数 [mm] オーダーの誤差の精度で計測することができる。なお、Fig.2 中の複数の Cockpit system は、複数の人間からの操作を示している。

4. 自律行動と遠隔操作の切替え機構の実装実験

扉を挟んだ隣の部屋にボールを取りに行くというタスクを例にとって、自律行動と遠隔操作を切替えなが

らタスクをこなす機構を実装した。操作にはゲームパッドを用いた。実験の様子を Fig.3 に示す。

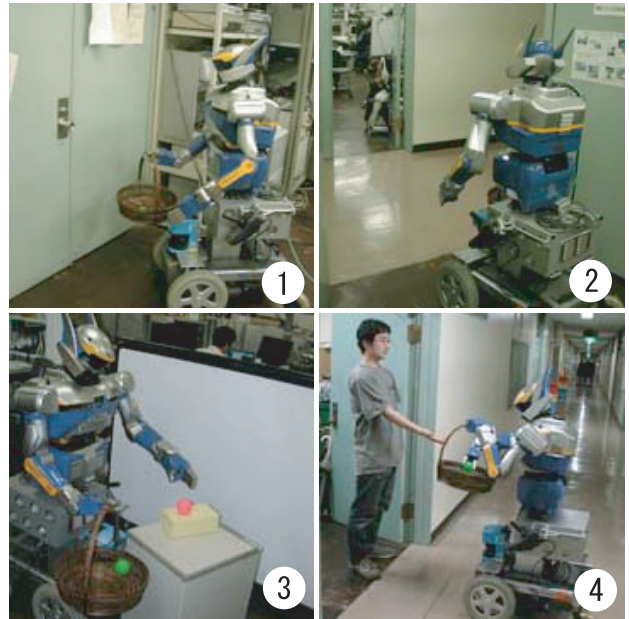


Fig. 3 An appearance of switching experiment

5. おわりに

単純なタスクであれば、自律行動もしくは遠隔操作のどちらかのみを行えばこと足りるであろう。しかし、タスクが複雑化した場合、自律行動と遠隔操作の切替え機構は必要不可欠となる。本稿では操作の正しさの確信度と自律行動の評価を導入し、対話的に切替えるシステムの構成法を提案し、実機実験によりその実装例を示した。

本実験では実装していないが、本稿のシステムを応用すると複数の操縦者から同時に入力を受け付けたときにも、評価し対話的に切替えることで対応できる。また、現時点ではまだ実装していないが、この自律行動と遠隔操縦の切り替えシステムにさらに学習の要素を加えることで、より汎用的なシステムを構築することができると考えている。具体的には、どのようなセンサー状態で遠隔操作と自律行動の切替えが起こったかを学習させることで、確信度と自律行動の評価の閾値を経験に基づき適応させていくことを目指す。

参考文献

- [1] Neo, 他. 簡易な入力装置を用いたヒューマノイドロボットの全身遠隔操作システム. 日本ロボット学会誌, Vol. 22, No. 4, pp. 519-527, 2004.
- [2] 蓮沼, 他. 自律・遠隔ハイブリッド型ヒューマノイドロボット操作システムの開発(第二報)基本制御アルゴリズムの開発. 第 22 回日本ロボット学会学術講演会, p. 3L24, 2004.
- [3] 稲邑, 他. ユーザとの対話に基づく段階的な行動決定モデルの獲得. 日本ロボット学会誌, Vol. 19, No. 8, pp. 983-990, 2001.
- [4] 稲邑, 他. 共通モジュールによるプロジェクト融合を可能とするコンテンツ指向型ヒューマノイドプラットフォーム. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2004 講演論文集, pp. 2P1-H-74, 2004.