

# ミメティックコミュニケーションと境界条件緩和法による ヒューマノイドロボットのアニマトロニック制御

正 杉原知道 正 山根克 学 高野涉 正 中村仁彦 学 山本江(東大)

## Animatronic Control of a Humanoid Robot on the Combination of Mimetic Communication and Boundary Condition Relaxation Method

\*Tomomichi Sugihara, Katsu Yamane, Wataru Takano,  
Yoshihiko Nakamura and Kou Yamamoto (Univ.of Tokyo)

**Abstract**— An animatronic motor control of a humanoid robot is achieved by mimetic communication model. The robot recognizes the actor's behavior measured by a motion capture system, and outputs series of rough postural reference as reactions. They are reconstructed for the real robot by Boundary Condition Relaxation Method with the dynamics taken into account.

**Key Words:** Humanoid robot, Mimetic Communication, Animatronics, Online motion choreography

### 1. はじめに

ヒューマノイドの運動に関する研究は、大自由度系の振り舞いをいかに合理的に記述・獲得・記憶・再現するかという知能の問題と、慣性系に固定されておらず本質的に受動的な系の力学・制御問題の双方から進められている。人間のような躍動的な動きは、これらの個別に見ても未だ困難な課題の融合の果てにある。本稿ではその萌芽的試みとして、脳型情報処理に学んだミメティックコミュニケーション [1] と境界条件緩和法 [2] を組み合わせ、行動指令として自律的に生成した粗い姿勢遷移パターンを運動学・力学的に整合したものに修正し、実ロボットに適用する方法について述べる。

Nakaoka ら [3] は、モーションキャプチャデータを実機に合わせオフラインで加工し、舞踊運動を実現している。本稿で示すのは、0.5 秒弱程度の遅延を許しながらもオンラインで続々とロボットに送信される指令値に従って運動を遂行させるフレームワークである。

### 2. ミメティックコミュニケーション [1]

江崎ら [4] に拓かれたミメスループは、隠れマルコフモデル (HMM) をツールとし、他者行動の認識から自己身体への写像と評価、そして再度認識へとつなげていく過程で、高度な知能を獲得していくことを目的としたものである。高野ら [1] はこれを規範として、自己と相手の行動のパターンをまず別個に学習し、更にその組み合わせパターンを学習する上位階層を設けることで、行動の呼応関係を獲得する Fig.1 のような原始的コミュニケーションモデルを提案している。その応用として、自己と他者の行動履歴および他者の最新の行動を元に、ロボットが自分のとるべき行動をオンラインで決定する機構が実装されており、本稿ではこれを運動指令生成器として利用する。すなわち、モーションキャプチャで計測した運動から被験者の「意図」を汲み、「殴打」「回避」といった抽象的な対応戦略を決定し、それを代表する 30[ms] 毎の粗い姿勢 (全関節角と慣性系に対する胴体姿勢) および理想接地状態 (片足支持か両足支持か) の遷移列を出力して指令とする。

### 3. 境界条件緩和法 [2] による力学的補間

前節の運動指令生成器の出力は、i) 力学的整合性を保証しない、ii) 30[ms] おきの粗い時系列であるという

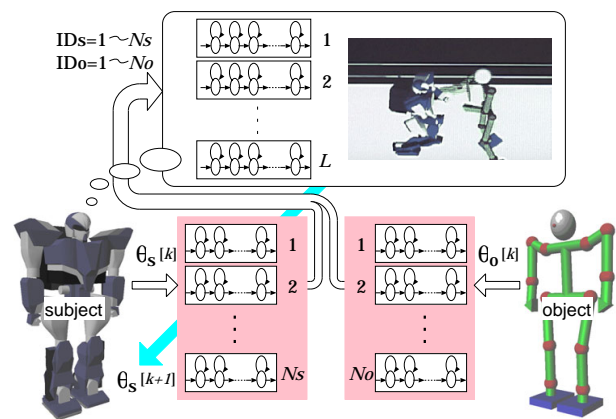


Fig.1 Mimetic communication with hierarchical HMM

性質から、そのまま実ロボットに適用することはできず、次を満足するよう補間・修正しなければならない。

条件 1:軌道の幾何学的制約

1. 各関節の運動が可動範囲におさまる
2. 自己干渉を起こさない
3. 環境との接触状態が計画通りに推移する
4. 軌道が (見た目が不連続なほどに) 急変化しない

条件 2:反力に関する制約

1. 環境がロボットを引っ張る力を仮定しない
2. 片足が離床する際 ZMP は反対側の足に移っている

本稿では簡単のため、条件 1 の 1.2. に関しては指令値の段階で十分なマージンがあり、補間によって破れることはない、また条件 1 の 3.4. については、少なくとも元の姿勢遷移列はこれらを満足していると仮定する。この下で、次の手順に従いロボットの制御周期に合わせた補間を行なう。

1. 指令値に含まれる理想接地状態が切り替わる直前までの時刻を一つのセグメント (時間長  $T$ ) とし、そのセグメントごとに補間を行なう。<sup>1</sup>
2. 手先・足先・導体姿勢に関して、指令値を 3 次スプライン曲線により補間する。実ロボットにおいてはモデル化誤差・重力・逆運動学の誤差などの

<sup>1</sup>このため、指令値がロボットの運動に反映されるまでには接地状態切り替えに要する時間分の遅延が発生する。

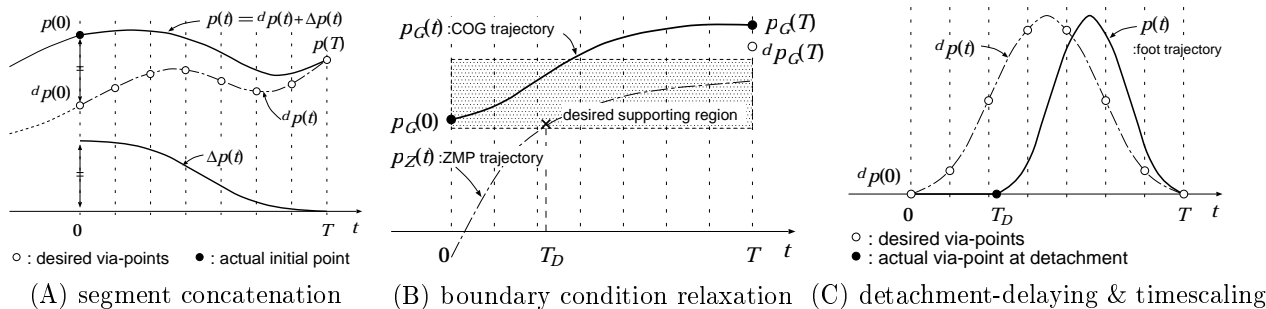
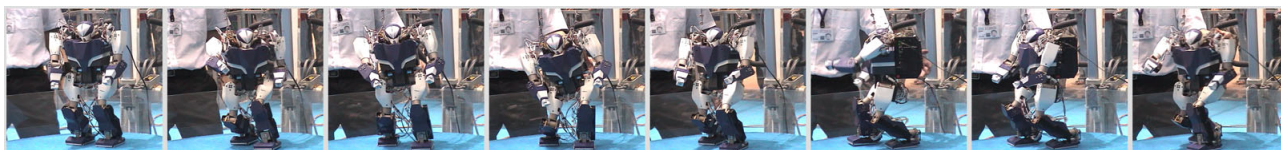


Fig.2 Interpolation toolbox for physically consistent motion trajectory



(A) Fight of digitally reconstructed actor and robot on the virtual ring



(B) Responsive fighting actions of the robot against the actor's motions captured

Fig.3 Showdown between digital fighters

影響により，セグメントの終端で必ずしも指令値に一致しない．そこで Fig.2(A) に示すように，前セグメントの終端値 = 新セグメントの初期値の指令値からのギャップを時間  $T$  かけて 0 にする，図中の  $\Delta p(t)$  のような関数を元の補間軌道（1点鎖線）に足し込む．

3. 重心軌道は，現在の位置および  $T$  秒後の目標終端値から，Fig.2(B) のように境界条件緩和法によって軌道を作成する．このとき，接地状態の遷移を考慮し ZMP 軌道も同時に計画する．
4. 計画された ZMP 軌道および支持領域から，足の離床可能時刻  $T_D$  を決定できる．この時刻まで足は接地を保たなければならないので，Fig.2(C) のように， $0 \sim T$  で作成した補間曲線が  $T_D \sim T$  内に収まるようにタイムスケールを変更する．

以上の手続きにより，条件 1, 2 を満たす重心・手先・足先・胴体姿勢の軌道が連続関数として求まる．これより制御周期ごとの値を求め，逆運動学によって関節角目標値に変換する．

#### 4. モーションキャプチャとの連動によるバーチャル格闘

提案する方法を用いて，被験者とロボットとの仮想的な対戦格闘ゲームシステムを構築し，実験を行なった．これは 3D CG によって画面上で再構成された被験者およびロボットのモデルが，仮想的なリング上で対戦するものである．キャプチャシステムは MAC3D System(Motion Analysis) を使い，ロボットには UT- $\mu 2$ [5] を用いた．その模様を Fig.4 に，実際に行なわれた対戦の様子を Fig.3 にそれぞれ示す．

#### 5. おわりに

ミメティックコミュニケーションによる自律的運動戦略決定機構と境界条件緩和法を組み合わせ，オンラインでヒューマノイドロボットに多彩な運動を行なわ

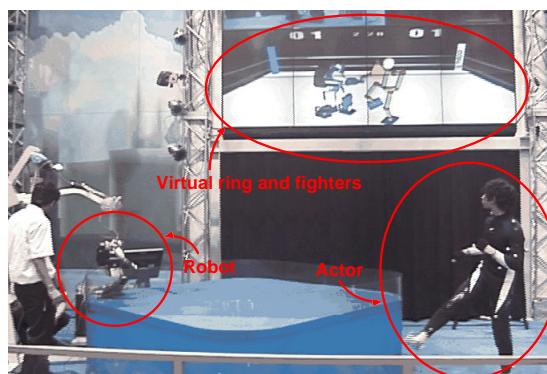


Fig.4 Actor, robot and virtual fighting field

せる方法を提案し，実際にシステムを構築した．なお本研究は，科学研究費補助金基盤研究 (S)(課題番号：15100002) および新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 平成 16 年度 21 世紀ロボットチャレンジプログラム「次世代ロボット実用化プロジェクト」の支援を受けた．

#### 参考文献

- [1] 高野 渉, 山根 克, 中村 仁彦. 運動の認識・生成に基づく原始的コミュニケーションの階層構造モデル. 第 23 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2005.
- [2] 杉原 知也, 中村 仁彦. 境界条件緩和による二脚ロボットのオンライン歩容計画法. 第 10 回ロボティクスシンポジウム予稿集, 2005.
- [3] Shin ichiro Nakaoka, Atsushi Nakazawa, Kazuhito Yokoi, Hirohisa Hirukawa, and Katsushi Ikeuchi. Generating Whole Body Motions for a Biped Humanoid Robot from Captured Human Dances. In *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, 2003.
- [4] 稲色 哲也, 中村 仁彦, 戸嶋 巖樹, 江崎 英明. ミメシス理論に基づく見まね学習とシンボル創発の統合モデル. 日本ロボット学会誌, Vol. 22, No. 2, pp. 256-263, 2004.
- [5] 杉原 知也, 山本 江, 中村 仁彦. アニマトロニクス展開に向けた小型ヒューマノイドロボットの開発. 第 23 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2005.