

ダンシング Roomba～踊る掃除制御～

中村彰宏[†] 大林千尋[†] 柴田智広[†]

我々は、自動掃除機TMRoombaとのダンスを通じて部屋を掃除する社交ダンスシステムを提案する。本システムは、実時間で深度情報を得られるマイクロソフト社のTMKinectとオープンソースライブラリOpenNIを用いて人間の動作を認識し、それに応じてRoombaの動作を制御する。制御に必要なRoombaの位置・姿勢はARToolkitのマーカを用いて計測する。動作として社交ダンスを採用することで、Roombaでの掃除にエンターテインメント性を付加する。社交ダンスの振付は、パートナーとの位置関係と男性の動作で示されるリードによって決定されるため、ユーザーがリードに関する知識を持つことで、Roombaをパートナーとしたダンスによる掃除が可能となる。本稿では、まずシステム構成及びダンス認識による掃除制御アルゴリズムを述べ、次に予備的な実験結果によりシステムの有効性を示す。

Dancing Roomba

AKIHIRO NAKAMURA[†] CHIHIRO OBAYASHI[†]
TOMOHIRO SHIBATA[†]

This paper proposes a novel and entertaining room cleaning system usingTMRoomba. In this system, a Roomba is controlled by its user through a ballroom dance, Rumba. The user's motion is captured by Microsoft'sTMKinect, analyzed by OpenNI, and recognized as a dance partner's motion which leads the Roomba's motion, as a lady's motion. The position and the posture of the Roomba is measured by ARToolkit using a marker attached on the Roomba. This paper first presents the system overview, and then describes the algorithms for dance recognition and Roomba control. We demonstrate the feasibility of the proposed system with a preliminary result, and finally perspectives on this study are mentioned

[†]奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

1. はじめに

これまで、料理や洗濯などの様々な家事をロボットに代行させるための研究が行われてきた [1] [2]. 特に掃除についての自動化は既に実用段階にあり、iRobot社から自動掃除ロボット Roomba が販売され、2011年3月時点で累計400万台を超える販売数を上げている [3]. しかし、Roombaによる掃除は掃除範囲の記憶などを行わないランダムな軌道であるため、部屋の構造によっては掃き残しや家具の足への引っかかりといった問題が起こりうる. そのような問題に対応するため、Roombaを遠隔操作できるリモコンが製品に付属しているが、リモコンによる操作はその場での旋回か直進しかなく操作性に乏しい. また、掃き残しを見つけるたびにリモコンを探してRoombaを操作するのは、非効率的かつ面倒である. そこで我々は、Microsoft社から家庭用ゲーム機向けに販売されているモーションコントローラーKinect [4]を用いて、単純な指差しによりRoombaを操作するシステムを開発した [5]. このシステムでは、Kinectによって取得される人間の位置・姿勢と、ARToolkit [6]のマーカによって取得されるRoombaの位置・姿勢を用いてRoombaを制御し、Roombaの操作のためにコントローラーを探す煩わしさを解消している. さらに、今回このKinectによるRoombaの動作制御を発展させ、単なる指差しではなく社交ダンスによるRoombaの制御を実装し、Roombaによる掃除にエンターテインメント性を付加するとともに、より多様な軌道でのRoombaの制御を実現した.

本稿では開発した社交ダンスシステムにおける、Kinectでの人間の動作認識、Roombaの制御、実際のアプリケーションの動作について説明する.

2. システムの概要

システムの概要図を図1に示す. 本システムは、社交ダンスをベースとしたステップを用いてRoombaを制御し、Roombaとのダンスを通じて任意の場所の掃除を行う.

社交ダンスは、元々不特定の相手・音楽に合わせて即興で踊ることが想定されているため、男性が腕や体重移動で示すリードに女性が追従する形式となっている [7][8]. そのため、Roombaを女性役とすることで、ユーザーのリードによってRoombaに任意の動作を指示可能であることから、本システムのベースとした. また、社交ダンスにはさまざまなスタイルがあるが、今回はよりユーザーが馴染みやすいと思われる、比較的ゆっくりとした4拍子のスタイル、ルンバ (Rumba) をRoombaの名にちなんで用いた.

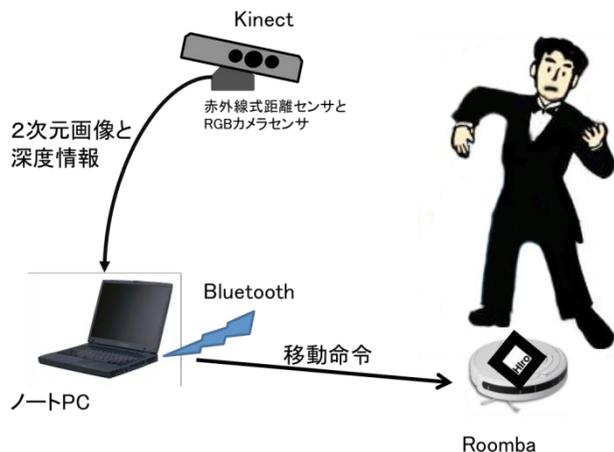


図 1 システム概要図

2.1 ダンス認識

Rumba の流れは基本的にはパートナーとの位置関係(ポジション) を、4~12 拍程度の振り (フィガー) で切り替えていくという形式に記述できる。Rumba は 4 拍子のダンスであり、1 拍目には体重移動のみを行い、2 拍目からステップを踏み出すことが知られている。そこで、本システムではあらかじめダンスのリズムを入力しておき、1 拍目におけるユーザーの姿勢からポジションを認識、2 拍目までのリード動作によって次に続くフィガーを認識し、Roomba の動作を決定する。一度フィガーを認識したら、4~12 拍分の動作を Roomba が完了するまでは、ユーザーの動作によるフィガーの種類の変更は行われない。4~12 拍後の Roomba の動作完了後、改めてポジションとリードの認識を行い、次のフィガーへと移っていく。

本システムで実装したポジションは、パートナーとの距離が近いクローズフェージングポジション(CFP)・パートナーと腕の長さ程度離れたオープンフェージングポジション(OFP)・パートナーと約 90 度の角度で広がるファンポジション(FAN) の 3 種類。フィガーは①ベーシックムーブメント、②ファン、③オープン・ヒップ・ツイスト、④ニューヨーク、⑤スポットターン、⑥ホッキースティック、⑦アレマーナの 7 種類である。それぞれのポジションとフィガーによる遷移を図 2 に示す。

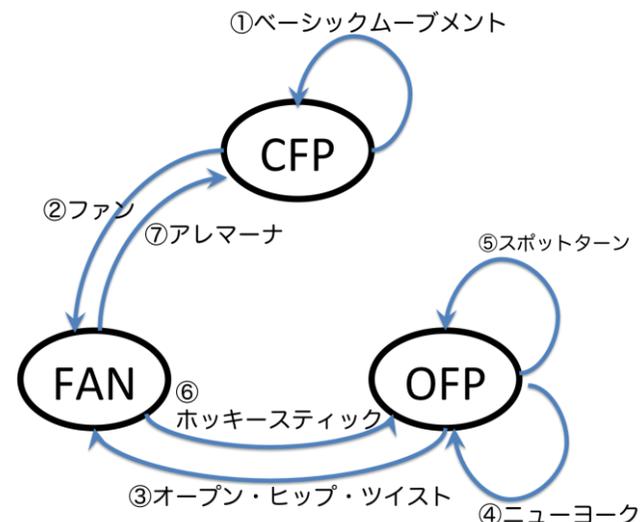


図 2 ポジションのフィガーによる遷移図

2.1.1 ポジション

ポジションの認識は、ユーザーの両腕の姿勢によって行われる。人間のパートナーに対する姿勢を想定して、左腕が手をつなぐように上に曲がり、右手が腰に回るように曲がっていれば CFP。左手が上に曲がり、右手が横に伸びていれば OFP。左手が左側に広がっていれば FAN と認識され、ポジションの認識に合わせて Roomba が位置と姿勢を調節する。両腕の姿勢は、Kinect によって取得された手首・肘・肩の関節位置と、手首・肘ベクトルと肘・肩ベクトルから算出される内積の値により判定される。

2.1.2 フィガー

本節では実装されているフィガーと、各フィガーの動作及びリードを解説する。リードは 4 拍子のうち 1 拍目で判定されたポジションに基づいて 2 拍目までの動作から判別され、続くフィガーを通じて次のポジションへ移行する。フィガーによるポジションの移行と、次の 1 拍目で認識されたポジションが一致しない場合、1 拍目で認識されたポジションを次のポジションとする。

・CFP からのフィガー

CFP からのフィガーはベーシックムーブメントとファンの 2 種類が実装されてい

る。いずれも 8 拍からなるフィガーではあるが、前半 4 拍の動作が共通であるため、実際の動作では 5 拍目から 6 拍目での左腕のリードによってフィガーを決定する。

① ベーシックステップ

パートナーと共に直線で前後するフィガー。特にリードを行わなかった場合、こちらが認識される。次のポジションは CFP。実際の CFP 認識姿勢でのベーシックムーブメントを図 3 に示す。



図 3 CFP 認識姿勢でのベーシックムーブメント

② ファン

ベーシックステップと同じ動きで男性（ユーザー）が前進・女性（Roomba）が後退した後、女性が男性の左側へ広がるフィガー、5 拍目から 6 拍目で左腕を外側に開くリードを行うとこちらのフィガーになる。次のポジションは FAN。

・ OFP からのフィガー

OFP からのフィガーは、オープン・ヒップ・ツイスト、ニューヨーク、スポットターンの 3 種類が実装されている。1 拍目から 2 拍目で左へ向くリードをするとスポットターン、右へ向くリードをするとニューヨーク、特にリードがなければオープン・ヒップ・ツイストと認識される。ユーザーの向きは両肩の関節位置を元に判定される。

③ オープン・ヒップ・ツイスト

8 拍からなるフィガー。前半の 4 拍で女性が男性の前に右へ 1/4 回転しながら踏み込み、残り 4 拍で左回転で切り返して男性の左側へ開くフィガー。次のポジションは FAN。

④ ニューヨーク

12 拍からなるフィガー、4 拍ごとに男性から見て右・左・右とお互いに背を向け合うように踏み出す。次のポジションは OFP。

⑤ スポットターン

4 拍からなるフィガー。男性側からみて左に一歩踏み出して左回転する。次のポジションは OFP。

・ FAN からのフィガー

FAN からのフィガーはホッキースティックとアレマーナの 2 種類が実装されている。CFP からのフィガーと同様、いずれも 8 拍で前半 4 拍が共通であるため、リードの判定は 5 拍目から 6 拍目。左腕のリードでフィガーを決定する。

⑥ ホッキースティック

前半の 4 拍は、男性の左側で女性が前後。後半男性の右側まで直進した後、左回転して向き直るフィガー。5 拍目から 6 拍目で左腕で内側に引くリードをすることこのフィガーになる。次のポジションは OFP。

⑦ アレマーナ

前半はホッキースティックと同様。後半は男性の左側で腕の下をくぐるように右回転し、正面まで回りこむフィガー。特にリードがなければこちらのフィガー。次のポジションは CFP。

2.2 Kinect によるモーションキャプチャ及び Roomba 認識

Kinect は Microsoft 社によるゲーム機向けモーションコントローラーであり、オープンソースライブラリ OpenNI [9]によってモーションキャプチャが行える。また、RGB カメラも備えているため、ARToolkit を用いたマーカ認識・AR 表示を行うことも可能である。本システム中では、OpenNI でユーザーの動作を、ARToolkit で Roomba の位置・姿勢を取得した。

2.2.1 ワールド座標系の定義と Roomba の位置・姿勢認識

Kinect と ARToolkit それぞれの座標系を統合するワールド座標系の定義と、Roomba の位置・姿勢の認識は、Roomba 上に貼りつけた ARToolkit マーカーによって行われる。ARToolkit によって取得されるマーカー座標からカメラ座標への 3×4 の変換行列を用いて、アプリケーション起動後一番初めに取得されたマーカー座標系をワールド座標系と定義。以降は取得される変換行列のうち、並進成分を取り出して Roomba の位置、本システム中では Roomba が床の水平移動以外をすることは無いので、垂直軸回りの回転成分を Roomba の姿勢としている。

2.3 Roomba の制御

Roomba には iRobot Roomba Open Interface (ROI) [10]と呼ばれるシリアルポートから Roomba の操作を可能とするインターフェースが用意されている。今回のシステムでは、Bluetooth から ROI を介して Roomba を遠隔操作する FriskRoomba [11]というデバイスを用いた。

2.3.1 動作の設定

Roomba の動作は、ユーザーのリードから決定されたフィガーごとに設定される。基本的には、人間の Rumba のステップは 1, 3 拍目で体重移動, 2, 4 拍目で踏み出しという形式であるため, Roomba でのステップの再現は 1, 3 拍目で旋回, 2, 4 拍

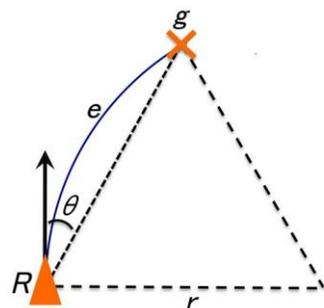


図 4 目標位置までの Roomba の軌道設定

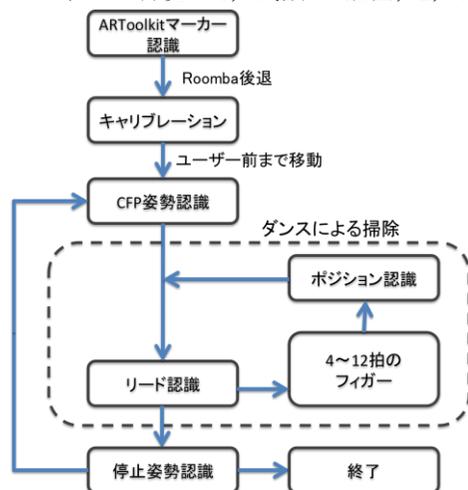


図 5 システム動作概要図

目で目標位置への移動とした。目標位置は、1 拍ごとにユーザーの関節位置を基準に設定した。

2.3.2 曲線での目標位置への到達

ROI による Roomba の動作は前進あるいは後退の速度と、回転半径の設定によって記述される。設定された目標位置へ滞りなく近づけるため、特に直線での移動が必要とされる場面以外は図 4 に示すような、Roomba の位置と目標位置を通り、Roomba の向きが接線となる円の円周上を移動するように、回転半径を設定する。このときの回転半径 r は

$$r = \frac{\|R - g\|}{2 \sin \theta}$$

という式で求められる。ここで R は Roomba の位置ベクトル、 g は目標地点の位置ベクトル、 θ は Roomba の前方方向と目標位置のなす角である。ワールド座標系は 3 次元だが、Roomba の動作範囲は床面のみであるため、Roomba の位置・姿勢及び目標位置の垂直成分はすべて 0 として扱っている。この設定により、Roomba は現在位置と目標位置を接点に持つ円の円周上を移動することになる。Roomba の移動速度

v は、回転半径から算出される目標地点までの軌道の長さ e を用いて

$$v = K_p e + K_d \frac{de}{dt}$$

によって PD 制御を行った。パラメータの値は実験的に人間の動作に充分追従できる値を探し、 $K_p=1, K_d=0.1$ として設定した。

3. システムの動作

本章では、開発したシステムを実際に使用した際の動作について解説する。動作の流れを図 5 に示す。

3.1 ARToolkit マーカーの認識

まず、ワールド座標系を定義するため、Roomba 上に貼りつけた ARToolkit マーカーを Kinect に認識させる必要がある。アプリケーションを起動する際に、Kinect カメラ範囲内に Roomba を置いておき、ARToolkit マーカーを認識させる。認識が成功すると、Roomba が 50cm 程後退して認識の完了を示す。

3.2 ユーザーのキャリブレーション

次に Kinect にユーザーを認識させるため、ユーザーのキャリブレーションを行う。Kinect のカメラに映るよう Psi pose と呼ばれる手を左右に広げて肘から先を上に向けるキャリブレーションポーズを取る。キャリブレーションが成功すると、実行画面にユーザーの骨格が表示され、Roomba がユーザーの位置を追うようにその場で旋回し始める。

3.3 初期ポジションへの導入

続いて、Roomba に対して手を差し出すとユーザーの前まで移動する。この状態で、後述の CFP の認識姿勢をとると Roomba があらかじめ設定されたリズムで拍子を取り始める。初期設定では 4 拍をカウントした後ダンスを開始する。

3.4 ダンス終了

両腕を降ろすと Roomba が停止し、キャリブレーション完了後のユーザーの方向を追う状態に戻る。さらに一礼すると自動で充電器を探して充電に向かう DOCK モードへと移行し、アプリケーションが終了する。

4. 実験

本システムが、Roomba とのダンスを通じての掃除が可能であることを確認するため、予備的な実験として、上記のフィガーとリードを覚えたユーザーによる操作で、特定の場所に置かれたゴミの清掃が可能であるか検証した。実際の動作における Roomba とユーザーの軌道を図 6 に示す。図中 (75,-30) (180,-80) に緑線で示し

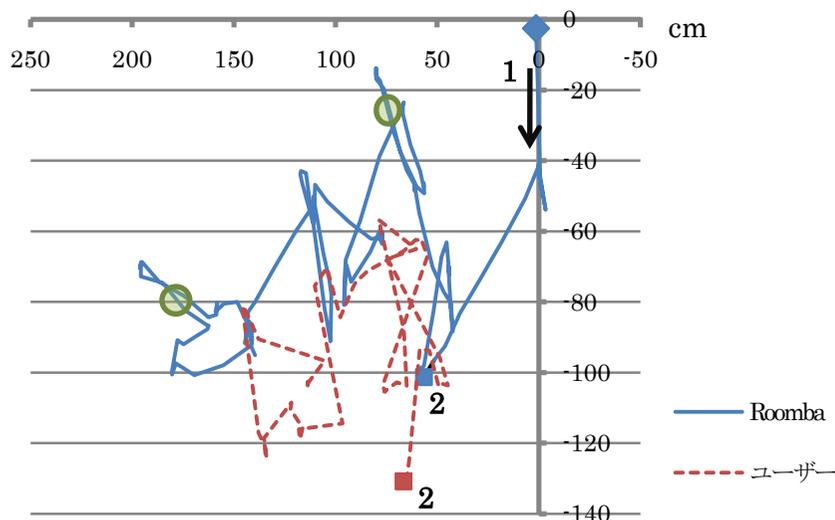


図 6 Roomba とのダンス軌道

た円の中心を掃除したい目標点として、ユーザーに Roomba を通過させるタスクを行わせた。リズム設定は 1 分間に 60 拍とした。ARToolkit から 30fps で得られるワールド座標系での Roomba の軌道を 10 フレーム (約 333 ms) ごとに平均したものを実線、OpenNI から得られたユーザーの一拍ごとの腰の軌道を点線で示している。ARToolkit によって取得されたワールド座標系を基準としているため、Roomba の初期位置が原点となっている。まず、ARToolkit を認識した時点で Roomba が後退し、ユーザーのキャリブレーションを待つ (図 4 中矢印 1)。ユーザーのキャリブレーション完了後、ユーザーの前まで Roomba が移動 (図 4 中四角 2) した後、CFP からダンス動作が開始され、ユーザーの誘導により目標点付近にユーザーが踏むこむことなく Roomba による目標点通過が達成されていることがわかる。

また、このタスク中の一拍ごとの Roomba とユーザーの距離を図 7 に示す。この図から、実験は 50 秒程度で完了したことがわかる。

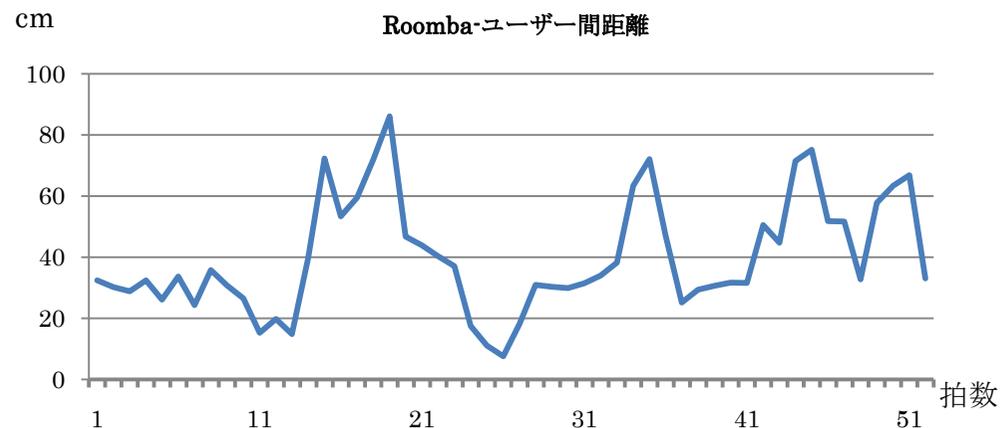


図 7 Roomba とユーザーの距離

また、Roomba とユーザーの距離が最も遠い時でも 90cm 程度であることから、ダンス中は Roomba は常にユーザーの手の届く範囲内に追従できていたことも見て取れる。但し、これらの結果は単一の実験によるものであるため、今後より詳細な検証が必要である。

5. まとめと課題

今回、Kinect と ARToolkit を用いて自動掃除機 Roomba との社交ダンスシステムを開発し、エンターテインメント性を持つ掃除制御を実現した。リードの判定から Roomba の動作が決定される本システムでは、フィガールのリードが正確でないと、Roomba との動作にズレが生じて思うように Roomba を制御できない。そこで、プロのダンサーによるリードを基準として精密な認識・制御システムを実装することで、社交ダンス練習システムとしての応用も考えられる。

軌道への追従性や掃除機としての性能について複数の被験者を用いた定量的な評価は今後の課題である。

参考文献

- 1) J. Maitin-Shepard, M. et al.: Cloth Grasp Point Detection based on Multiple-View Geometric Cues with Application to Robotic Towel Folding. Proc. ICRA 2010, pp. 2308-2315 (2010).
- 2) Sugiura Y. et al.: Cooking with Robots: Designing a Household System Working in Open Environments, Proc. CHI2010, ACM Press, pp. 2427-2430 (2010).
- 3) iRobot: 自動掃除機 ルンバ, <http://irobot-jp.com>
- 4) Kinect, <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>
- 5) Preemptive Attention Control of Roomba by using Kinect, <http://www.youtube.com/watch?v=IyLqI7htsIY>
- 6) ARToolKit. www.hitl.washington.edu/artoolkit/
- 7) 日本放送協会 編: 始めよう社交ダンス(NHK 趣味悠々), 2008年1-3月, 日本放送出版協会(2008)
- 8) Wikipedia 社交ダンス, <http://ja.wikipedia.org/wiki/社交ダンス>
- 9) OpenNI <http://www.openni.org/>
- 10) iRobot Roomba Open Interface Specification [http://media.wiley.com/product_ancillary/17/04700727/DOWNLOAD/iRobot Roomba Open Interface Specification.pdf](http://media.wiley.com/product_ancillary/17/04700727/DOWNLOAD/iRobot%20Roomba%20Open%20Interface%20Specification.pdf)
- 11) Oriental Robotics FriskRoomba サポートページ, <http://orientalrobotics.blogspot.com/p/friskroomba.html>