

NAIST-IS-MT1551017

修士論文

公共空間におけるロボットのための サービス提供順序に関する社会常識モデリング

魚谷 果那

2018 年 2 月 1 日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報科学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士（工学）授与の要件として提出した修士論文である。

魚谷 果那

審査委員：

萩田 紀博 教授 （主指導教員）

加藤 博一 教授 （副指導教官）

神原 誠之 准教授 （副指導教官）

公共空間におけるロボットのための サービス提供順序に関する社会常識モデリング*

魚谷 果那

内容梗概

公共空間において様々なサービスを提供するインタラクションロボットのニーズが高まる中，具体的なサービスを想定したサービスロボットの開発が行われている．サービスロボットが公共空間において適切な振る舞いを行うには，一般的に人が持つ知識である社会常識に基づいて動作設計することが重要であるが，ロボットサービスのために社会常識をモデル化した例は少ない．本研究では，フ라이어配布などのサービスを提供した際に発生する，順序が明確でないサービス提供順序における社会常識をモデル化し，サービス提供を待つ人々が適切な順番でサービスを受けることができるロボットの振る舞いを実現する．社会常識が満たされたサービス提供順序における人々の挙動を解析することで順序形成過程のモデル化し、これを基にサービス利用者にとって不満の発生しない順番でロボットがサービスを提供することが可能な順序決定モデルを提案する．順序決定モデルに基づきサービス提供を行うロボットと既存のチラシ配布モデルを使用したロボットの動作を第三者視点から主観評価を用いて比較する．「チラシ配りが上手だ」，「社会常識に則って行動している」，「顧客と上手くコミュニケーションをとっている」，「顧客に公平な対応をしている」の各項目において，提案モデルを使用したロボットは既存モデルを使用したロボットより好印象であることを明らかにし，提案するモデルの妥当性を示す．

キーワード

社会常識モデル，ロボット，公共空間

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報科学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT1551017, 2018 年 2 月 1 日.

Social Common Sense Modeling on Service Provision Order for a Robot in Public Space*

Kana Uotani

Abstract

This paper proposes a method modeling one of social common senses, service provision order to be assigned customers fairly and appropriately when a robot provides the service such as handling-out flyers in public spaces.

Previous Human-Robot Interaction(HRI) services in public spaces have not considered the social common sense. First, the experiments on service provision orders using humans are shown the adequateness of the service provision order determined by the geometric relationship between the customers to be assigned the orders, and the provider. The deterministic method of the order are proposed from the analysis. Next, the experiment using HRI shows that the robot with the proposed model can hand out flyers to customers in an appropriate order. Comparative studies on subjective evaluation from a third party perspective between the previous method without the common sense and the proposed model are made. These experiments shows that the robot service using the proposed model is better impressed than that using previous method. The results show the effectiveness of the proposed model reflecting the social common sense.

Keywords:

Social service robot, common sense modeling, public space

*Master's Thesis, Department of Information Science, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT1551017, February 1, 2018.

目次

図目次		v
第 1 章	序論	1
1.1	背景	1
1.1.1	公共空間におけるサービス提供順序の社会常識：人間の場合	1
1.1.2	公共空間におけるサービス提供社会常識：ロボットの場合 .	1
1.2	本論文の構成	2
第 2 章	公共空間におけるサービスロボットに関する関連研究	4
2.1	公共空間におけるロボットのための取り組み	4
2.1.1	様々な場所に適応するロボット	4
2.1.2	公共空間でロボットを使用するための環境構築に関する研究	4
2.2	人のような動作ができるロボットに関する研究	4
2.3	Shi らのチャシ配りロボット	5
第 3 章	サービス提供順序における社会常識のモデル化	6
3.1	モデル作成のための位置計測実験	6
3.1.1	モデル作成のための位置計測実験方法	6
3.1.2	モデル作成のための位置計測実験結果	9
3.2	順序決定モデルの作成	11
3.3	順序決定モデルを用いた順位の生成と順位変動への対応	13
第 4 章	順序決定システムの実装	14
4.1	ハードウェア構成	14
4.2	提案システム概要	14
4.3	提案システムのプランナー	16
4.3.1	ユーティリティの計算：既存モデル	17
4.3.2	ユーティリティの計算：提案モデル	17
4.3.3	順番抜かしへの対応	20
4.4	動作確認	22

第 5 章	提案モデルの検証	26
5.1	仮説	26
5.2	ビデオ評価実験方法	28
5.3	動画に関して	29
5.4	インタビューでの評価について	31
5.5	評価実験結果	32
5.5.1	予測の検証	32
5.5.2	実験結果まとめ	36
第 6 章	社会常識を考慮した順序決定モデルへの考察	37
6.1	実験結果への考察	37
6.2	知見の応用可能性	38
6.3	知見の一般性	38
第 7 章	結論	39
	謝辞	40
	参考文献	41
	発表リスト	44

図目次

1.1	Shi らチラシ配布ロボットサービス実験のキャプチャ	2
1.2	チラシ配りサービスを行うロボット	3
3.1	距離における優先度	6
3.2	角度における優先度	7
3.3	位置計測実験場所	7
3.4	予備実験	8
3.5	1 ターム結果 1 回目～6 回目	10
3.6	1 ターム結果 7 回目～9 回目	11
3.7	実験で得た全ての人の位置と想像順位結果	12
4.1	Robovie-II 外観	15
4.2	提案システム概要	15
4.3	提案システムのプランナー概要	16
4.4	既存モデルのユーティリティ 到達ポイント例	18
4.5	タイムウィンドウの更新ポイント	18
4.6	提案モデル ユーティリティ算出の流れ	19
4.7	<i>Sd_base</i> の更新ポイント	22
4.8	順番抜き出し検出例	23
4.9	動作確認実験場所	24
4.10	順番抜き出し例	24
4.11	順番抜き出し検出例	25
5.1	トラッキングエリア	30
5.2	トラッキングの様子	30
5.3	コンテンツ A 群より抜粋（既存モデル：順番抜き出し発生例	31
5.4	コンテンツ B 群より抜粋（提案モデル：順番抜き出し抑制例	31
5.5	ビデオ評価実験アンケート結果比較	32

第 1 章 序論

1.1 背景

1.1.1 公共空間におけるサービス提供順序の社会常識：人間の場合

公共空間において社会常識が必要となるサービスの一つに，サービスを待つ人が単数または複数発生した際の対応が挙げられる．特に，順序が容易に判断できる明確な列が形成がされる場合ではなく，列形成を行わない場合への対応はその処理が複雑となる．例えば，号外の配布のような，多方向から人々が接近することで人々が扇状に広がる場合，サービスを行うべき人の順序を認識することは困難である．しかし，そのような場合においても，ある程度の順序決定がサービス提供側の人々の社会常識によって行われている．各個人がサービス待機状態になったそれぞれの順番や，周囲の人々の位置関係を考慮し，人々は自らの順番を認識している．サービス提供者が人である場合は，暗黙的に発生する人々の順序を認識し，社会常識に基づいて，不満が生まれない順番でサービスを提供することが可能である．

1.1.2 公共空間におけるサービス提供社会常識：ロボットの場合

公共空間において様々なサービスを提供するインタラクティブロボットが注目されており [2]-[12][24]，呼びかけやチャシ配り [1] などの具体的なサービスを想定したサービスロボットの開発が行われている．さらに，ロボットが人と接する際に人間を模すような動きをさせるための研究 [14]-[18] も進められている．将来的に人と多くの関わりを持つサービスロボットは人と同じように一般的に人が持つ社会常識に基づいて振る舞うことが要求される．

しかしこれまで，1.1.1 項にて述べた明確な列が形成されない状態における順序を認識するような社会常識が明らかになっていないため，サービスロボットで人と同様のサービス実現することは困難である．実際に，Brscic らのチャシ配りサービスロボット実験の動画 [13] では，図 1.1 に示すように，ロボットを見るために人々はロボットの正面を中心に扇状にロボットの周りに人だかりを作る．

社会常識を持たないロボットが順序づけてサービス提供を行う際、図 1.2(a) に示

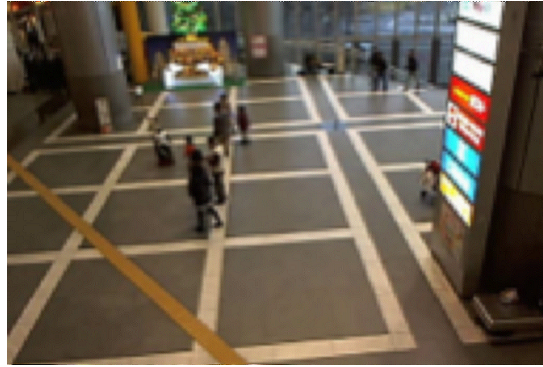


図 1.1: Shi らチラシ配布ロボットサービス実験のキャプチャ

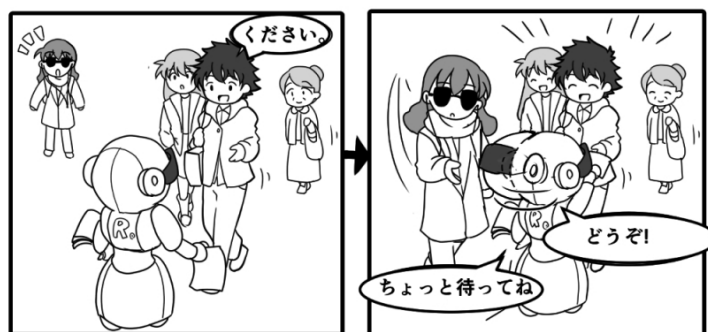
すように、順番抜かしをした人へ先にサービス提供する等、社会常識から大きく外れた行動をとってしまう可能性がある。本研究では、明確な列が形成されていない待ち状態に対して、人々によって暗黙的に認識されている順序（社会常識）でサービス提供するロボットを実現するために、人々の順序形成過程のモデル化手法を提案する。ここで得た知見を基に図 1.2(b) のように、ロボットがサービス提供を待っている状態のサービス利用者に不満の発生しない順番でサービス提供するための順序決定モデルを作成する。

1.2 本論文の構成

本論文は 6 つの章で構成されている。第 1 章では、本研究の背景である公共空間における社会常識、特にサービス提供順序の大枠について述べた。第 2 章では、サービスロボットに関する既存研究について述べる。第 3 章では、順序形成過程のモデル化手法について述べる。第 4 章では、順序決定システムの実装と、動作確認実験について述べる。第 5 章では、提案モデルを使ったシステムの検証実験と評価実験、実験結果を述べる。第 6 章では、結果の考察と結果から得られた知見について述べ、第 7 章は総括と今後の展望について述べる。



(a) 社会常識のないロボット



(b) 社会常識のあるロボット

図 1.2: チラシ配りサービスを行うロボット

第 2 章 公共空間におけるサービスロボットに関する関連研究

2.1 公共空間におけるロボットのための取り組み

公共空間におけるサービスロボットを実現するための多くの取り組みが行われている。

2.1.1 様々な場所に適応するロボット

様々な公共空間で活躍できるロボットが研究開発されている。たとえば、店舗用の消費者支援ロボット [2] や、ツアーガイドロボット [3]，博物館のガイドロボット [4]-[6]，都市 [7]，街路 [8]，オフィス [9]，病院 [10]，老人ホーム [11]，ショッピングモール [12] 等がある。タスクには店舗内の案内や，情報提供，経路説明，お客さんとのコミュニケーション等が与えられている。

2.1.2 公共空間でロボットを使用するための環境構築に関する研究

ロボットが安全に人とインタラクションしながら移動するための環境構築 [21][22] や，レーザレンジファインダを用いた環境の認識 [26][27] がなされている。さらに，Kanda らは，人がどういった行動をとっているかを識別し，廊下と店の前の領域を抽出した [25]。以上のように，公共空間でロボットが人と接するための環境について多くの成果がある。

2.2 人のような動作ができるロボットに関する研究

ロボットが人と同じように人へサービス提供をする際に，人間を模した動作が必要となる。特に，ロボットと人が手渡しのような細やかな動作を相互で行うことがサービス提供の場では予想される。Kajikawa らは，人とロボットのものの受け渡しのアルゴリズムを提案した [14]。Shibata らも，ものの受け渡しについて調査・観察した [15]。Agah らは，人間の予想外の動きにも対応できるような受け渡し技

術を提案した [16]. Cakmak らは, 人とロボットの流暢なものの受け渡しを提案した [18].

そしてコミュニケーションに関して, ロボットが公共空間でサービスを提供しているのならば, ロボットは店員と同レベルのコミュニケーション能力が要求される. ジェスチャ [28] や視線 [19], [20] をあわせることは, コミュニケーションにおいて重要度の高い動作である.

2.3 Shi らのチラシ配りロボット

Shi らは, 「配布する」というタスクに着目し, サービスロボットののための手渡しモデル [1] を提案した. この研究では, 現実世界において人々が行う様々なチラシの手渡し方法を分析して評価し, よりチラシを受け取ってもらいやすいロボットの動作モデルを作成した. このモデルは具体的に人の速度ベクトルから予測した N 秒後の人位置と, ロボットから人への到達時間を用いて実現された. この手法によって現実世界でチラシ配りが上手な人と同程度の 73.3% の成功率でロボットがチラシを配ることができている. しかし問題点としてこの研究で提案されたモデルでは, 配布順序をロボットが考慮せずにチラシの配布を行うことが挙げられる. したがって, 人々に暗黙的な順序決定が発生した場合, 社会常識を考慮したサービス提供が困難である.

本研究では上述したチラシ配りロボットの行動を社会常識に基づいて制御することで, サービス利用者の待ち状態が発生した際, 社会常識に基づいてサービス提供が行えるモデルの作成を目的とする.

第3章 サービス提供順序における社会常識のモデル化

本研究ではサービス利用者の待ち状態中，個人個人で暗黙的に認識されている順序を測定し，ロボットがその認識をある程度満たす順序でサービス提供できるように社会常識のモデル化を行う．現実世界において，社会常識の一つと考えられる暗黙的な順序決定に基づく待ち状態の人々の位置変化と各々が認識している順位を実験により収集し，各時刻における順序決定過程および，時系列における順位変化過程をモデル化する．

3.1 モデル作成のための位置計測実験

一般的に，図 3.1 に示すように，サービス提供者から近ければ近いほどサービス提供側からの優先度は高くなり，すなわち順位も高くなる．図 3.2 に示すように，サービス提供者の正面であればあるほどサービス提供側からの優先度が高くなり，順位も高くなる．以上のことから，扇状に人だかりを作り，サービスロボットからの距離と角度の関係性を明らかにできるような位置計測実験をデザインする．

3.1.1 モデル作成のための位置計測実験方法

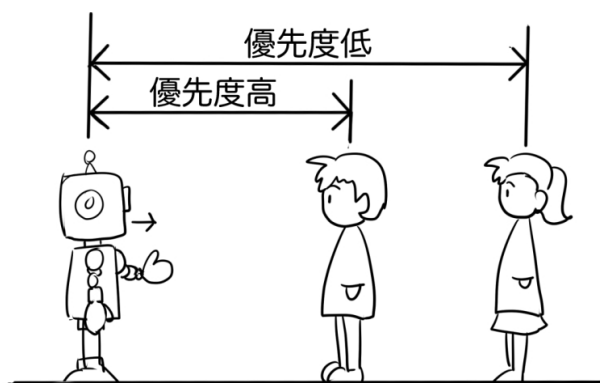


図 3.1: 距離における優先度

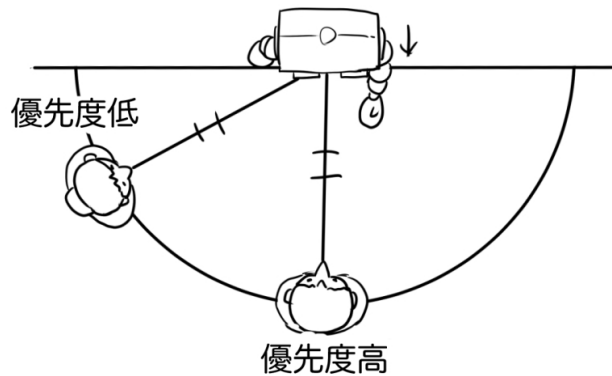


図 3.2: 角度における優先度

人々の暗黙的な順序決定をモデル化したものを，順序決定モデルと呼ぶ．本モデルにより，待ち状態の人々のサービス提供の順番を決定する．順序決定をモデル化するため，10 名の被験者に扇状の待ち行列を形成させるために実際のロボットサービスを想定したタスクを与えた．

位置計測実験場所

図 3.3 に，位置測定実験場所を示す．実験エリアは室内の約 $5\text{m} \times 5\text{m}$ の大きさであり，写真奥の台の上に左手を差し出したロボットを設置した．



図 3.3: 位置計測実験場所

被験者

日本語を母国語とする被験者を募集し,10 人 (男性 9 人, 女性 1 人, 平均年 24.3

歳) が実験に参加した。なお, 被験者には故意に順番抜かしをしないよう事前に呼びかけた。

実験手順

タスクは『ロボットとの 2 秒間の握手する』とし, 暗黙的な順序決定が発生する待ち状態を作る注意事項として, 意図的に順番を抜かさないよう最初に伝えた。図 3.3 に, 位置測定実験の様子を示す。ロボットと平行になるように手前一行に被験者を並ばせ, 一斉スタートさせると概ね扇状になり, 順序が曖昧な待ち状態が発生する。1 回の実験を 1 タームとし, 合計 6 タームの実験を行った。1 タームの流れを以下に示す。

1. 被験者 10 人はロボットから一定距離をとり待機
2. 合図で一斉にロボットへ握手に向かう
3. ロボットに一人が握手した時点で全員停止し、用紙に現在認識している自分の順番を用紙に書き込む
4. 握手している人はタスクが終了したため、行列から退出
5. 全員退出するまで 1～2 を繰り返す

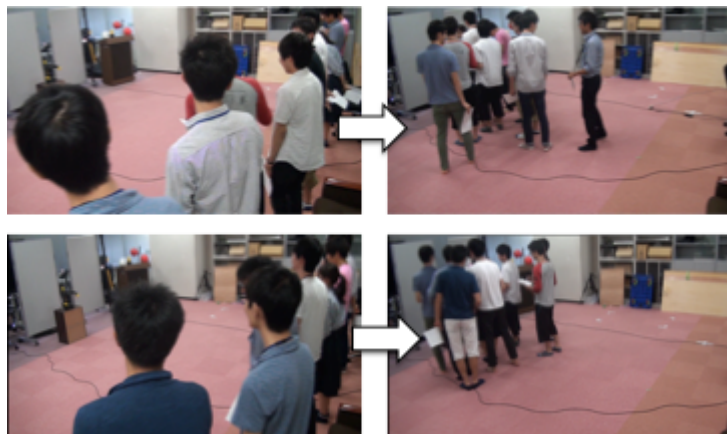


図 3.4: 予備実験

3.1.2 モデル作成のための位置計測実験結果

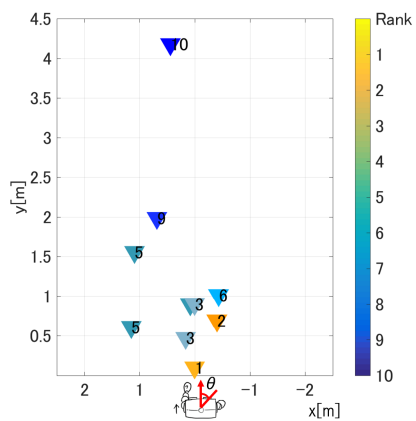
本実験中の被験者の動きを複数の距離センサによって計測し，各時点における被験者の位置情報および各被験者が想像する順位を収集した．位置情報は室内のタイル状のカーペットの各辺が 50[cm] であることを目安に動画から測定を行った．第 1 タームの結果を図 3.5 から図 3.6 に示す．第 1 ターム～第 6 ターム全てのランクを表示した結果を図 3.7 に示す．

表 3.1 に，主観的に複数作成したモデルと想像順位との一致率を示す．変数 t は 0.1 刻みに変化させ，最も一致率の高くなったものを採用した．

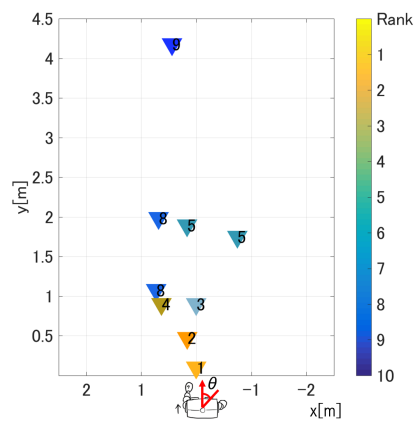
$d - t\cos\theta$ は正面になればなるほど距離 d が実際の値よりも短くなる．つまりロボットの正面の人の順位が高くなるような式である．

表 3.1: 提案した各モデルと一致率

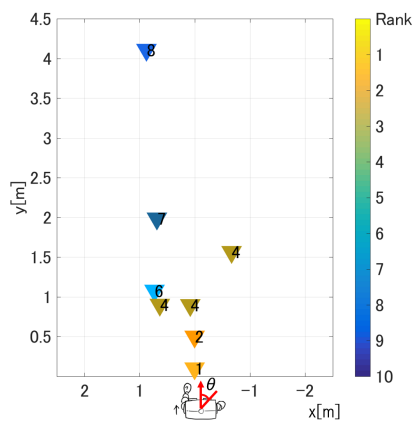
モデル	一致率
$d - t\cos\theta$	82%
d	81%
$\cos\theta/d$	78%
$t\cos\theta/d$	77%
$\cos\theta * d$	77%
$\cos\theta$	35%
...	...



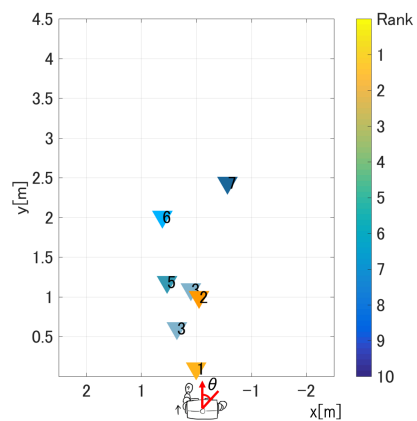
(a) 1 ターム 1 回目結果



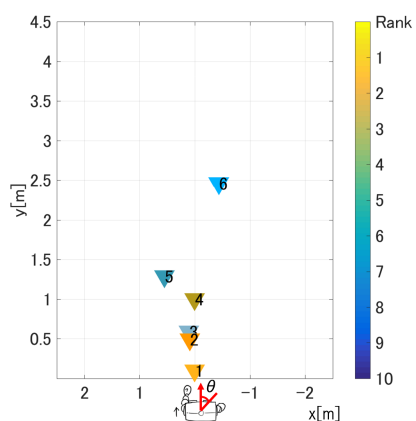
(b) 1 ターム 2 回目結果



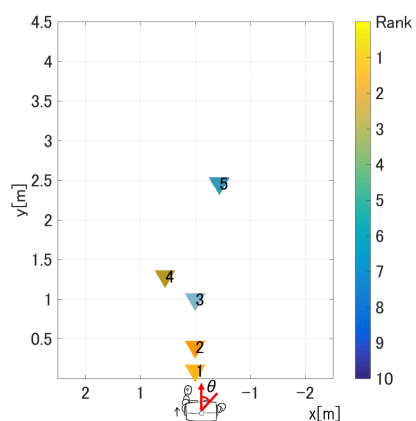
(c) 1 ターム 3 回目結果



(d) 1 ターム 4 回目結果

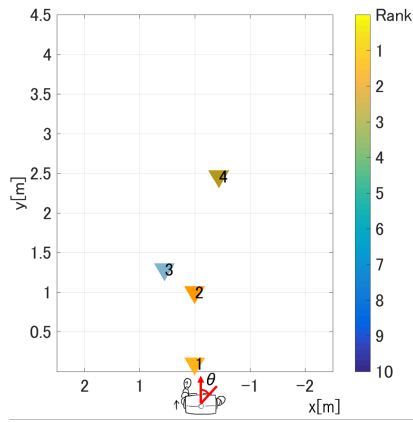


(e) 1 ターム 5 回目結果

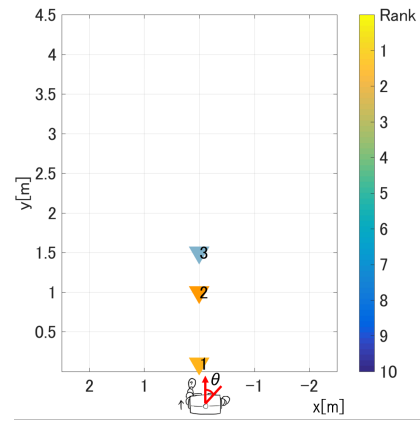


(f) 1 ターム 6 回目結果

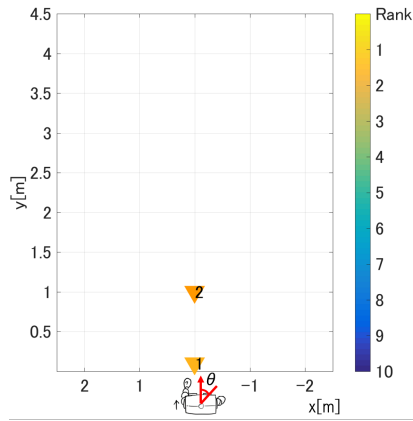
図 3.5: 1 ターム結果 1 回目～6 回目



(a) 1 ターム 7 回目結果



(b) 1 ターム 8 回目結果



(c) 1 ターム 9 回目結果

図 3.6: 1 ターム結果 7 回目～9 回目

3.2 順序決定モデルの作成

3.1.2 の結果から、傾向としてロボットからの距離が近く、かつ、角度がロボットの正面に近いときほど認識する順位が高いことがわかった。従って、入力をロボットからの各人の距離 [m] および角度 [rad] とし、人位置を評価する値 *Subjective distance* (*Sd* 値) を出力とする評価関数を提案するモデルとして設計する。この関数を用いて各時点における評価値 *Sd* 値を算出し、群衆内で *Sd* 値を降順にソートした順番をサービス提供の順序とする。

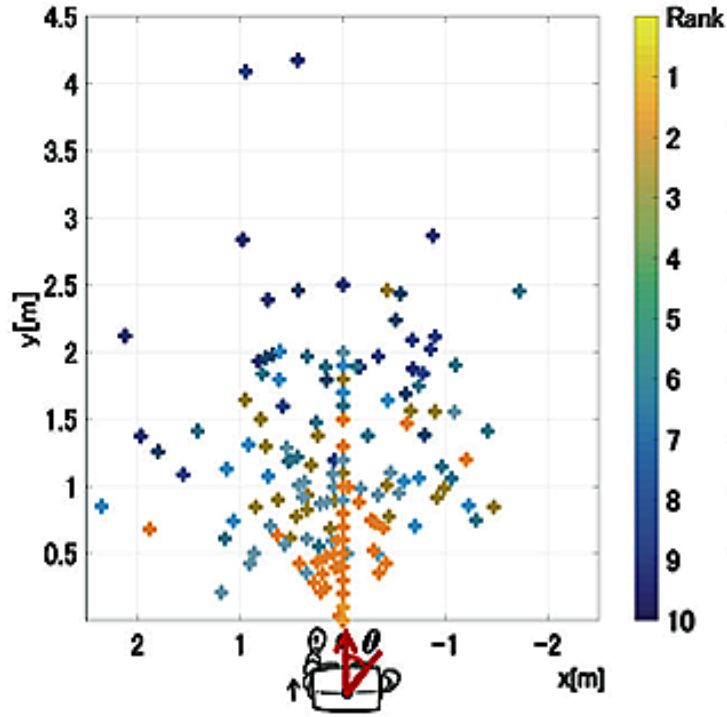


図 3.7: 実験で得た全ての人の位置と想像順位結果

モデルを複数作成し，各パラメータにかかる重みを変化させ，実験で取得した総意に基づく順番と，各評価関数で生成した順番もとに一致率を分析した．その結果，式 3.2.1 を用いた算出が最適であることがわかった． W はロボットがサービス提供をする $\theta = 0$ 方向を最優先とし，この式が適用できるロボットと人との距離の上限 (単位はm) を表す．ここで， W は分析より， $0.1[\text{m}]$ とする． θ はロボットの正面を 0 度としたときのロボットと人との角度 $[\text{rad}]$ ， d はロボットの位置を 0 としたときの人との距離 $[\text{m}]$ を表す．

$$Sd[\text{m}] = d - W \cos \theta \quad (3.2.1)$$

3.3 順序決定モデルを用いた順位の生成と順位変動への対応

順序決定モデルである式 3.2.1 を使用して，ある瞬間の人々へのサービス提供順序を決定することができる．これを実空間で使用するには，時間の概念が必要となる．ある瞬間の各サービス利用者の順位と，別の瞬間のサービス利用者への順位の差分が少ない場合，利用者の順位が保たれて移動していることがわかる．順位変動が少ないほど，社会常識が保たれてサービス利用者の待ち状態が発生しており，もし順番抜けが発生すると順位変動値が上昇する．式 3.3.1 は，ある時刻 t の順位変動を表す．

e : 順位変動値

Sd : 各顧客の人位置を評価する値

N : 顧客数

O_i : ポジション値からソートしたときの客 i の優先順位

O_{ti} : 時刻 t における客の優先順位

$$e = \sum_{i=0}^N |O_{ti} - O_{(t-1)i}| \quad (3.3.1)$$

第 4 章 順序決定システムの実装

提案モデルを検証するため、インタラクショロボット Robovie-II に提案モデルから得られた順序でチラシ配布を行う機能を実装した。本章では、実装した順序決定システムのハードウェア構成とシステム構成について述べる。

4.1 ハードウェア構成

今回は、高さ 1.2[m]、半径 0.5[m] の人間を模した動作表現を特徴とするヒューマノイドロボット Robovie-II を使用した。3 自由度の頭部と 2 自由度の手を持つ 4 自由度の腕を有する。移動のプラットフォームは Pioneer3 DX。回転速度 700 [mm / sec] (約 2.5 [km / h])、回転速度 45 [deg / sec] で移動するように設定している。正転および回転の加速度は、それぞれ 600 [mm/sec] 及び 30 [deg/sec] である。なおロボットは自己位置の認識や人位置を計測するために環境中に設置された赤外線距離センサなどの情報を基に行っている。チラシ配布のため、ロボットの腰の右側にモバイルプリンタを取り付け、配布対象が現れる前にチラシを自律的に印刷可能としている。図の外観を示す。

4.2 提案システム概要

図 4.2 に、本システム概要を示す。センサーネットワークの 3D range sensors[23] で人位置計測とトラッキングを行う。また、ロボットのオドメトリと 3D range sensors でロボットのローカリゼーションを行い、ロボットの位置を把握する。ユーティリティとは、生成するプランの良さ・有用性である。人とロボットの位置からプランナーがプランをリアルタイムで生成し、各プランのユーティリティを計算する。ユーティリティを評価しプランを選択したあと、動作コントロールを行いロボットは人に近寄る。チラシの配布については、ロボットの手のひらにあるタッチセンサからフライヤを認識し、チラシのあるなしで自ら印刷を行う。そして、動作コントローラー部から顔、アーム、発話を制御する。

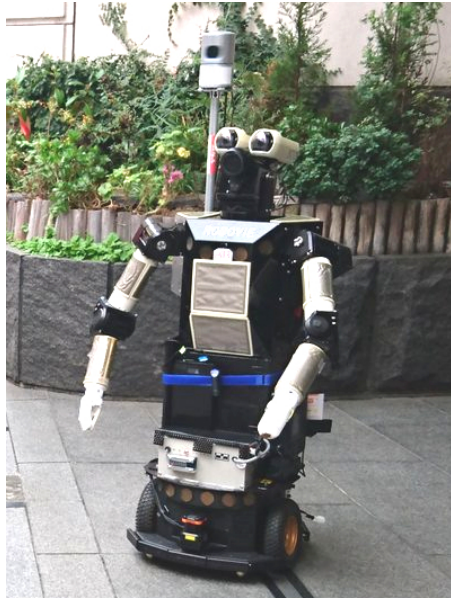


図 4.1: Robovie-II 外観

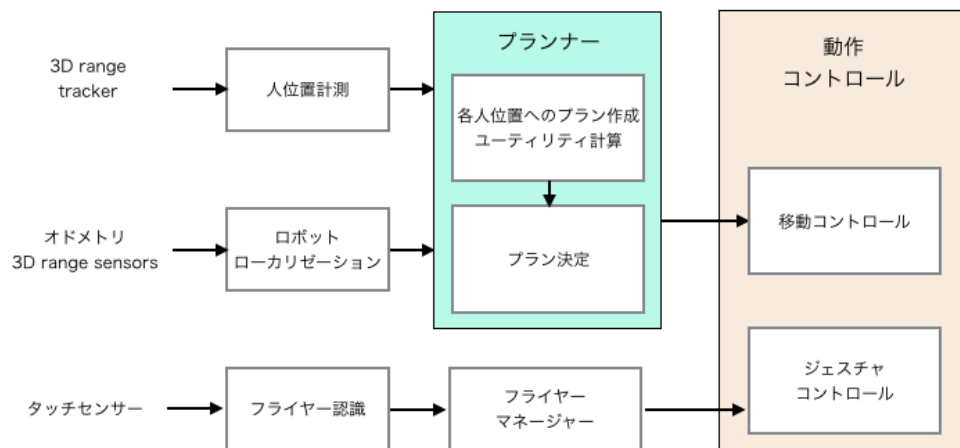


図 4.2: 提案システム概要

4.3 提案システムのプランナー

本節では，図 4.2 で説明したプランナーについて述べる．プランナーはトラッキング範囲内の全ての人に対し，リアルタイムでプランを生成している．各プランに対しユーティリティを計算し，どの人に，どういう経路で近づいてチラシを配るかを決定する．図 4.3 に，プランナーの概要図を示す．実装するシステムは，既存モデルのユーティリティと，提案モデルのユーティリティを足した値を各プランごとに算出，比較し，プランを決定している．2つのユーティリティを使用している理由として，実際の環境でチラシ配りを行うには，順番待ちが生じない場合と，生じた場合ともに動く必要がある．そのため，順番が発生しない場合の配り方をモデル化している既存モデルと，順番待ちが発生した場合に社会常識に基づき順序付けて配ることができる提案モデルの二種類を使用する．よって，既存モデルと提案モデルの2つを使用することによって，提案モデルのロボットは待ちが発生していないときも上手くチラシを配ることができる．

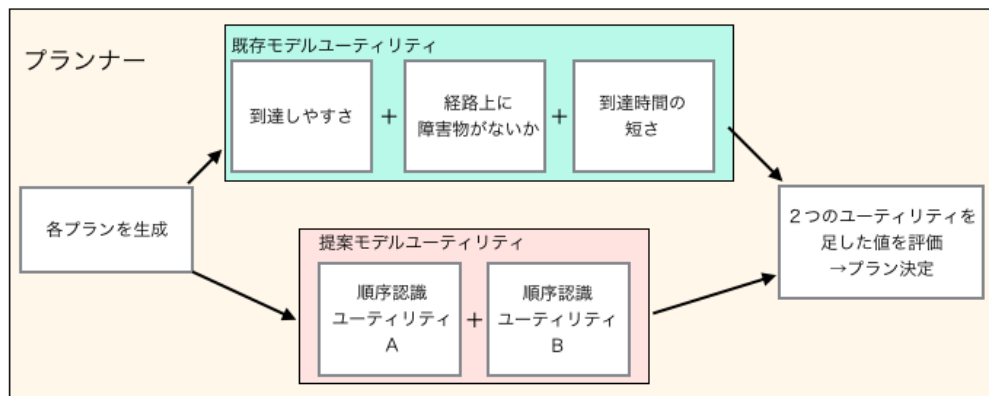


図 4.3: 提案システムのプランナー概要

既存モデルのユーティリティ，到達しやすさを U_m ，経路上に障害物がないかを U_c ，到達時間の短さを U_a としたとき，既存モデルのユーティリティ U を，式 4.3.1 に示す．

$$U = U_m + U_c + U_a \quad (4.3.1)$$

4.3.1 ユーティリティの計算：既存モデル

本節では、既存モデルの図 4.3 に示す 3 つのユーティリティについて述べる．既存モデルのユーティリティ 3 つを以下に示す．

- 到達しやすさ
- 経路上に障害物がないか
- 到達時間の短さ

まず一つ目の到達しやすさについて要点を述べる．既存モデルは、まず人位置から N 秒後の位置を予測する．この結果に対し、ロボットがチャシを配りに行った場合の到達時間と、人が到達するまでの時間の差からユーティリティを計算する．

次に、経路上に障害物がないかどうかのユーティリティは、3D range sensors からロボットの進路上にある障害物や人を検出する．進路上に障害物があればロボットはチャシを配りに行くことが困難となるため、プランのユーティリティは低くなる．

到達時間の短さは、各プランで決定された地点までのロボットの到達時間の短さを評価する．到達時間のユーティリティに関して、図 4.4 を使用し説明する．この場合ロボットは A 地点までのプラン a と、B 地点までのプラン b を生成している．進路上に障害物は無く、到達しやすさのユーティリティはプラン a, b どちらも差が 1sec であるので等しくなる．地点 A と地点 B までのロボットの到達時間を比較すると、プラン a の方がプラン b よりも 2sec 短いので、到達時間のユーティリティはプラン a の方が高くなる．

この 3 つのユーティリティから、既存モデルのロボットはチャシ配布を行う．

4.3.2 ユーティリティの計算：提案モデル

提案モデルのユーティリティは、2 つのタイミングで範囲内の人々の順序を保存する．この 2 つのタイミングをそれぞれタイムウィンドウ A, タイムウィンドウ B とする．図 4.5 にタイムウィンドウの更新ポイントを示す．

0 はロボット動作開始地点で、タイムウィンドウ A は 15 秒毎、タイムウィンドウ B は 28 秒毎にその時点での人々の順位が保存される． t は現在の時間を表す．

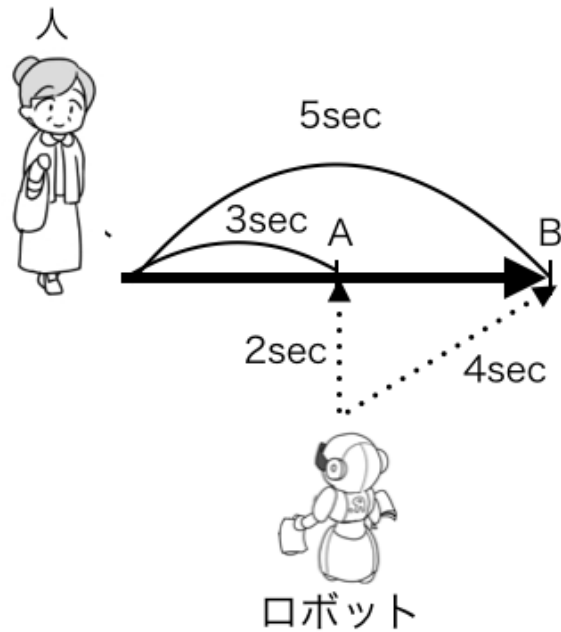


図 4.4: 既存モデルのユーティリティ 到達ポイント例

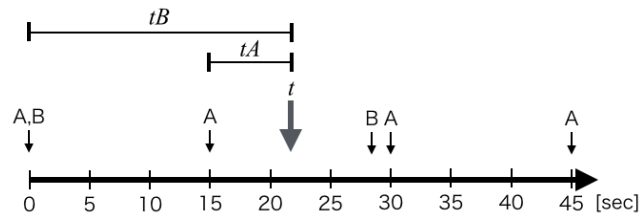


図 4.5: タイムウィンドウの更新ポイント

提案モデルは、 t 地点で認識した順序と、過去の一番新しい A 地点、B 地点で認識した順序を使用して各プランのユーティリティを決定する。図 4.6 に、提案モデルのユーティリティ算出までの流れを示す。

タイムウィンドウ A、B 地点でのチラシ配布順序決定を式 3.2.1 を用いて行っている。算出される順序は、各サービス利用者の Sd 値をソートし順序付けた値である。次に、現在の時間 t でのチラシ配布順序決定を式 3.2.1 を用いて行う。タイムウィンドウ A 地点での順序と、 t 地点での順序からユーティリティ UA を算出し、

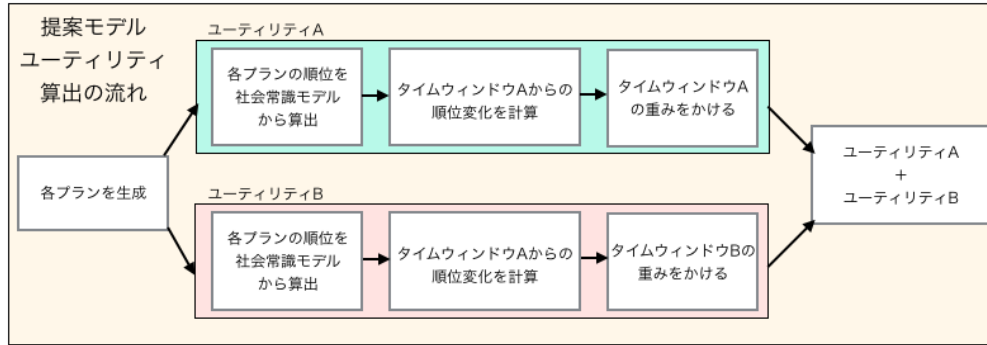


図 4.6: 提案モデル ユーティリティ算出の流れ

重みをかける．タイムウィンドウ B 地点での順序と， t 地点での順序からユーティリティ UB を算出し，重みをかける． UA に重みをかけた値と， UB に重みをかけた値を足したものを，各プランにおける提案モデルのユーティリティとして算出する．ユーティリティ算出式を式 4.3.2 に示す． UA はタイムウィンドウ A のプランのユーティリティで， WA は UA にかかる重みである． WA は，現在の時間 t から時間の差が少ないタイムウィンドウほど値が大きくなるようにする重みである．つまり， t に近いタイムウィンドウの順位を優先するようなプランのユーティリティが大きくなる．

$$U = UA * WA + UB * WB \quad (4.3.2)$$

タイムウィンドウ A からのユーティリティ UA の算出式を式 4.3.3，タイムウィンドウ B からのユーティリティ UB の算出式を，式 4.3.4 に示す． eA と eB は各タイムウィンドウからの順位変動の総和を表す．順位変動が大きくなればユーティリティの値は低くなる．

$$UA = 1 - (eA/E) \quad (4.3.3)$$

$$UB = 1 - (eB/E) \quad (4.3.4)$$

最大の順位変動値 E は，式 4.3.5 で算出される． N は範囲内のサービス利用者を表す．

$$E = N * (N + 1) \quad (4.3.5)$$

x_A はタイムウィンドウ A での順位, x_B はタイムウィンドウ B での順位, x_t は現在の順位を表す.

順位変動値 eA は式 4.3.6, eB は式 4.3.7 はで算出される.

$$eA = \sum_{i=0}^N x_A - x_t \quad (4.3.6)$$

$$eB = \sum_{i=0}^N x_B - x_t \quad (4.3.7)$$

重み WA は 4.3.8, WB は式 4.3.9 で算出される.

$$WA = VA / (VA + VB) \quad (4.3.8)$$

$$WB = VB / (VA + VB) \quad (4.3.9)$$

時間差 VA は式 4.3.10, VB は式 4.3.11 で算出される.

$$VA = t - tA \quad (4.3.10)$$

$$VB = t - tB \quad (4.3.11)$$

4.3.3 順番抜かしへの対応

順序決定モデルを用いて, 群衆の総意を乱す要因として順番抜かしを想定し, これを抑制するための機能を提案する. 順序決定モデルを 15 [sec] の周期で計算し, その際の Sd 値を Sd_base 値とする. この 15 [sec] 間をさらに 0.25 [sec] 間隔で順次 Sd 値を計算, ロボットの半径 4 [m] 以内で後から来た人 A の Sd 値がの人 B の Sd 値を超えた場合, ロボットは B に対し「ちょっと待ってね」と顔を向けて発声する. これにより, ロボットが順番抜かしをした人へ制止を呼びかけることが期待

できる．さらに群衆の社会常識に従って並んでいる人に対しロボットが誤って発声しないよう， Sd 値と Sd_base 値との差が 0.3 以下の場合には発声しないよう実装した．同様にグループで近寄ってくる人々に対しても発声しないように Sd_base 値と次の Sd_base 値の差が 0.3 以下の場合には発声しないように実装した．予備実験から， $W = 0.1$ とする．

順番抜き出し検出の流れ

1. 15 秒毎にサービス利用者全員の Sd 値を算出し, Sd_base として保存
2. 0.25 秒間隔でサービス利用者ごとに Sd 値を算出
3. Sd 値の大小関係と Sd_base の大小関係を比較
4. 大小関係が入れ替わった組があった場合, ロボットが Sd 値が現象した方のサービス利用者に対し顔を向け「ちょっと待ってね」を発声

図 4.7 に, 順番抜き出しを判定するまでの例を示す. x, y, z はトラッキング範囲内のサービス利用者を表し, 表内の数値は各 Sd 値である. Sd_1 はある Sd_base から 0.25 秒後のサービス利用者の Sd 値である. Sd_base が更新されるまでの 15 秒間のある n 秒後に, Sd_n のように値が変化した場合, 順番抜き出しが発生したと判定する. そして, ロボットは z に対し顔を向け「ちょっと待ってね」と呼びかける.

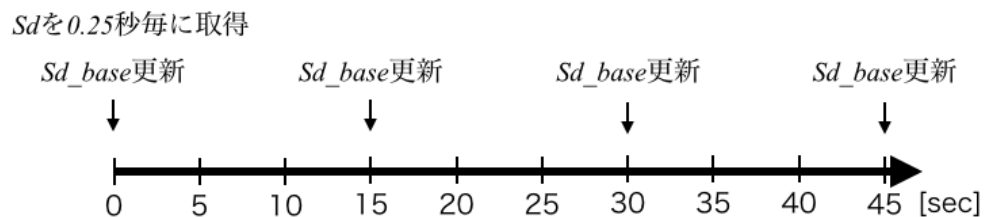


図 4.7: Sd_base の更新ポイント

4.4 動作確認

ロボットによるサービスの待ち行列を想定した, フライヤー手渡し機能をロボットに実装し, 東京浅草で動作確認実験を行った. ロボットには, 従来手法と提案手法の 2 種類に基づくチラシ配布行動を実装し, 予備実験を行った. 東京浅草 DENKI-KAN ビルの玄関前でチラシを配布させた. 図 4.9 に, 従来手法と待ち行列における社会常識を考慮した提案手法による配布行動のシーンの例を示す. 従来手法では, 待ち行列の順序を考慮せず, 近づいて来たひとに配布行動を行うため, 図 4.10 に示すように順番が無視されているシーンが多く見られた. 一方, 提案手法では, 図 4.11 のように, 順序を無視して割り込んだ人がいた場合, その人の方を

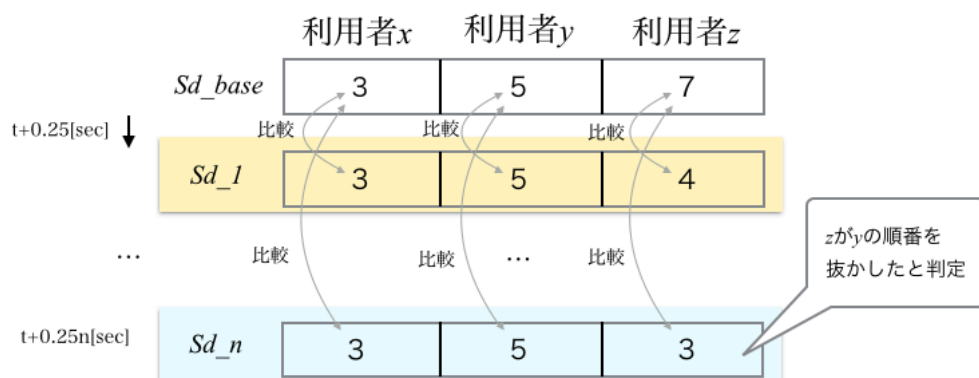


図 4.8: 順番抜かし検出例

見て「ちょっと待ってね」と順序に従うよう促すシーンが見られ、暗黙的に形成される待ち行列内の人々の順序が保たれた。

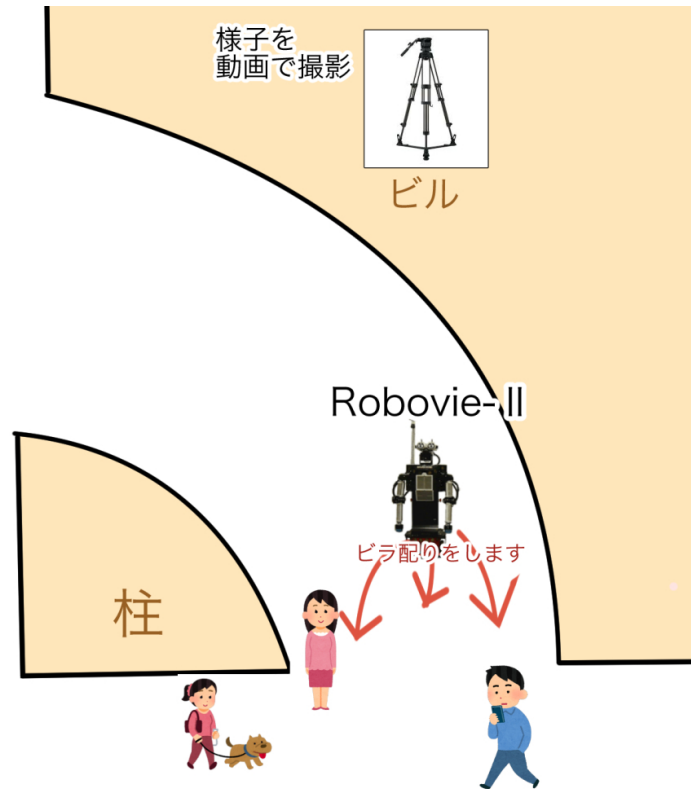


図 4.9: 動作確認実験場所



図 4.10: 順番抜きかし例



図 4.11: 順番抜けかし検出例

第 5 章 提案モデルの検証

社会常識から得られた順序決定モデルを実装したロボットサービスシステムを検証するため、評価実験を行った。評価実験は、Shi らの既存モデルと、提案する順序決定モデルを一つのロボットに実装し動作させ比較を行う。評価実験は二種類あり、一つ目はチラシ配布サービス利用者を対象としたインタビュー方式の評価実験である。二つ目はロボットサービスを導入するお店側の人間を対象としたアンケート方式のビデオ評価実験である。本章では、仮説と評価実験、評価実験に使用した動画、実験結果について述べる。まず、実験を始めるにあたってたてた仮説と、仮説に基づいた予測に関して述べる。

5.1 仮説

モデルを作成した際の一致率から、提案手法のロボットが人へチラシを配布する順番と、人間が考える現在の自分の順番はおおよそ一致しているため、順序決定モデルを持つロボットは、持たないロボットに比べ公平にチラシを配布することができると考えられる。また、順番抜かししようとする人を検出し、制止の声掛けをすることができるので、より公平な行動を印象づけると考えられる。

以上の仮説に基づき、我々は以下の予測を立てた。

予測 1 チラシ配りの上手さ・顧客とのコミュニケーションの上手さ・社会常識に則った行動をとっているか・顧客への公平であるか、サービス利用者視点での評価観点において、提案モデルのロボットが高評価となる。提案モデルのロボットは、チラシ配りの順番を社会常識に則った順序で配ることができるので、よってチラシ配りが上手い、不快にさせる顧客がいないのでコミュニケーションが上手い、という印象づけができると考えられる。さらに、提案モデルのロボットは、順番を抜かそうとする人に対して制止を呼びかけるので社会常識に則っている、先に来た人に配ろうとするので公平であるという印象づけができると考えられる。

予測 2 チラシ配りの上手さ・顧客とのコミュニケーションの上手さ・社会常識に則った行動をとっているか・顧客への公平であるか、ロボットを導入するお

店側視点での評価観点において、提案モデルのロボットが高評価となる。提案モデルのロボットは、チラシ配りの順番を社会常識に則った順序で配ることができるので、よってチラシ配りが上手い、不快にさせる顧客がいないのでコミュニケーションが上手い、という印象づけができると考えられる。さらに、提案モデルのロボットは、順番を抜かそうとする人に対して制止を呼びかけるので社会常識に則っている、先に来た人に配ろうとするので公平であるという印象づけができると考えられる。

予測3 お店側の視点でこのロボットを評価する場合、提案モデルのロボットを導入したいという人が多い。提案モデルのロボットは、社会常識的なチラシの配り順や順番抜かしに対応する機能を持つため、お店への導入意欲を促進させることができると考えられる。

5.2 ビデオ評価実験方法

被験者：

日本語を母国語とする被験者を新たに募集し、接客業経験をしたことがある 20 人 (男性 8 人, 女性 12 人, 平均年 26.3 歳) が実験に参加した。なお, 被験者には報酬を支払った。

実験動画：

実験映像群コンテンツは 2 種類である。被験者に店長になりきってもらう。チラシ配布ロボットを導入予定の店長に、これからデモムービーを見て頂くという設定で視聴してもらう。各モデル約 15 種類のロボットの動画を用意した。デモということで各ムービー 5 分程度で視聴できるよう 15 種類の動画からランダムに 5 つを選択する。

コンテンツ群 A 既存モデルの動画 15 種類の中からランダムに 5 個を選択したもの

コンテンツ群 B 提案モデルの動画 14 種類の中からランダムに 5 個を選択したもの

評価実験手順

1. 被験者に、ある店の店長になったつもりで、チラシ配りロボットのサンプル動画を見て貰う
2. 動画を 5 つ見ってもらう
3. 店長になったつもりで、アンケートに記入

1 から 3 をコンテンツ群 A, B についてそれぞれ行った。

アンケートの質問項目と番号を以下に示す。

- ① このロボットはチラシ配りが上手だ
- ② このロボットは社会常識に則って行動している
- ③ このロボットは顧客と上手くコミュニケーションをとっている
- ④ このロボットは顧客に公平な対応をしている

【使いたさの評価】

- ⑤ もし機会があればこのロボットを使う

- ⑥ もし機会があれば別の場所でもこのロボットを使うと思う
- ⑦ もし機会があれば間違いなく数日中にこのロボットを使う
- ⑧ もし機会があればこのロボットを使う計画をたててみたい

回答はスコア 1 の非常にそう思わないから，スコア 7 の非常にそう思うの間の 7 段階でスコアつける形式である．またアンケートの最後に，ロボットへの感想・意見を書けるよう自由記述欄を設けた．

5.3 動画に関して

本節では，実験動画のコンテンツ群 A と B について述べる．

撮影対象：チラシ配りロボット

- ・ 広場を通行する一般客・社会常識を守らないサクラ役一名

動画内容：本撮影では 4. に記載した対話ロボット Robovie を利用した．

撮影場所：大阪湾岸地域のショッピングモールである．図 4 に示す広場でチラシ配りを行った．広場内はレーザースキャナーのデータからマップが作成され，30[msec] 毎にロボットと人の位置を 10 [cm] の精度でトラッキングする．図 5.1 にトラッキングエリアの写真，図 5.2 に実際の広場をトラッキングした様子を示す．真ん中の五角形がロボットである．

また，故意に社会常識を守ろうとしない登場人物一名（以降，サクラ）を用意した．サクラには，先にロボットからチラシを貰おうと近寄った一般客の順番を無視しチラシを貰いに行くよう指示した．

動画撮影方法

- ロボットを動かし，チラシを配布させる
- サクラは社会常識で考える順番を守らずチラシを取りに行く上記を行い，既存モデルのチラシ配りロボットプログラム，または提案手法のロボットプログラムを 30 分間ごとに交代させロボットにチラシを配布させた．

動画切り出し条件：

1. 一般客がロボットへチラシを貰うためにカメラインしてから，チラシを貰ってカメラアウトするまでの区間．または，一般客がロボットへチラシを貰う

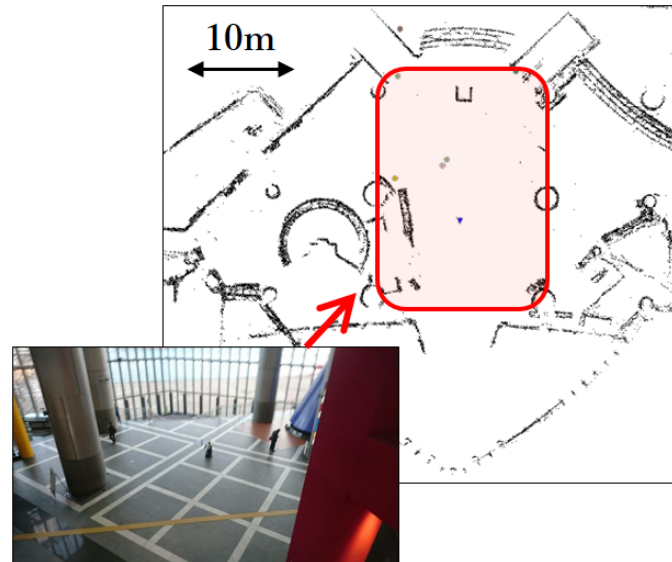


図 5.1: トラッキングエリア

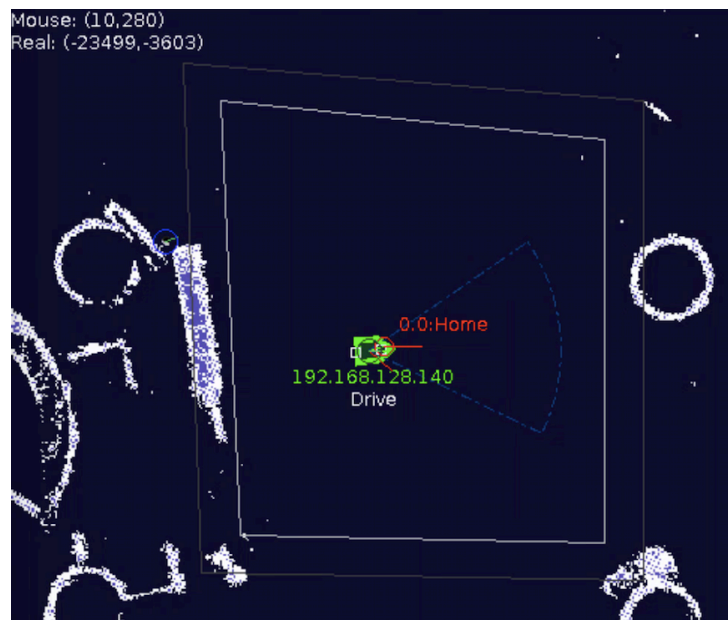


図 5.2: トラッキングの様子

- ためにカメララインしてから，チラシを貰わずカメラアウトするまでの区間．
2. サクラが登場したシーン上記 2 項目を満たす全てのシーンを切り出した． 2 日間の撮影の結果，既存モデルは 15 個，提案モデルは 14 個の動画を収集した．



図 5.3: コンテンツ A 群より抜粋（既存モデル：順番抜かし発生例

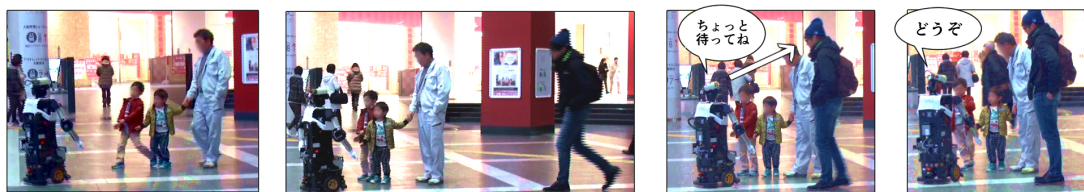


図 5.4: コンテンツ B 群より抜粋（提案モデル：順番抜かし抑制例

5.4 インタビューでの評価について

節 5.1 で述べた仮説を検証するため，実際にロボットを動作させ，チラシを受け取った一般の利用者に対しインタビューを行った．実験場所に関して，節 5.2 で詳しく述べる．しかし，インタビューではロボットの物珍しさから「凄かった」「良いと思う」等の単純な回答が多く既存モデルと提案モデルでの回答の差は得られなかった．また質問を深め，配られた順序や順番抜かしを抑制する機能についてもインタビューを行ったが，順序よりもロボットに集中しているサービス利用者が多く，インタビューでの気付き等は得られなかった．

5.5 評価実験結果

5.5.1 予測の検証

図 5 に既存モデルと提案モデルのアンケートスコアの結果を示す。

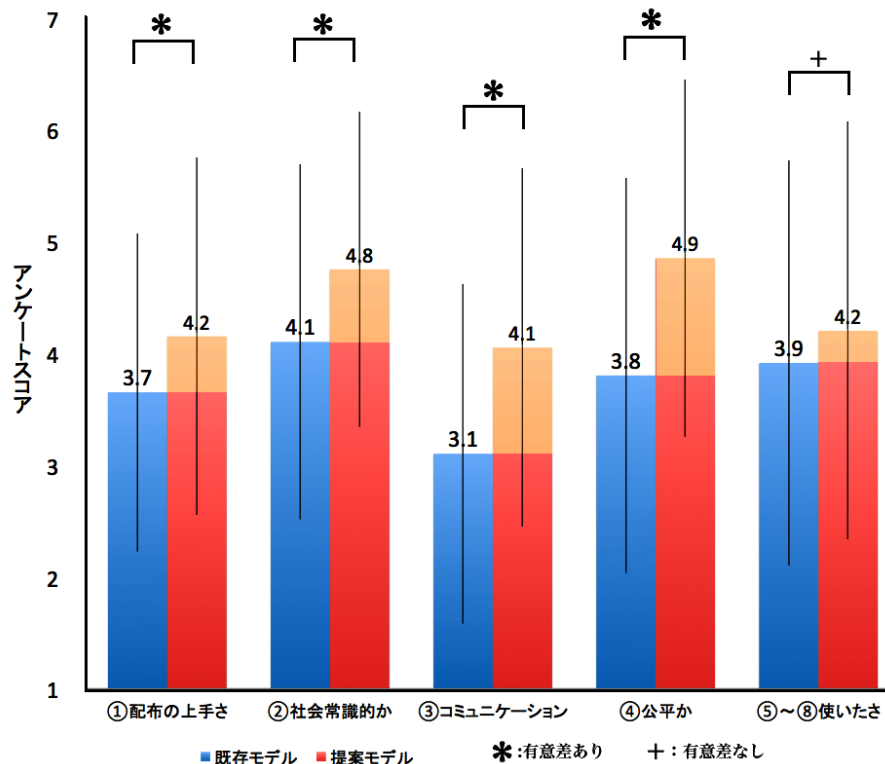


図 5.5: ビデオ評価実験アンケート結果比較

予測 2 に対する検討を行うために、質問項目 ① から ④ について被験者内比較の対応あり t 検定を行った。結果を図 5.5 に示す。縦軸はアンケートスコア (1 7) 横軸は質問事項。青色は既存モデル、赤色は提案モデルで、既存モデルより高くなったポイントを黄色にした。①「このロボットはチラシ配布が上手だ」について、($t(19)=-1.81, p<.05$) より、優位差が得られた。②「このロボットは社会常識に則って行動している」について、($t(19)=-2.942, p<.05$) より、有意差が得られた。③「このロボットは、顧客と上手くコミュニケーションをとっている」について

て、($t(10)=-3.226$, $p<.05$) より有意差、が得られた。④「このロボットは、顧客に公平な対応をしている」について、($t(19)=-3.28$, $p<.05$) より、有意差が得られた。すなわち、予測 2 が支持された。

また、予測 3 に対する検討を行うため、使いたいと思うかを評価 (アンケート ⑤ から ⑧) をした。質問項目 ⑤ から ⑧ の平均値について、被験者内比較の t 検定を行った。結果、($t(19)=-1.416$, $p<.10$) より、優位差は出なかったため予測 3 の仮説は支持されなかった。

アンケート自由記述欄

アンケートの最後に設けた自由記述欄の記述を以下に示す。

(1) 既存モデルへの感想・意見 (原文をそのまま引用)

- お客様から言われたことに即座に反応できなかったり、渡すべき相手を間違えていたり課題が多いが、人々の興味関心を惹いているのは確かなので、人が漠然と渡すより受け取ってくれる可能性は高いと思う。
- 小さいこどもがロボットが近づいてきたとき 逃げていたので可愛い見た目になれば子供も寄ってくるかなとおもった
- 言葉のバリエーションがもうちょっとあったら面白いかも
- 不快に思うような不平等さは客観的には感じなかった
- ロボットのちらしの配りということで興味は湧くけど、あまり小さな子ども向けではないかなとおもった
- 怖いと言っていた人がいたので、自分が店長なら使いたくない
- 何も言わずに顧客の方へ接近するのは怖い
- 全員のお客さんに配布できていない
- お客様から言われたことに即座に反応できなかったり、渡すべき相手を間違えていたり課題が多いが、人々の興味関心を惹いているのは確かなので、人が漠然と渡すより受け取ってくれる可能性は高いと思う。たどたどしい感じが、人の心を掴んでいるような気がするので、その当たりのバランスは難しいと思う。
- 会話のレパートリーを増やせばいいと思う
- 怖い (チラシを半ば強制的に渡す、追いかける等)
- 人にぶつからずに渡している点は良かった

- ロボットが配ることで、興味を持ってくれるお客様は沢山いた
- 人にあわせて腕をあげたり下げたりしてほしい（赤ちゃんを抱いたお母さんが取りづらそうだった）
- 人が集まると沢山渡せないけど、そこが一番渡せるチャンスだと思うので配って欲しい
- チラシを受け取ったお客さんにありがとうと言って視線をあわせるのは好印象
- 人間のチラシ配りだと受け取ってくれない人が多いけど、ロボットだと積極的にチラシを受け取って貰えそうで良いとおもった
- 言葉の数の少なさ（ロボットの）
- 人間が普通にロボットを受けて入れている
- あまり人を感知していないように見える
- コミュニケーションが取れているようには見えない
- ロボットを通して顧客同士のコミュニケーションが生まれていた場面も見られ、今後は是非導入してほしいとおもった
- 客の方々と会話が噛み合っていない場面があった．
- 子供の方と視線が少しずれていた．
- 自由に動ける反面、順番抜かしの客が目立った．
- 1人の人を見て、他の人にチラシを持っていったのが気になった．ロボットだから気にはしない人もいると思うが、もし人が配るとあれはどうなのか？
-

(2) 提案モデルへの感想・意見

- 順番抜かしの人への対応も優しくできていた
- 今後、どの場面、状況においても利用可能なものになって欲しいと感じました．
- 複数人いても、それぞれに渡そうとする点が良かった
- 人が身体を動かすとそれにあわせてロボット自身も動いている点が良かった
- ちょっと待ってねと言うことで、ロボットに興味を持った顧客が待ってくれる点が良かった

- 受け取らない顧客を無理に追いかけたりしないので、良かった
- 近くに複数人いた場合、どの顧客に渡すか判断が難しそうに見えた
- チラシをずっと手渡しさせていると、顧客は恐怖を感じると思いました
- 可愛くて、多少のタイムラグも気にならなかった
- チラシの内容についてもう少し述べたら更に良くなるのでは
- 顧客の顔や順番を認識している点がチラシ配りにおいてとても良いとおもった
- もういらないと言っているお客様に渡しに行く行為や、ちょっと待ってねと繰り返し述べるのがちょっと気になった。フリーズしたりするのも機械ならではの課題ですね
- ロボットのどうぞの後にちょっと待ってねと続くのが、チラシを貰いづらい
- ちょっと待ってねの言葉に診察差、それから親近感を感じた
- 顧客の反応をまだロボットが読み取れていない部分があった（いらないと言っている人に渡しに行く等）
- 順番を抜かす人や、あとから来た人にちょっと待ってねと言っているのは良かった
- 言葉が少ない、こんにちはくらい返して欲しい
- 自ら声出ししてほしい
- お客様が沢山集まったときにちょっと待ってねという機能がよく出来ているとおもった
- 見た目が線とか出てるから悪戯されたとき壊れそう
- お客様との距離が程よく離れていて良い
- 立ち去りかけた人を少し追いかけるのも良いとおもった
- ロボットの動きが素早くなっていた?チラシ配りも早く感じた
- チラシを取らなかった歳、少ししつこかったように感じた
- チラシを渡す際、子供の高さにあっておらず、小さい子はとりにくそうだった
- ちょっと待ってねの声かけは良かったように思う
- 台詞が少ないのが気になります。店長としては、そこまでこのロボットに販売促進効果を期待できなさそうです。もう少し話せた方がいいとは思いますが、一回目のロボットよりは気を使えて良かったです。

- 少し人間的な感覚とズレがあり，完璧なコミュニケーションが成立している
とは言い難い面もあった．
- 先程のロボットに比べて，客とのコミュニケーションがとれている．丁寧語
を使うとさらに良くなるとおもった．
- 人手を減らすには，好適に見えるが，メンタル面ではどうかと思います．
- コミュニケーションに難はあるかもしれないが，真新しい反応があり，新鮮
さを与える面では使ってみたい．
- 「どうぞー」しか話さないのが残念でした．順番抜かしをされた人に対して
何か一言言ってくればもっと親しみやすいと思います．お客さんが興味を
持ってくれてるのに「こんにちは」ぐらい返事できればもっとに人間に近づ
けるかなと思います．

5.5.2 実験結果まとめ

お店側視点では，実験結果は社会常識モデルを持つロボットが，社会常識モデルを持たないロボットよりも人に与える印象が良く，公平にチラシを配布しているように感じられることを示している．この結果より，ロボットに近寄る人々の位置や滞在時間をセンシングすることで，お店側の社会常識を考慮したロボットサービスが実現できることを示した．

第 6 章 社会常識を考慮した順序決定モデルへの考察

6.1 実験結果への考察

実験結果において、ロボットはチラシ配布が上手だ、ロボットが社会常識に則っている・顧客と上手くコミュニケーションを取っている・公平な対応をしている、以上 4 項目において有意差が得られた。しかし、使いたいと思うかの評価において、有意差なしという結果になった。さらに、サービス利用者（チラシを取った人）へのインタビューで既存モデルと提案モデルで差が出なかった。この 2 点について本節で述べる。

自由記述欄で使いたくないと記述していた内容の多くに、怖いという理由が含まれていた。何も言わずに近寄るのが怖い・動画内で実際に怖いと言っている顧客がいたなどの内容が主に記述されていた。これは、見た目の色や形、目の形状を変化させることで怖いという感情を緩和できるのではないかと考える。また、台詞の数が少ないという意見も多く実運用への意欲が削がれた可能性も考えられる。今後実験を行う際は、最低限こんにちはを発声させることで台詞が少ないことの印象の悪さを緩和できることが予想される。

サービス利用者（チラシを取った人）へのインタビューで差が出なかったことに関して、ロボットの物珍しさがロボットの挙動の細部にまで目を配るというフェーズへ到達していなかったことが原因として考えられる。また、待ち状態のサービス利用者が 2 ～ 6 人程度であったため、待っていることへのストレスはほぼなかったのではないかと考えられる。この待ち状態の人数が多くなれば、ロボットを眺める時間も増え、かつ早くサービスを受けたいという気持ちになり、ロボットがサービスを提供する順番を観察してもらえないのではないかと予想する。今回はロボットが自らチラシを印刷していたため多くの人に対応できる状態ではなかった。よって今後の展望として、サービス利用者の多い場所で同様のインタビュー実験を行い、サービス利用者視点での評価から知見を得るべきである。

6.2 知見の応用可能性

本研究の実験結果から，社会常識から順序を認識してサービスを行うロボットは，店側のユーザの印象に良い影響をもたらすことが示された．よって人間が持つ社会常識のモデル化は，将来的にロボットが店舗内外でサービス提供を行うことへの有用性を示唆するものであると考える．評価実験では被験者に自分が店長であると仮定して動画を視聴いただいたが，サービス提供対象者についても順番抜かしされたことによる不快感の現象や，サービス提供までの待ち時間の平等さにおいて効果があると推察できる．

6.3 知見の一般性

本研究で最終的な狙いは，ロボットに待ち行列における社会常識モデルを付与した場合の効果を実証することである．しかしながら，本研究はチラシ配りの規模に限定し，10名の予備実験から得られた特性からモデル化を行ったため，チラシ配り以外のサービスを提供する場合はモデルの係数を再検討する必要があると考えられる．また，今回の評価実験は6.1で示したように外的要因（ロボットの外観・台詞量）が評価に影響した．よって，外観が違うロボットや，より違和感のない台詞量を付与したロボットの設計が有用であると考ええる．

第 7 章 結論

本研究では、待ち状態のサービス利用者に対するサービス提供提供順序の社会常識を持つロボットの動作生成を目的として、社会常識の下で形成された待ち状態の計測実験を行った。サービス利用者の位置を評価する値 *Subjectivedistance* を出力とする評価関数を提案するモデルとして設計した。この関数を用いて各時点における評価値 *Sd* 値を算出し、*Sd* 値を降順にソートすると、サービス提供の順序となる。実際の公共空間における実験において、推定モデルに基づいた動作設計を行ったモデルのロボットを用いて評価実験を行った。提案モデルを検証するため、インタラクシオンロボットに提案モデルから得られた順序でチラシ配布を行う機能を実装した。また、順番抜きへの対応も実装した。社会常識から得られた順序決定モデルを実装したロボットサービスシステムを検証するため、評価実験を行った。評価実験は、既存モデルと提案する順序決定モデルを一つのロボットに実装し動作させ比較をする。評価実験は二種類あり、一つ目はチラシ配布サービス利用者を対象としたインタビュー方式の評価実験である。二つ目はロボットサービスを導入するお店側の人間を対象としたアンケート方式のビデオ評価実験である。二つ目の評価実験結果において、社会常識モデルを持つロボットを利用者視点で見た場合、客とコミュニケーションが取れているか・チラシ配りが上手いか・社会常識に則った行動であるか・公平にチラシを配布しているかの四項目において、社会常識モデルのないロボットより好印象を与えたことへの妥当性を示した。しかし、アンケート実験の自由記述欄から、サービス利用者の多い場所でのインタビュー実験を行う、ロボットの台詞数を増やす、ロボットの外観の怖さを無くすよう設計する、以上3つの改善をするべきだと考えた。

謝辞

本研究の全過程を通して，懇切なる御指導，御鞭撻を賜りました環境知能学研究室 萩田 紀博 教授に心より感謝致します．また，本研究の遂行にあたり，有益な御助言，御鞭撻を頂いた環境知能学研究室 神原 誠之 准教授に厚く御礼申し上げます．そして，本研究を行うにあたり，始終温かい御指導と多大なる御助言，御鞭撻を賜った環境知能学研究室 西村 祥吾 先輩に心より感謝致します．特に，神原 誠之 准教授には本研究のテーマ設定から本論文の執筆，その他の発表論文の添削，発表練習，また日々の研究室生活に至るまで温かく細やかな御指導を頂きました．さらに，本研究を通じて，貴重な御助言，御鞭撻を頂いた国際電気通信基礎技術研究所 神田 崇行 様に深く御礼申し上げます．さらに，本研究の遂行にあたり，有益な御助言や御指摘を頂きました国際電気通信基礎技術研究所 佐竹 聡 様に深く感謝いたします．また，本研究を進めるにあたり，温かく親切な御助言，御鞭撻を頂いた国際電気通信基礎技術研究所 富田 加奈子 様に深く感謝致します．また，本研究を進めるにあたり，有益な御助言，御鞭撻を頂いた国際電気通信基礎技術研究所 Jason 様に深く感謝致します．さらに，本研究の遂行にあたり，温かい御助言や御指摘を頂きました国際電気通信基礎技術研究所 Jani Even 様に深く感謝致します．最後に，研究活動だけでなく日々の生活においても大変お世話になった環境知能学研究室的の諸氏に心より感謝致します．

参考文献

- [1] C. Shi, M. Shiomi, C. Smith, T. Kanda and H. Ishiguro, A Model of Distributional Handing Interaction for a Mobile Robot, Robotics: Science and Systems Conference (RSS2013), 2013.
- [2] H.-M. Gross, et al., Shopbot: Progress in Developing an Interactive Mobile Shopping Assistant for Everyday Use, IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2008), pp. 3471-3478, 2008.
- [3] W. Burgard, et al., The Interactive Museum Tour-Guide Robot, National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI1998), pp. 11-18, 1998.
- [4] S. Thrun, et al., Minerva: A Second-Generation Museum Tour-Guide Robot, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA1999), pp. 1999-2005, 1999.
- [5] Y. Kuno, et al., Museum Guide Robot Based on Sociological Interaction Analysis, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2007), pp. 1191-1194, 2007.
- [6] G. Ferri, et al., Dustcart, an Autonomous Robot for Door-to-Door Garbage Collection: From Dustbot Project to the Experimentation in the Small Town of Peccioli, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2011), pp. 655-660, 2011.
- [7] A. Weiss, et al., Robots Asking for Directions: The Willingness of Passers-by to Support Robots, ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction [21] (HRI2010), pp. 23-30, 2010.
- [8] R. Kirby, J. Forlizzi and R. Simmons, Affective Social Robots, Robotics and Autonomous Systems, vol. 58, pp. 322-332, 2010.
- [9] B. Mutlu and J. Forlizzi, Robots in Organizations: The Role of Workflow, Social, and Environmental Factors in Human-Robot Interaction, ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction (HRI2008), pp. 287-294, 2008.
- [10] J. Pineau, M. Montemerlo, M. Pollack, N. Roy and S. Thrun, Towards

- Robotic Assistants in Nursing Homes: Challenges and Results, *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 42, pp. 271-281, 2003.
- [11] A. M. Sabelli, T. Kanda and N. Hagita, A Conversational Robot in an Elderly Care Center: An Ethnographic Study, *ACM/IEEE int. Conf. on Human-Robot Interaction (HRI2011)*, pp. 37-44, 2011.
 - [12] T. Kanda, M. Shiomi, Z. Miyashita, H. Ishiguro and N. Hagita, A Communication Robot in a Shopping Mall, *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 26, pp. 897-913, 2010.
 - [13] D. Brscic and T. Kanda, Changes in Usage of an Indoor Public Space: Analysis of One Year of Person Tracking, *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 2015.
 - [14] S. Kajikawa, T. Okino, K. Ohba and H. Inooka, Motion Planning for Hand-over between Human and Robot, *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS1999)*, pp. 193-199, 1995.
 - [15] S. Shibata, K. Tanaka and A. Shimizu, Experimental Analysis of Handing Over, *IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN1995)*, pp. 53-58, 1995.
 - [16] A. Agah and K. Tanie, Human interaction with a Service Robot: Mobile-Manipulator Handing Over an Object to a Human, *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA1997)*, pp. 575-580, 1997.
 - [17] M. Huber, M. Rickert, A. Knoll, T. Brandt and S. Glasauer, Human-Robot Interaction in Handing-over Tasks, *IEEE Int. Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2008)*, pp. 107- 112, 2008.
 - [18] M. Cakmak, S. S. Srinivasa, M. K. Lee, S. Kiesler and J. Forlizzi, Using Spatial and Temporal Contrast for Fluent Robot-Human Hand-Overs, *ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction (HRI 2011)*, pp. 489-496, 2011.
 - [19] Candace L. Sidner and Cory D. Kidd and Christopher Lee and Neal Lesh, Where to look: a study of human-robot engagement, *IN PROCEEDINGS OF INTELLIGENT USER INTERFACES*, 2004, 78-84, ACM Press

- [20] B. Mutlu, J. Forlizzi, J. Hodgins, A Storytelling Robot: Modeling and Evaluation of Human-like Gaze Behavior, IEEE-RAS International ,Humanoid Robots, 2006 6th ,INSPEC Accession Number: 9506261
- [21] C. C. Kemp, A. Edsinger and E. Torres-Jara, Challenges for Robot Manipulation in Human Environments, IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 14, pp. 20-29, 2007.
- [22] A. Sorokin, D. Berenson, S. S. Srinivasa and M. Hebert, People Helping Robots Helping People: Crowdsourcing for Grasping Novel Objects, IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2010), pp. 2117-2122, 2010.
- [23] D. Brscic, T. Kanda, T. Ikeda and T. Miyashita, Person Tracking in Large Public Spaces Using 3d Range Sensors, IEEE Transaction on Human-Machine Systems, vol. 43, pp. 522 - 534, 2013.
- [24] T. Kanda, H. Ishiguro, M. Imai and T. Ono, Development and Evaluation of Interactive Humanoid Robots, Proceedings of the IEEE, vol. 92, pp. 1839-1850, 2004.
- [25] Takayuki Kanda, Dylan F. Glas, Masahiro Shiomi, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita. 2008. Who will be the customer?: a social robot that anticipates people's behavior from their trajectories. In Proceedings of the 10th international conference on Ubiquitous computing (UbiComp '08). ACM, New York, NY, USA, 380-389.
- [26] Topp, Elin A., and Henrik I. Christensen. "Topological modelling for human augmented mapping." Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2006.
- [27] Pronobis, A., Martinez Mozos, O., Caputo, B., & Jensfelt, P. (2010). Multimodal semantic place classification. The International Journal of Robotics Research, 29(2-3), 298-320.
- [28] R.M, Krauss: "why do we gesture when we speak?," Current Directions in Psychological Science, vol.7, pp54-59, 1992

発表リスト

[1] Kana Uotani, Masayuki Kanbara, Shogo Nishimura, Kanda Masataka, Satoru Satake, Norihiro Hagita, "Social Common Sense Modeling of a Spread-out Queue in Public Space for a Service Robot", Human-Robot Interaction 2017.3 (2017) LBR

[2] 魚谷 果那, 西村 祥吾, 神原 誠之, 神田 崇行, 佐竹 聡, 萩田 紀博, "公共空間におけるサービスロボットのための待ち行列の社会常識モデリング" 2018.2(2018)