

# 環境情報を理解してサービス提供を行うロボットの実現

佐竹聡<sup>†</sup> 神田崇行<sup>†</sup> Dylan F. Glas<sup>†</sup> 塩見昌裕<sup>†</sup> 石黒浩<sup>†</sup> 萩田紀博<sup>†</sup>

公共空間にいる対話ロボットにおいて、対話可能な人間を発見し、その人が潜在的必要としているサービスを見積もることは重要である。本論文で紹介するロボットは、(1)人間の軌跡を蓄積しクラスタリングすることで「いつ」「どこ」で「どんな行動」が頻繁に行われるかという場所と行動の知識を自動的に取得し、(2)取得した知識に基づいて人間の行動を予測し、(3)予測された場所と行動から対話相手を選択し、(4)予測された対話場所から提供するサービスを決定する。実際に道案内と客引きサービスを行えるロボットを実装し、ショッピングモールでフィールド実験を行った。フィールド実験の結果、環境情報を理解してサービスを提供するロボットの情報を聞いて貰えるようになった。

## The guide robot that provide information efficiently by understanding environment from accumulated trajectories

SATORU SATAKE<sup>†</sup> TAKAYUKI KANDA<sup>†</sup> DYLAN F. GLAS<sup>†</sup>

MASAHIRO SHIOMI<sup>†</sup> HIROSHI ISHIGURO<sup>†</sup> NORIHIRO HAGITA<sup>†</sup>

This paper reports about the development of a robot that operates in a public place to serve for ordinary people. For such a robot, it is important to find a person who potentially needs some services. Our approach is to enable the robot to understand the environment by (1) abstracting information from tens of thousands of accumulated trajectories, (2) predicting people behaviors from the abstracted information, (3) selecting a person who have a potential needs, and (4) selecting a service from place-based context. We implemented an invitation service and recommendation service, and run a field trial in a shopping mall. The result demonstrates that the understanding of the environment helps the robot to provide information for more people than the robot without having such abstracted information about environment.

### 1. はじめに

対話ロボットの研究が進み、従来、研究室の中で研究されていた段階から、実世界で一般の人々と対話する段階へと移行しはじめた[3,4,5,6,8,9]。こうした対話ロボットに期待されている役割の一つは、道案内や店舗紹介といった様々な情報提供サービスの実行である。

ロボットが移動能力を持つ場合、潜在的にサービスが必要としているユーザーに対して積極的なサービス提供が期待できる。例として、ショッピングモールで道に迷っているお年寄りをロボットが発見して、道案内をする場合が挙げられる。ロボットからお年寄りに近づき声を掛けることで、ロボットの提供できるサービスをお年寄りが知らない場合やロボットへ尋ねることをためらっている場合にも情報を提供可能となる。しかし、提供可能なサービスが複数ある公共空間では2つの問題が挙げられる。(1)公共空間には複数の人間が存在するためロボットは「誰」に対してサービスを

提供するかを決定しなければならない。(2)それぞれの人間ごとに潜在的に必要としているサービスが異なるため、ロボットは「どのサービス」を提供するのかを決定しなければならない。

位置情報に基づき、ユーザーのコンテキストを推定し、最適な情報提供を行うことは従来から研究が進められてきた[10,11,12,13]。また環境情報の理解に向けて、歩行軌跡の獲得やその解析についても研究が行われている[14,15,16,17]。しかし、サービスを提供する前にロボットは対話相手に向けて移動しなければならないため、提供するサービスを決定してから実際にサービスを提供するまでに時間差が存在する。例えば、地図を見ている人間に対して道案内サービスを提供するためにロボットが近づいたとしても、(1)ロボットが近づいている間に人間が地図の前から立ち去ってしまう、や(2)ロボットが到着する時には地図を見ることに集中しておりロボットの存在に気付かない、といった失敗が発生してしまう。つまり人間の行動を予測し、対話相手やサービスを決定する必要がある。しかし場所と行動に関する知識なしに予測を行うことは困難で

<sup>†</sup> (株) 国際電気通信基礎技術研究所知能ロボティクス研究所  
ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories

ある。

我々は、ショッピングモール環境を訪れた 26863 人の軌跡を蓄積してクラスタリングを行った。クラスタリングの結果、その環境における人の行動が分類される。例えばウィンドウショッピングをしている人はどこで立ち止まることが多く、次にどこへ動く頻度が高いのかという場所と空間における知識が取得できる。蓄積された軌跡情報から、場所と空間における情報を要約しロボットに利用することを、本稿では「環境情報の理解」と呼ぶ。

ロボットは環境情報を要約して得られた情報に基づいて「誰に」、「どのサービス」を提供するかを決定する。つまり人間が向かう場所とその時の行動を予測して、最も対話が行いやすい人間とサービスのペアを決定する。自動的に取得した環境情報からロボットに提供させるサービスを決定することは、これまでに行われてこなかった試みである。

## 2. 環境, ハードウェア, タスク

我々の研究は自然に発生するヒューマンロボットインタラクシオンに焦点を当てているため、実環境における現実的なシナリオが必要となる。我々は、ショッピングモールを環境として選び、ロボットはショッピングモールに関する情報を提示する。具体的には、お店に対する推薦情報を提示することによる客引きや、ショッピングモールの道案内を行う。

### 2.1 ショッピングモール環境

ロボットは、有名なアミューズメントパークであるユニバーサルスタジオジャパンと駅の間にあるショッピングモールに配置された。ショッピングモールの主な客層は、若い人のグループやカップル、そして子供連れの家族である。ロボットは廊下の 20m の部分を移動している。その廊下の片側には洋服屋やアクセサリショップが存在し、反対側はオープンバルコニーとなっている。

### 2.2 ハードウェア

#### 2.2.1 ロボット

我々は、人間と似た形状を持つコミュニケーションロボット Robovie を使用した。Robovie は、高さ 120cm、直径 40cm の大きさを持ち、WiFi 通信といった計算リソースを持つ。Robovie の移動プラットフォームは Pioneer3DX である。我々はその移動速度を前進方向 600 mm/sec(約 2.0km/h)および、回転速度を 60 degree/sec に設定した。Pioneer3DX の設定ではもっと高速な移動(1600 mm/sec 以上)も可能であるが、安全のため低い速度を設定している。また転倒を防ぐため、

Robovie が後退移動することを禁止した。

#### 2.2.2 センサ

人々にアプローチをするためには、ロボットの位置と人々と自身の位置をロボストに認識するシステムが必要である。我々は環境にセンサを埋め込み、人々やロボットの位置をトラックする方法を取る。6 個の SICK LMS-200 レーザーレンジファインダが追跡を必要とする範囲に設定してある。個々のレーザーレンジファインダは最大 80m の距離を誤差 1cm で計測可能であり、26ms ごとに 180° の計測範囲から 0.5° 間隔でデータを取得している。

ロボットと人間の検出および追跡は、Glas ら[1]のアルゴリズムに基づいている。このアルゴリズムではパーティクルフィルタにより人の位置や速度が検出され、形状を解析することで人の向いている方向が検出される。本システムは 20 m x 5 m の範囲をカバーし、同時に 20 人以上の人間の位置を検出可能である。

#### 2.3 タスク

ロボットは、モールの廊下に配置されており、訪問客に対して 2 種類のサービスを提供する。1 つ目のサービスは道案内である。ロボットは、訪問客に対してアプローチし、「こんにちは、どんなお店をお探ですか?」と問いかけを行う。訪問客が行きたい場所をロボットに尋ねた場合、ロボットは発話と指差しで質問された場所を答える。

2 つ目のサービスは客引きである。ロボットは、訪問客に対して、「こんにちは、お買い物ですか?」と問いかけを行う。訪問客がロボットの質問に「はい」と答えた後、「ここのお店はいい商品が揃っていますので是非寄って行ってくださいね」と客引きを行う。

サービスが終了した場合(ロボットの質問に「いいえ」と答えた場合も含む)、ショッピングモールのお勧め情報を訪問客に対して開始する。ロボットは、お勧め情報としてショッピングモールのお店に関する 24 個の推薦情報を持つ。

訪問客がロボットと対話を行うか否かというのは自由であり、対話を始めた場合に途中でやめることももちろん自由である。安全のために我々のスタッフが離れた場所からロボットを見守っていたが、訪問客からは離れた位置で見守り、ロボットのアプローチ行動を助けたり訪問客に働きかけたりといった影響を与えないように配慮した。

## 3. 移動軌跡の蓄積に基づく環境情報の理解

我々は、蓄積した 26863 人の軌跡情報に対して文献[7]の手法を適用し、空間のどの場所でどんな行動が

起こりやすいかという場所と空間に関する知識を得、システムに「環境情報を理解」させる。本節はこの技術を簡単に紹介する。

環境情報は、歩くや止まるという人々の基本的な動きを表す局所的行動プリミティブ、空間上の動きを分類し、人間の場所や行動の予測に用いる大域的行動プリミティブから構成される。

### 3.1 局所的行動プリミティブ

局所的行動プリミティブは2秒間の人の軌跡を、4つのクラスに分類した (fast-walk, idle-walk, wandering, stop) ものである。我々は SVM(Support Vector Machine)を用いて軌跡の分類を行った。この分類は、各軌跡の形状と速度の特徴量に基づいて行った。



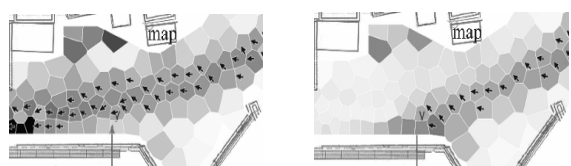
(a) fast-walk (b) idle-walk (c)wandering (d)stop

図1 4種類の局所的行動プリミティブ

### 3.2 大域的行動プリミティブ

ショッピングモールにおいて、多くの人々は、例えば目的地に向かっていたりウィンドウショッピングを行っているといった、比較的単純な意図に基づいて行動していると考えられる。したがって、似た意図に基づいた人々の移動軌跡や速度はお互いに類似する。例えば、急いでいる人は、最短距離を早い速度で移動する一方で、ウィンドウショッピングを行う人は店舗の横をゆっくりとした速度で移動する。

類似した人々の軌跡を分類するため、集めた軌跡に対して DP マッチングに基づくクラスタリングを行った。結果として我々は 500 のクラスタを得ることができ、そのうちいくつかは忙しい人間のパターンを示した(図 2(a))。またいくつかは、ウィンドウショッピングのパターンを示した(図 2(b))。図 2 において色の濃い箇所は、そのクラスタに分類された軌跡が頻繁に通過する場所を示す。また色の薄い箇所は、そのクラスタに分類された軌跡が通る頻度の低い場所を示す。なお、図 2 では横幅として 20m の範囲を掲載した。



(a) 急いでいる人 (b) ウィンドウショッピング

図2 大域的行動プリミティブの例

### 3.3 大域的行動プリミティブによる行動予測

それぞれのクラスタに分類された軌跡を集めることで、そのクラスタに属する軌跡を示す人間の将来における位置と行動を予測可能となる。あるクラスタに分類された軌跡から、我々はグリッドごとにおける局所的行動プリミティブの出現確率を求めた。各確率は、そのクラスタに分類された人間が現れてから任意の時間ごとに計算され、予測マップ (expectation map) に記録・管理される。したがって、そのクラスタに属する人間の将来位置および行動は予測マップに記載された確率として予測される。

ある人間の予測位置は、位置の期待値として求められる。「人間のトラッキング」から人間の軌跡が検出された場合、観測された軌跡と最も近い5つのクラスタを決定し、各クラスタの予測マップをマージすることで、将来の位置に関する確率分布を計算する。図 3 はある人間の予測マップを様々な時刻で記録したものである。太線で描かれた丸がスペースを歩く人間の位置を示している。予期された軌道は、廊下を左下から右上へと移動するものであり、図 3 においては人間が予測通りの軌跡を通ったことがわかる。

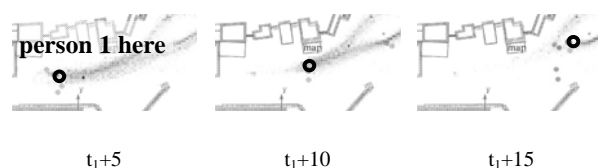


図3 大域的行動プリミティブによる行動予測

## 4. アプローチビヘイビアのモデル化

サービスを提供する前にロボットは対話相手に近づく必要がある。本稿ではロボットが対話相手に近く行動である「アプローチビヘイビア」を、(1) 対話相手の選択、(2) 対話相手に対してアプローチを行う、(3) 近い距離で対話を開始する、という3つの行動シーケンスとして定義する。

まず、本稿で使用するモデルに至る前に、我々はシンプルなアプローチビヘイビアを実装した。シンプルなビヘイビアの動作は、(1) ロボットは最も近くにいる人間を対話相手に選択する、(2) 対話相手に対する最短距離をパスとして選択する、(3) 社会的距離(3 m)に入ったとき対話相手に挨拶を行う、という3ステップからなる。残念ながらシンプルなアプローチビヘイビアはしばしば対話の開始に失敗した。本節では、それらの失敗から我々が得た知見と、知見に基づき適切なアプローチビヘイビアを効果的に実現するため我々が導入したモデルを紹介する。

表1 失敗の分類

カテゴリ	発生したこと
unreachable	- ロボットが人間に近づけない
unaware	- 人間がロボットを見ていない - 人間がロボットの話聞いてない
unsure	- 人間がロボットに気付き、手を翳すといった反応をしめす。しかしロボットが何のレスポンスを返さないため、立ち去る
rejected	- 人間はロボットの存在と、ロボットからの挨拶に気付いているが、対話を開始しない。

#### 4.1 失敗から得られた知見

多くの人々がロボットを無視し、通り過ぎていった。それらの失敗は、シンプルなアプローチビヘイビアの問題を反映している。我々はシンプルなアプローチビヘイビアに何が不足しているのか、失敗を分析し、4つのカテゴリ(unreachable, unaware, unsure, そして、rejected)に分類した(表 1)。以後個々のカテゴリを説明し、どうすれば失敗を避けられるかについて議論する。

##### Unreachable

一つ目のカテゴリである unreachable は、ロボットが対話相手に対して十分に近づけなかった場合である。この失敗は、(a)ロボットが人間よりも遅いこと、(b)ロボットが離れていく人間を対話相手に選択すること、の2つを原因として発生する。

##### Unaware



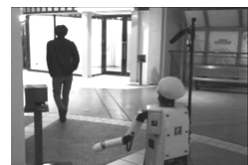
(a) 地図を見ている人に近づく



(b) ロボットは発話を開始



(c) ロボットとは別の方向を向く



(d) ロボットを一瞥もせず立ち去る

図4 “Unaware” : 地図を見ている人へのアプローチ

ロボットの存在に気付かない場合、ロボットが発話していても、ロボットは対話相手として認識されない。図4はそのような一例である。この状況では、ロボ

ットが話しかけている間、壁にかけられた地図を男性が見続けているが(図 4(b))、男性は全くロボットの発話を聞いておらず(図 4(c))、ついにはロボットを一度も見ること無く去ってしまう(図 4(d))。彼がこのような行動をとった理由として、(1) 周囲が騒がしかったためロボットの発話を聞いていなかった、(2) ロボットの発話を聞いてはいたが、彼に向けられているものだと認識されなかった、(3) ただ単純にロボットを無視した、の3つが考えられる。

図5は、2人の女性が一緒に歩いている(図 5(a))時に発生した別の例を示している。ロボットは、その内一名に対してアプローチを開始し、彼女の視界に入った(図 5(b))。続いてロボットが社会的距離に入ったとき、ロボットは彼女の右側にいた(図 5(c))。しかし彼女がロボットでなく店舗を見ていたため、彼女は何事も無かったかのように歩き、ロボットは無視されてしまった。



(a) ロボットが左側の女性にアプローチ



(b) ロボットが女性の視界にはいったが、注意を払われない



(c) ロボットが女性の右側から入ったが、女性は全くロボットを見ていない



(d) 女性は立ち去る

図5 “Unaware” : 話しながら歩いている人へのアプローチ

Unaware に分類される失敗を避けるためには、自分自身の存在を相手に知らせるようアプローチの機能を高める必要がある。

##### Unsure

我々は別のタイプの失敗に対して unsure というラベルをつけた。時おりロボットの存在を人間が気付いているにも関わらず、対話の開始に失敗することがあった。彼らは、ロボットの動きを観察し、ロボットの発話を認識していた。しかしながら、ロボットの意図が彼ら自身に向いているかの確信が持てず、立ち去ってしまった。特に幾人かの人々は、挨拶を聞いた後にロボットの反応を見る行動を行っていた。しかしそのような行動に対して準備がなされていたため、ロボットは適切な反応を返すことに失敗してしまった。

結果、ロボットは対話の開始に失敗し、対話相手は立ち去ってしまった。



(a) ロボットが女性に対してアプローチ (b) ロボットが挨拶し始めたとき、女性が立ち止まる



(c) 女性はロボットの反応を観察 (d) ロボットがすぐに反応を返せなかったため、立ち去る

図6 “Unsure”：ロボットが自信に話していることに確信が持てない女性の場合

図6にこのような失敗の一例を掲載する。女性と男性が環境に現れ(図6(a))、ロボットは女性に近づいて挨拶を行った。彼女は歩くことをやめ、手をロボットの顔にかざしてロボットの反応をみた(図6(c))。しかし、ロボットが何の反応も返さなかったため、数秒後に彼女は立ち去ってしまった。

この失敗を避けるには、ロボットは、対話相手との間で相互理解を構築する必要がある。加えて対話意図を人間に対して伝達するためには、対話相手の動きに素早く反応させる(例えば、人間のほうに顔を向ける、ロボットの身体方向を人間にむける)必要がある。

### Rejected

幾人かは、恐らく忙しかったため、ロボットとの対話自体に興味を示さなかった。そのような人々は、ロボットの存在と対話意図に気付いたにも関わらず、ロボットを一瞥しただけでロボットを避けて通り抜け、ロボットの対話を拒絶した。我々はこの失敗をrejectedと呼ぶ。このような人々に対処する手段は、単にアプローチを行わないことである。

### 4.2 モデル化

シンプルなアプローチビヘイビアの失敗から得られた知見に基づいて、我々はより効果的で適切なアプローチビヘイビアに関するモデルを開発した(表2)。モデルは3つのフェーズから構成される。

表2 アプローチビヘイビアのモデル

フェーズ	ロボットの行動	対象となる失敗
対話相手の決定	対話する可能性が高い人間を選択	Unreachable Rejected
公共距離でのインタラクション	サービスを行う場所へ先回りし、ロボットの存在を知らせる	Unaware
社会距離における対話のイニシヤライズ	対話の意図をノンバーバルに知らせる	Unsure

### 対話相手の決定

最初のフェーズは対話相手の決定である。まずロボットは、人々がどのように歩くのかを予測する。予測を用いて、だれがどこに向かっているのか、およびその場所にはロボットの移動能力で到達できるかを判断する。人間の向かっている目的地を予測することで、ロボットはどのサービスを行うかを同時に決定できる。

加えて訪問客ごとに、ロボットとインタラクションの意図がありそうかを見積もる。意図の見積もりは非常に困難であるため、本稿では、忙しい人々はロボットと対話する意図は少ないと判断し、アプローチの対象から除外する方針をとる。

### 公共距離でのインタラクション

次のフェーズは公共距離でのインタラクションである。このフェーズでは、対話相手が向かっている目的地へロボットが先回りし、対話相手の方向にロボットの顔の方向およびに身体の向きを向けることで、公共距離においてロボットの存在を対話相手に知らせる。

### 社会的距離における対話のイニシヤライズ

最後のフェーズは、社会的距離における対話のイニシヤライズである。このフェーズでは「こんにちは」と発話し対話を開始することが目的であるが、単純ではない。人々は時おりロボットの発話に気付かない、またロボットの発話が自身に向けられていることを認識できない。したがって、ノンバーバルな行動を通してロボットからの対話の意図を伝える必要がある。本稿では、対話相手がコースを変えたとき、ロボットは素早く対話相手の方向を向くことで、ロボットの対話意図を明確に伝える戦略をとる。

## 5. 実装

我々はサービス決定までを4つの関数で実現した。(1)まず、2.2.2節で説明した人間のトラッキング、(2)3.2節で説明した人間の行動予測、(3)対話相手および

び提供サービスの決定, そして(4) 対話のイニシャライズ, の4関数である. これらの関数はこの順番で実行される.

5.1 対話相手および提供サービスの決定

図7に対話相手および提供サービス決定の概要を示す. ロボットは, まず対話相手の軌跡を予測し, 続いてターニングポイントを決定する. ここでターニングポイントは, その点にロボットが到着した後, ロボットの移動プラットフォームを回転させ身体方向を対話相手へ向ける点である. 図7では, 3つのアプローチパスが描かれている. ロボットは, まず首のモータを動かし対話相手に視線を向けながらターニングポイントに向かい, ターニングポイントで対話相手の到着を待ち受ける. 対話相手が社会的距離まで近づいた時に5.2節に記述する対話のイニシャライズを行う. なお図7に記載されたサービスポイントは, 各サービス(道案内や客引き)の基準となる点である. 道案内サービスの場合, 地図の前にサービスポイントがあると定義した.

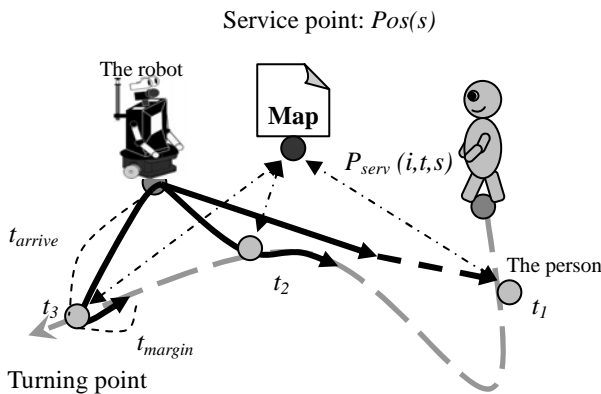


図7 対話相手およびサービスの決定

表3 対話相手およびサービスの決定アルゴリズム

1.	For each person $i$ , for each $t$ ( $t_0 < t < t_0+20$ ), for each $s$ calculate $P_{approach}(i,t,s) = P_{ack}(i,t) \cdot P_{front}(i,t) \cdot P_{serve}(i,t,s) \cdot Uncertainty(t)$
2.	Find $i', t', s'$ which satisfy $P_{approach}(i',t',s') = \max(P_{approach}(i,t,s))$
3.	Select $i'$ and $s'$ , Approach to $Pos(i',t')$

システムは最も適切な対話相手および提供サービスを決定するために表3に記載されたアルゴリズムを実行する. 表3において  $i$  は人間の ID を示し,  $t_0$  は現在の時刻を,  $t$  は未来の時刻を示し,  $s$  はサービスの種類(道案内か客引き)を示す.  $Pos(i,t)$  は人間  $i$  にお

る時刻  $t$  の予測位置を 5.1 節の方法で決定した結果を示す.  $P_{approach}(i,t,s)$  は見積もられたアプローチの成功率を示し,  $P_{ack}(i,t)$ ,  $P_{front}(i,t)$ ,  $P_{serve}(i,t,s)$ , そして  $Uncertainty(t)$  の4つ(図8)から計算される. それぞれの確率の計算方法は以下の通りである.

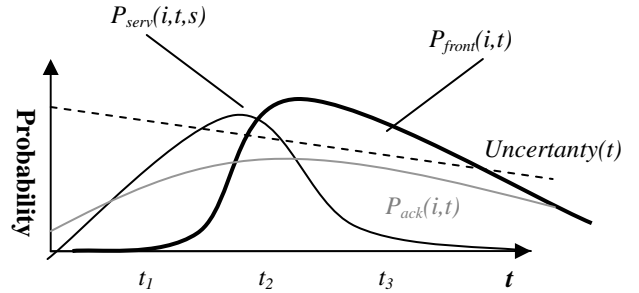


図8 図7上に描かれた人間の確率関数

$P_{ack}(i,t)$

これは, 対話相手が対話を開始するかどうかを示す確率である. 正確にこの確率を見積もることは困難であるため, 我々は 4.2 で示した方法で行う. つまり, 将来におけるビヘイビアが *fasty-walk* である人間よりも *idle-walk* となる人間を選択する. すなわち, 現在から  $t$  秒後のちに  $Pos(i,t)$  で人間  $i$  が *idle-walk* となる確率を  $P_{ack}(i,t)$  とする.

$P_{front}(i,t)$

これは, ロボットが対話相手に対して前方からアプローチできる確率を意味する. 前方からアプローチするためには, ロボットは対話相手を通る軌跡上に移動すれば良い. 移動後に, 対話相手の方を向く時間も考慮して, ロボットの変更可能なタイムマージンの大きさも考慮した. 結果として, 以下の計算式に基づいて計算することにした.

1. ロボットが  $Pos(i,t)$  に到着する時刻  $t_{arrive}$  を計算
2.  $t_{margin} = t - t_{arrive}$ . If  $t_{margin} < 0$ ,  $P_{front}(i,t)=0$
3.  $P_{front}(i,t) = t_{margin} / threshold$ .  
If  $t_{margin} > threshold$ ,  $P_{front}(i,t)=1$

公共距離におけるロボットの存在を知らせるには高い  $P_{front}(i,t)$  を選ぶ必要がある. 図7において時刻  $t_1$  までにロボットは  $Pos(i,t_1)$  に到着できない. したがって  $P_{front}(i,t_1)$  は 0 となる. また  $t_2$  における  $t_{margin}$  が  $t_3$  よりも多い(図7)ため, 図8では  $P_{front}(i,t_2) > P_{front}(i,t_3)$  となる.

$P_{serve}(i,t,s)$

これは, ロボットがサービス  $s$  を提供できる確率を示す. 本稿で扱う各サービスは場所に依存しているため, 各サービスを行う基準点  $Pos(s)$  と  $Pos(i,t)$  の距離

から  $P_{serv}(i, t, s)$  が計算される.  $Pos(s)$  に近いほどユーザがそのサービスを要求する可能性が高い.

### Uncertainty(t)

ロボットがアプローチパスを計算する上で対話相手の軌跡を予測する必要があるが, 対話相手の数秒後の軌跡の予測には不確かさが存在する. もしシステムが遠い未来の位置に従ってアプローチプランを立てた場合, 予測位置に生じるエラーは大きくなる. したがって  $Uncertainty(t)$  を導入することでこのエラーに制約を加えている.  $Uncertainty(t)$  は大きな  $t$  ほど大きくなる.

### 5.2 対話のイニシャライズ

対話のイニシャライズの目的は, ロボットの対話開始に関する意図をノンバーバルに提示することである. この関数は, 社会的距離内で行われた対話相手の行動に基づきロボットの行動を決定する.

表 4 にこの関数の戦略を掲載する. この関数では, 対話相手の行動を 4 つのカテゴリ (approaching, stopping, avoiding, そして leaving) に分類する. もし対話相手がコースを変更してロボットを避けた場合, その行動は avoiding に分類され, 対話の意図を示すためにロボットは身体の方角を素早く対話相手の方向へと向ける. もし対話相手が立ち止まった場合, ロボットは対話を開始する. 対話相手がロボットから離れていった場合, ロボットは対話の開始をあきらめる.

表4 対話のイニシャライズでの戦略

人間の行動	ロボットの行動
approaching	アプローチ
stopping	対話開始
avoiding	インタラクションの意図を強く提示
leaving	対話開始を諦める

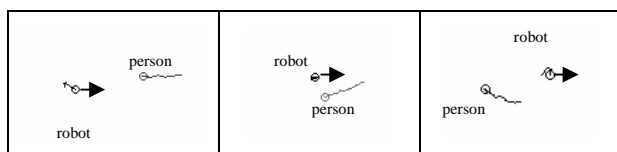


図9 対話のイニシャライズで使用する軌跡の分類

本関数では, 対話相手の軌跡をロボット中心の座標系に変換し, その後 SVM を適用した. SVM は, 変換した対話相手の軌跡 1 秒分のデータを分類する (図 9). この分類には, 軌跡の形状, 速度, そして方向といった特徴量が使用された. 45 の軌跡データを学習に使用した結果, その認識率は leave-one-one 法によれば

88.9%を示した.

## 6. フィールド実験

我々は, 環境情報を理解してサービス提供を行うロボットの効果を評価するためショッピングモールでのフィールド実験<sup>1</sup>を行った. ロボットのタスクは, 訪問客に近づき, 道案内や客引きを行うことである. 環境やタスク内容の詳細は 2 章で説明した内容と同一である.

### 6.1 実験方法

我々は, シンプルなサービス提供を行うロボットと提案したサービス提供を行うロボットを比較することで, 効果を評価する. シンプルなサービス提供を行うロボットは, 4 節で説明したシンプルなアプローチビヘイビアで近づきランダムに提供するサービスを決定する. 提案するサービス提供を行うロボットは, 5 章で説明したテクニックを全て実装したロボットである.

比較に当たって, それぞれのロボットごとに 20 分の長さのセッションを 2 回行った. 「シンプルなサービス提供ロボット」と「提案するサービス提供ロボット」の両条件はカウンターバランスをとるようセッションに組み込まれた. 全体として, 各々のロボットごとに計 40 分の試行が行われ, ほぼ同数のアプローチビヘイビアが実行された.

### 6.2 実験結果: 成功率の向上

図 10 に比較した結果を掲載する. フィールドトライアルにおいて, ロボットがアプローチを行った人間が立ち止まり, 2.3 節でのべたお勧め情報を最後まで聞いていた場合に, 対話が成功したと定義した.

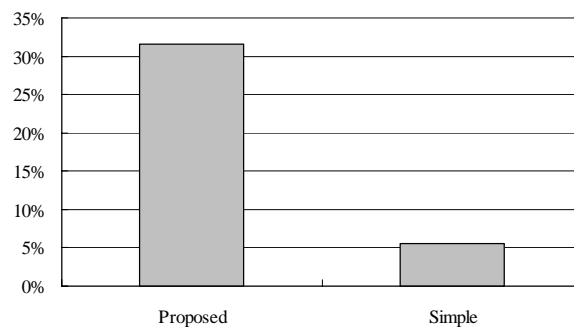


図10 フィールド実験の結果

<sup>1</sup>本実験にあたり, 記録したデータを研究目的にのみ使用するという条件でショッピングモールの管理局から許可を頂いた. また実験プロセスは ATR の倫理審査委員の承認を経て行った.

提案手法では 19 回のうち 6 回の対話が成功した。一方、シンプルなサービス提供では 18 回中 1 回しか成功しなかった。カイ二乗検定により、条件間の有意差を得た( $\chi^2(1) = 4.081, p < .05$ )。また残差分析を行ったところ、提案手法において成功した対話は多く( $p < .05$ )、失敗した対話は少ない( $p < .05$ )ことが分かった。したがって実験結果から、提案手法により情報を聞いてもらえるようになったと言える。

## 7. 結論

本稿は、公共空間にいる対話ロボットが「どの人間」に対して近づき「どのサービス」を提供すれば良いかを判定し、サービスを提供するロボットを作成した。我々のロボットは、26863 人の移動軌跡を要約した情報に基づいて対話相手と提供サービスを決定した。つまり、要約された環境情報から人の行動や位置を予測し、最も対話を行える可能性が高い人間に近づき、最も対話が行える可能性が高いサービスを提供した。

本稿では、道案内サービスと客引きサービスを提供可能なロボットを実装し、フィールド実験を行った。フィールド実験の結果は、環境情報を理解するロボットの有効性を示した。環境情報を理解してサービス提供を行うロボットでは 19 回中 6 回の対話が推薦情報まで聞いて貰えたのに対して、環境情報を使用しないロボットでは 18 回中 1 回の対話しか推薦情報まで聞いて貰えなかった。以上より環境情報を理解して対話対象およびサービスの決定に用いることでロボットの情報を聞いて貰えるようになったといえる。

**謝辞** 本研究に参加して頂き、様々なご支援をして頂いた住商アーバン開発株式会社の管理スタッフの皆様、に厚く感謝を申し上げます。また本研究にご協力頂いた ATR 知能ロボティクス研究所の秋本氏、宮下氏、胡桃沢氏に厚く感謝申し上げます。なお、本研究は、総務省の研究委託により実施したものです。

## 参考文献

- 1) D. Glas et al.: "Laser Tracking of Human Body Motion Using Adaptive Shape Modeling", Proc. of Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS2007), pp. 602-608, 2007.
- 2) E. T. Hall: The Hidden Dimension. 1966.
- 3) F. Tanaka et al.: "Socialization between toddlers and robots at an early childhood education center", Proc. of the National Academy of Sciences of the USA, 104(46), pp. 17954-17958, 2007.
- 4) K. Wada, T. Shibata, T. Saito, and K. Tanie: "Analysis of Factors that Bring Mental Effects to Elderly People in Robot Assisted Activity", Proc. of

- IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2002.
- 5) R. Gockley et al.: "Designing robots for long-term social interaction", Proc. of Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS2006), pp. 1338-1343, 2006.
- 6) R. Siegwart et al.: "Robox at expo.02: A Large Scale Installation of Personal Robots", Robotics and Autonomous Systems, 42(3), pp. 203-222, 2003.
- 7) T. Kanda, D. F. Glas, M. Shiomi, H. Ishiguro, and N. Hagita: "Who will be the customer?: A social robot that anticipates people's behavior from their trajectories", Proc. of Int. Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2008), 2008.
- 8) T. Kanda et al.: "Interactive Robots as Social Partners and Peer Tutors for Children: A Field Trial", Human Computer Interaction, 19(1-2), pp. 61-84, 2004.
- 9) W. Burgard et al.: "The interactive museum tour-guide robot", Proc. of National Conf. on Artificial Intelligence, pp. 11-18, 1998.
- 10) Tarumi, H., Morishita, K., Nakao, M., and Kambayashi, Y.: SpaceTag: An Overlaid Virtual System and its Application, Proc. International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS'99), IEEE, Vol.1, pp. 207-212 (1999)
- 11) 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇, "PlaceEngine:実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤", インターネットコンファレンス 2006, pp.95-104, 2006.
- 12) 位置に基づくインタラクティブ情報支援のための無電源小型情報端末, 西村拓一, 伊藤日出男, 中村 嘉志, 山本 吉伸, 中島 秀之, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2659-2669, (2003.11)
- 13) F. Sparacino, The Museum Wearable, Proc. of Museums and the Web (MW2002), 2002.
- 14) 中村克行, 邵 肖偉, 趙 卉菁, 柴崎亮介, レーザスキャナを用いた歩容解析に基づく非定常歩行の認識, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), vol.127, no.4, pp.537-545, Apr. 2007.
- 15) 豊島伊知郎, 服部可奈子, 板倉豊和, 榎原孝明, 馬場賢二, 折原良平, クラスタリング結果を用いた外れ値検出による, 歩行軌跡データからの行動識別手法, 情報処理学会研究会報告 CVIM 研究会, 2007-CVIM-158
- 16) 脇田玲, 梅島真樹, 川喜田佑介, RFID Activity Score:HF 帯及び UHF 帯の RFID を用いたユーザアクティビティの可視化システム, 情報処理学会エンタテイメントコンピューティング第 1 回研究会, 2005.
- 17) 小磯貴史, 服部可奈子, 吉田琢史, 今崎直樹, 歩行者動線分析システムを用いた大型家電量販店での行動分析, 情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会 研究会報告, 2003-UBI-2, pp.61-66, 2003.