

指の擬人的な動作を用いた 二足歩行ロボットへの動作指示手法

杉浦 裕太^{†1,†2} 笥 豪太^{†1,†2} 坂本 大介^{†2}
アヌーシャ ウィタナ^{†1,†2} 稲見 昌彦^{†1,†2} 五十嵐 健夫^{†2,†3}

本稿では、人の歩行動作を模した指のジェスチャによる二足歩行ロボットへの動作指示手法を提案する。本インタフェースでは人が手を用いて、人の歩行動作を表現する際に行うジェスチャに注目し、これを小型のマルチタッチインタフェース上で再現することで二足歩行ロボットの歩行などの操作を実現する。本インタフェースを用いたアプリケーションとしてサッカー環境を構築し、公開デモンストレーションを行った。この観察結果から、本インタフェースに初めて触ったユーザであっても歩行や、高度なキック・ジャンプといった操作について柔軟に指示することが可能であることが確認された。

Direct Operation Method with Self-projectable Finger Gestures for Bipedal Robots

YUTA SUGIURA,^{†1,†2} GOTA KAKEHI,^{†1,†2}
DAISUKE SAKAMOTO,^{†2} ANUSHA WITHANA,^{†1,†2}
MASAHIKO INAMI^{†1,†2} and TAKEO IGARASHI^{†2,†3}

We propose an operating method for bipedal robots by using two-fingered gestures on a multi-touch surface. We focus on finger gestures that people represent the human with moving fingers, such as walking, running, kicking and turning. These bipedal gestures are natural and intuitive enough for the end-users to control the humanoid robots. The system captures those finger gestures on a multi-touch display as the direct operation method. The capturing method is easy and simple, but robust enough for the entertainment applications. We show an example application with our proposed method, and demonstration at the international exhibition. We conclude with the results of

observation and future implementation of our method.

1. はじめに

教育やエンタテインメントを目的としたロボットを一般市場で購入することができるようになってから久しい。特に、二足歩行ロボットにおいては頻りに格闘技やサッカー、障害物競走などの競技会が開催され、多くの注目を集めている¹⁾。しかし、これらの二足歩行ロボットの操作インタフェースとしては一般にゲームコントローラが採用され、エンドユーザ、特にゲームなどに親しみのないユーザが簡単に操作することができるとはいえない。なぜなら、ゲームコントローラを用いた二足歩行ロボットの操作は直感的ではなく、十分な習熟時間が必要となるためである。これらのロボットの普及には、彼らに対する柔軟なインタフェースが重要である。

そこで本研究では、人の歩行動作を模した指のジェスチャによる二足歩行ロボットへの動作指示手法を提案する。我々は人が指を用いて、人を表現する際に行うジェスチャに注目し、この動作を小型のマルチタッチインタフェース上で再現することで二足歩行ロボットの歩行などの指示を可能とする技術を開発する。具体的には、指の動きから動作の種類を抽出し、あらかじめロボット制作者によって組み込まれている動作を再生するという方式をとる。指の動作をリアルタイムにトラッキングし、ロボットの動作を再生するためには様々な実装方法が考えられるが、本手法は単純かつロバストなシステムを構築することができる。人は人の歩行動作を指で模倣する際に、人差し指と中指を下方方向に伸ばし、その指を交互に動作させることが多い。これは、指の形状やバイオロジカルな動作が、人間の足と歩行動作に類似している際に生じる擬人化が理由だと考えられる。本システムは子供から老人まで広く一般的に使われているジェスチャを用いることで、二足歩行ロボットの直感的な操作インタフェースを実装することができ、多くの人々に二足歩行ロボットを用いた新しいエンタテインメント体験を提供することができる。

^{†1} 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

Graduate School of Media Design, Keio University

^{†2} JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト

JST ERATO IGARASHI Design UI Project

^{†3} 東京大学大学院情報理工学系研究科

Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

本研究では提案する手法の実装例として、二足歩行ロボットを用いたサッカーのためのインタフェースを実装する。サッカー競技は、主に脚部の動作によって成り立つスポーツであり、用いられる動作が本手法によって認識可能なジェスチャに適しているからである。我々は提案する手法を二足歩行ロボットのための動作指示インタフェースとして実装し、公開デモンストレーションを行った。この観察の結果から様々な知見が得られた。これについて報告する。

2. 先行研究

ロボットを直感的に操作する試みは多く行われてきている。これまでも操作者に対してロボットに乗り移ったかのような感覚を与え、これにより直感的なロボット操作を可能とするテレグジスタンスという概念が提唱されている²⁾。さらに近年においては、より専門知識を持たないユーザを対象としたロボット操作インタフェースとして、俯瞰カメラ映像上にスケッチ動作でロボット操作ができるインタフェース⁵⁾、実世界上にロボットへの指示が書かれたカードを置くだけで、非同期的なロボットへの作業指示が可能なシステムなどが提案されてきている⁴⁾。

手の擬人化を用いたインタフェースについても様々な提案がされてきている。小泉らは、手に手袋型ロボティックユーザインタフェースを装着し、インタフェースと同形状であるバーチャルキャラクタの操作手法を提案し、これを遠隔コミュニケーションに応用した³⁾。また、Yonezawaらは手袋人形のジェスチャによって歌声を制御するエンタテインメントデバイスを開発した⁶⁾。本稿で提案するシステムは装着型ではなく、また実ロボットの操作手法の提案であり、彼らの研究とは異なる。

一方で、手の2本の指を脚のメタファとするものもいくつか提案されている。HABA World Championship Soccer Rug は2本の指の先にシューズのような玩具を取り付け、サッカーを行う玩具である⁸⁾。また、Nagaoらは、テーブルトップにおいて2本指で歩くような動作を行うことで、デジタルクリチャとインタラクションを実現するアート作品を提案している⁷⁾。

本研究はエンタテインメントを主眼に置いているため、だれでも手軽に利用できることが重要となる。したがって、複雑なデバイスをユーザに装着することなく、感覚的に歩行ロボットを操作できるものとして実装する。また、入力ジェスチャと操作対象の動作の類似性から、Wii⁹⁾に代表される直感的なゲームと同様なエンタテインメント体験を提供できる。

3. システム

指の擬人的動作を用いた歩行ロボットへの直感的な動作指示手法の実装を行う。本稿では提案手法の実装例として歩行ロボットを用いたサッカーを例題として取り上げ、このためのインタフェースの実装を行う。

3.1 システム構成

提案するシステムの概要を図1に示す。実装するシステムは小型マルチタッチディスプレイとしてiPhone/iPod touch (以降 iPhone)、操作対象である二足歩行ロボット、PCで構成される。iPhoneはユーザからの入力を受け取り、ジェスチャを解析した後、PCへコマンドを送信する。コマンドを受信したPCはただちに二足歩行ロボットへコマンドを転送し、ロボットが動作する。ロボットへ送られるコマンドはロボットが解釈可能な形で送信される。ロボットは受信したコマンドをもとに、あらかじめ用意された動作を行う。iPhoneとPCはWiFiネットワークで、PCとロボットはBluetoothで接続されている。ソケット通信とBluetoothの通信は本システムのために開発されたプロキシサーバによって仲介される。プロキシサーバはJava言語を用いて作成した。本来ならばiPhoneとロボットが直接データをやりとりするのが理想的であるが、現時点ではiPhoneのAPIの制約から直接通信することができないため、通信を中継するためのPCをiPhoneとロボットの間に介在させている。

3.2 ジェスチャのデザイン

指の擬人的動作については「前進」「後進」「並進」「旋回」が代表例として考えられる。この指による歩行動作を基本としてジェスチャをデザインした(図2)。また、サッカーを例題として取り上げているため「蹴り上げ(キック)」や「飛び上がり(ジャンプ)」とい

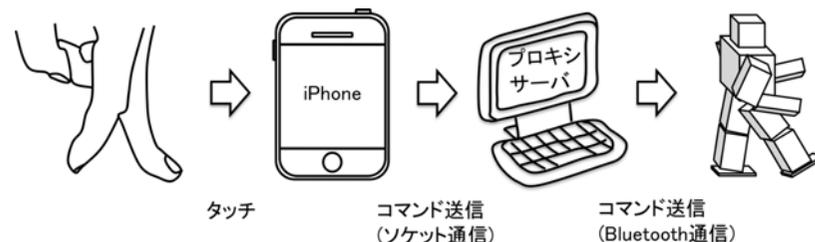


図1 システム概要図
Fig. 1 Overview of system.



図 2 ジェスチャ認識
Fig. 2 Gesture recognition.

うジェスチャをデザインした．基本的にこれらの動作の入力は人差し指と中指を下方方向に伸ばし，2本の指を用いて操作することを想定している．以下に詳細を示す．

3.2.1 前進，後進

どちらか一方の指をディスプレイに接地させ，上から下へなぞる．次にもう片方の指をディスプレイに接地させ，同様になぞる．このような動作を繰り返すことによりロボットへ前進動作の指示を与えることが可能である．また，逆に下から上へなぞることによって，後進動作の指示を与えることが可能である．

3.2.2 旋 回

前後動作のジェスチャを用いて，ディスプレイ上で右から左，もしくは左から右へ交互になぞることで，左右旋回動作を指示することが可能である．

3.2.3 並 進

一方の指を1点で固定し，もう片方の指を横方向になぞることで，並進動作の指示をすることができる．

3.2.4 蹴り上げ動作，飛び上がり動作

両方の指をディスプレイに接地させ，片方の指を前方向へ素早くなぞることで，なぞった指に対応した蹴り上げ動作を入力する．さらに，両方の指をディスプレイに接地させ，一定時間を経過したあとに両方の指を放すことで飛び上がり動作を入力する．

3.3 ロボット

本システムでは市販の二足歩行ロボット TINYWAVE を用いる．このロボットは全身 16 自由度（上体部 6 自由度，下肢部 10 自由度）で構成されており，全長は 0.4 [m]，重量は 1.50 [kg] である．特徴として，アクチュエータにサーボモータを使用している．あらかじめロボットの動作はマイクロコントローラ側に組み込まれている．センサは加速度センサが組み込まれており，今回は転倒時の方向検出として利用している．

3.4 インタフェースの実装

人の指の動作認識手法とロボットへの動作指示に関しては様々な実装が考えられる．たとえば，指の動作をリアルタイムにトラッキングし，ロボットと 1 対 1 対応させる手法などが考えられる．この手法についてはエンタテインメントシステムとしてロバストに動作するシステムを開発することが現状では難しく，さらに機材も大型になってしまい現実的ではない．また，市販の二足歩行ロボットは，モータの精度，ハードウェアの剛性，CPU の処理速度の限界からリアルタイムに動作を生成し，十分に姿勢を安定して歩行するといったことは現状困難である．そこで本システムでは，指の動きから動作の種類を抽出し，あらかじめロボット制作者によって組み込まれている動作を再生するという方式をとった．この方法は，他の市販ロボットに対しても汎用的にシステムが利用可能な点において有用である．さらに，前述した手法よりも実装が簡易であるが，動作がロバストであり，エンタテインメントシステムとして現実的であると考えられる．

ジェスチャ認識には，ユーザがマルチタッチディスプレイにタッチした始点と終点を結んだ直線の角度と入力時間を用いる．ここでの角度の基準は水平方向右を 0 度とし，反時計回りの角度を正とする．たとえば，前進動作の場合，ユーザは画面上を上から下へなぞるジェスチャを行うが，その始点と終点を結ぶ直線の角度が $45^\circ < \theta < 135^\circ$ の範囲の場合，入力されたジェスチャが前進動作であることが判定できる．同様に $135^\circ < \theta < 225^\circ$ では右旋回， $225^\circ < \theta < 315^\circ$ では後進， $-45^\circ < \theta < 45^\circ$ では左旋回であることが判定される．ジェスチャは 30 [fps] でサンプリングしており，たとえば前進歩行の場合，ユーザが画面にタッチしてから離すまでが 5 フレーム以内の入力は動歩行，9 フレーム以内は静歩行，それ以上では足踏みを実行するようになっている．前進・後進・旋回動作については基本的には 2 本指での操作を仮定しているが，実装上 1 本指でも動作する．並進とキック動作，およびジャンプ動作の場合，2 本指でジェスチャを行うが，並進とキック動作に関してはジェスチャ中の指の位置関係から左右どちらの足を動作させるかが決定される．さらに，移動量が 20 [px] 以下でかつタッチが 10 フレーム以上経過している場合，固定されている指と判断し，もう一方の指の移動量が 20 [px] 以上の場合，これらのコマンドを実行する．並進が蹴り上げ動作の判定は，スライドした角度によって判断される．ロボットの動作の速度，種類からインタフェースは 17 種類のジェスチャ認識ができ，これらの動作はロボット内にあらかじめ保存されている．

ジェスチャ入力中にはインタフェース上にユーザの入力状態が表示される（図 3）．これによりユーザは自身の指示しているジェスチャの大まかな状態把握が可能である．



図 3 視覚的なフィードバック
Fig. 3 Visual feedback.

4. 公開デモンストレーション

実装したシステムをコンピュータとインタラクションに関する国際会議である SIGGRAPH ASIA 2009 の技術展示部門で一般観客へのデモンストレーションを行った。本展示用にサッカー競技を実現する環境を構築した。期間中には 300 人を超える観客が本システムを体験した。本章では、展示における観察と体験者から得られた報告のまとめを行う。

4.1 デモンストレーション環境の構築

図 4 に SIGGRAPH ASIA 2009 において構築した環境を示す。2.4 [m] × 1.8 [m] のフィールドを作り、両端に小型サッカーゴールを配置した。また、その中に直径が 20 [cm] のソフトボール 4 個を配置した。操作インタフェースとなる iPod touch とロボットを 2 台ずつ用意し、同時に操作体験ができるように設置した。また前方のスクリーンには、本研究の概要を示した映像を上映した。

4.2 観察と考察

総じて体験者は大きな問題なく、また学習時間を必要とせずロボットに対して動作指示を行っていた。基本動作に加えて拡張機能についても柔軟に使い分けることができていた。前進動作の入力は、基本的に習熟する速度が早く、1 度教示を行えばほとんどの体験者が動作を指示することができた。しかし、少数の体験者は慣れるまで時間を要していた。彼らの観察から、1) 指を置く → なぞる → 離すという一連の動作が困難、2) なぞる長さが十分でない、3) 入力スピードが遅い、4) 爪が邪魔をしている（主に女性）などといった問題が確認された。並進移動、ジャンプは多くのユーザが大きな問題なく入力できているようであった。キック動作の入力は、固定している指が入力中に動いてしまい、システムのジェスチャ認識が困難な状況が多く確認された。旋回動作についても多くの体験者は教示後に問題なく

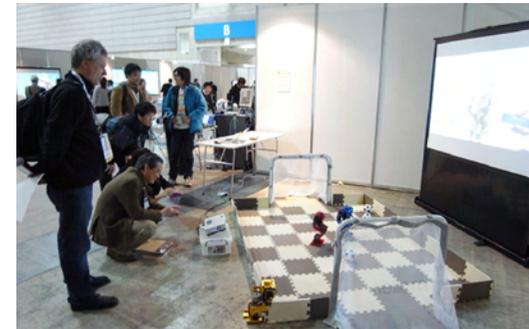


図 4 SIGGRAPH ASIA 2009 における技術展示の様子
Fig. 4 Technical demonstration at SIGGRAPH ASIA 2009.

入力できていたが、教示前の体験者は 1 本指で旋回させたい方向に円を描くように入力する手法や、2 本の指を同時に着け、旋回させたい方向にねじるように入力する手法を試みる様子が確認された。これらの体験者が教示前に行った操作手法は、彼らにとってそれが直感的な方法であり、積極的に本システムに取り入れていくべきである。

心的回転に適応できない体験者が確認された。ここでいう心的回転とは、ロボットの進行方向がユーザ自身を向いている場合、ユーザから見たロボットの回転動作が反転してしまう現象である。ゲームやラジコンなどの操作に慣れ親しんでいないユーザにとっては、この心的回転が大きな障害となり、操作の困難さにつながっているように見えた。具体的にはロボットが自分の操作方向に対して、真逆方向に位置したときに、意図した方向への操作と真逆のジェスチャを行ってしまうという様子が確認された。

5. まとめと今後の課題

本稿では、人の歩行動作を模した指のジェスチャによる二足歩行ロボットへの動作指示手法を提案した。我々は人が手を用いて、人の歩行動作を表現する際に行うジェスチャに注目し、これを小型のマルチタッチインタフェース上で再現することで二足歩行ロボットの歩行などの操作入力を開発した。具体的には、指の動きから動作の種類を抽出し、あらかじめロボット制作者によって組み込まれている動作を再生するという方式を採用することで、単純かつロバストなシステムを実現した。本手法の実装例として二足歩行ロボットによるサッカーアプリケーションを開発し、公開展示を行った。これらの観察結果から、本インタ

フェースに初めて触ったユーザであっても歩行や、高度なキック・ジャンプといった操作について直感的に指示することが可能であることが確認された。

本稿で提案した手法はサッカーに限らず幅広く二足歩行ロボットを用いたエンタテインメントに使用できる。たとえば、音楽に合わせたリアルタイムダンス再生や障害物競走などを考えている。今後は本稿で提案した手法をこれらの用途へ応用し、より多くの人々へロボットを用いたエンタテインメント体験を提供できるよう開発を進めていく予定である。

参 考 文 献

- 1) ROBO-ONE. <http://www.robo-one.com/>
- 2) 舘 暉, 荒井裕彦: テレグジスタンスにおける視覚情報提示系の設計と評価, 日本ロボット学会誌, Vol.7, No.4, pp.314-326 (1989.8).
- 3) 小泉直也, 清水紀芳, 杉本麻樹, 新居英明, 稲見昌彦: ハンドパペット型ロボティックユーザインタフェースの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.2, pp.265-274 (2006).
- 4) Zhao, S., Nakamura, K., Ishii, K. and Igarashi, T.: Magic Cards: A Paper Tag Interface for Implicit Robot Control, *Proc. CHI'09*, ACM, pp.173-182 (2009).
- 5) Sakamoto, D., Honda, K., Inami, M. and Igarashi, T.: Sketch and Run: A Stroke-based Interface for Home Robots, *Proc. CHI'09*, ACM, pp.197-200 (2009).
- 6) Yonezawa, T., Suzuki, N., Mase, K. and Kogure, K.: HandySinger: Expressive Singing Voice Morphing using Personified Handpuppet Interface, *Proc. NIME'05*, pp.121-126 (2005).
- 7) Nagao, Y., Yamaguchi, H., Harada, K., Omura, K. and Inakage, M.: Whadget: Interactive animation using personification gesture expression of hand, *Proc. SIGGRAPH'08 Posters*, Los Angeles, California (Aug. 2008).
- 8) HABA World Championship Soccer Rug. <http://www.blueberryforest.com/hiba-rugs/hiba-world-championship-soccer-rug.htm>
- 9) Wii. <http://www.nintendo.co.jp/wii/>

(平成 22 年 6 月 28 日受付)

(平成 22 年 10 月 4 日採録)



杉浦 裕太

2010 年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修士課程修了。同年同大学院博士課程進学。2008 年 8 月から科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト研究補助員。ロボットのためのユーザインタフェースに関する研究に従事。情報処理振興事業協会 (IPA) よりスーパークリエイタに認定される。ヒューマンインタフェース学会, 日本バーチャルリアリティ学会, ACM 各会員。



寛 豪太

2009 年慶應義塾大学工学部情報工学科退学。同年同大学院メディアデザイン研究科入学。2009 年 11 月から科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト研究補助員。やわらかいデバイスを用いたユーザインタフェースに関する研究に従事。



坂本 大介 (正会員)

2008 年公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科博士 (後期) 課程修了。博士 (システム情報科学)。東京大学にて日本学術振興会特別研究員 PD を経て, 現在, (独) 科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト研究員。ACM/IEEE HRI 2007 Best Paper Award, 情報処理学会論文賞, Laval Virtual 2010 Grand Prix du Jury 等受賞多数。人とロボットを含む情報環境とのインタラクションデザインに関する研究に従事。



アヌーシャ ウィタナ

2010 年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修士課程修了。同年同大学院博士課程進学。2009 年 7 月から科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト研究補助員。ハプティックインタフェースやヒューマンロボットコラボレーション, 実世界指向インタフェースに関する研究に従事。ACM 会員。



稲見 昌彦 (正会員)

1999年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士(工学)。東京大学助手, 科学技術振興機構さきがけ研究者, MIT コンピュータ科学・人工知能研究所客員科学者, 電気通信大学教授等を経て, 2008年4月より慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科教授。科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクトグループリーダー, 日本バーチャルリアリティ学会理事等を務める。IEEE Virtual Reality Best Paper Award, 文化庁メディア芸術祭優秀賞, 情報処理学会論文賞等各賞受賞。



五十嵐健夫 (正会員)

科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト総括。東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻准教授。2000年東京大学大学院においてユーザインタフェースに関する研究により博士号(工学)取得。2002年3月に東京大学大学院情報理工学系研究科講師就任, 2005年8月より同助教授。IBM 科学賞, 学術振興会賞, ACM SIGGRAPH Significant New Researcher Award, Karayanagi Prize in Computer Science 等受賞。ユーザインタフェース, 特に, インタラクティブコンピュータグラフィクスに関する研究に取り組んでいる。