

街頭アンケートロボットの開発

円筒型マルチタッチディスプレイの実装と操作実験

服部弘平, 川島良太, 大矢晃久 (筑波大学)

1. はじめに

1.1 研究背景

近年、商業施設など公共の場で不特定多数の人と直接インタラクション伴うサービスを提供するロボットがどのようなサービスを提供できるかという研究が盛んに行われている [1] [2]。そこで筆者らは、不特定多数の人とのインタラクションを伴うサービスを、提供者側の視点から「受動的なインタラクションを伴うサービス」と「能動的なインタラクションを伴うサービス」に分類した。

受動的なインタラクションを伴うサービスは、サービス提供側に対してインタラクションのアプローチがくる。例えば、Fig. 1(a)のようにデパートで迷った顧客が受付に自ら行って受ける道案内や、洋服店で顧客が店員に声を掛けて自分の欲しいサイズの服を探してもらうことは、店員と受付がそれぞれサービス提供側に当たり、顧客が必要を感じた場合にインタラクションのアプローチを行う受動的なインタラクションを伴うサービスである。

能動的なインタラクションを伴うサービスはサービスを提供する側からインタラクションを図っていく。Fig. 1(b)のようなティッシュ配りやチラシ配り、街頭アンケート等は積極的に声を掛けるなどのインタラクションのアプローチをサービス提供側から行うため、能動的なインタラクションを伴うサービスである。

以上の分類を現在のサービスロボットに当てはめると、能動的なインタラクションを伴うサービスを提供するロボットは移動や高度なセンシング技術等を必要とするため、受動的なインタラクションを伴うサービスを提供するロボットに対して数が少ない。そこで本研究ではロボットの提供するサービスの応用の可能性を広げることが目的とし、能動的なインタラクションを伴うサービスの一つである街頭アンケートを行うロボット（以降アンケートロボットと呼称）を開発する。



(a) 受動的なインタラクションを伴うサービス (b) 能動的なインタラクションを伴うサービス

Fig. 1 インタラクションを伴うサービスの分類

1.2 街頭アンケートロボット

街頭アンケートは、商業施設などでアンケート実施者が道行く人の中からアンケート調査の対象となる人（以降ターゲットと呼称）を選んで呼びかけ、直接依頼するアンケート方式である。Fig. 2 は通常行われる街頭アン



Fig. 2 街頭アンケートの様子

ケートの様子を表す。まず、実施者は人通りの多い駅前や商店街などである程度の範囲を決め、ターゲットを選んで近くに移動し、声をかける。そしてターゲットが応じてくれた場合、アンケート調査を実施する。

街頭アンケートにはターゲットから直接その場で製品などの実物を見たり触れたりした感想を聞けるといった利点があり、主に新製品開発時の消費者意識調査や商業施設でのユーザビリティ調査等にニーズが高い [3]。一方で、他人から声を掛けられるという抵抗感などからターゲットが調査に応じてくれない場合も多く、調査の実施には時間を要するためアンケート実施者に精神的、肉体的な負担がかかりやすい。

そこでロボットがアンケート調査を実施すれば、その無機質さからターゲットの抵抗感を軽減することが期待でき、アンケート実施者の負担も解消できる。さらに、一度に複数人のアンケートを行う機能をロボットに付加しておけばより効率の良い調査が可能である。

以上のような街頭アンケートロボットを実現するためには人の状態や特徴を認識する機能、平面の移動機構と人が複数人いる状況下での移動方法、アンケートに協力してもらいやすいアプローチの方法等が必要となるが、本研究ではまずロボットのハードウェアを構築しその動作実験を行った。

1.3 円筒型マルチタッチディスプレイの利用

アンケート協力の呼びかけ、アンケート調査の実施にはロボットに搭載したタッチディスプレイを用いる。従来のタッチディスプレイを搭載したロボットには平面型タッチディスプレイが利用されていることが多い。Fig. 3(a) は平面型タッチディスプレイを搭載したロボットと利用者の位置関係を表す。平面型タッチディスプレイの場合、ロボットはディスプレイを利用者に向けた必要があり、操作できる利用者数はディスプレイを向けた方向の相手のみである。よって平面型タッチディスプレイをアンケートロボットに搭載するとアンケート調査時に複数の利用者に対応できない。

そこで、本研究では筆者らが作製したロボットに搭載できる円筒型マルチタッチディスプレイ [4] を利用する。Fig. 3(b) は円筒型タッチディスプレイを搭載したロボットと利用者の位置関係を表す。円筒型タッチディスプレイは左右の画面表示領域の途切れが無いと、全周に対して画像の表示、接触点の認識が可能である [5]。ディ



(a) 平面型ディスプレイ



(b) 円筒型ディスプレイ

Fig. 3 各タッチディスプレイの利用者との位置関係

スプレイに表示する画像の位置を利用者に向ければよい。そのためディスプレイ自体を動かす必要がなく、マルチタッチ機能を有していれば利用者は複数人でディスプレイの周りを囲み、同時に操作できる。すなわち円筒型マルチタッチディスプレイをアンケートロボットに搭載すると複数の相手に対して同時にアンケート調査を実施できる。

これまでに制作した円筒型マルチタッチディスプレイは画像表示、接触点認識機能が画面の一部にしか実装されておらず、さらに投影した画像は元画像に比べて歪んでしまうという問題点があった。そこでディスプレイ全周囲に画像表示および接触点認識機能を実装し、画像が歪む問題点を解消してアンケート調査に利用できるようにした。

本稿では、まず円筒型マルチタッチディスプレイについて説明し、次にこれを搭載したアンケートロボットのハードウェア構成について述べる。そして、実施したアンケートの操作実験について述べ、最後に今後検討すべき課題等を考察する。

2. 円筒型マルチタッチディスプレイ

2.1 原理

Fig. 4 に円筒型マルチタッチディスプレイの構造を示す。円筒型マルチタッチディスプレイはアクリル管、トレーシングペーパー、レーザープロジェクタ、赤外線 LED、赤外線カメラで構成する。画像の表示はアクリル管の内側にトレーシングペーパーを張り付け、アクリル管の内側からレーザープロジェクタで投影して行う。レーザープロジェクタはレーザー光源によって投影先の形状や角度に関係なく常に焦点が合った状態を保てるため、円筒型の曲面にもぼやけない画像を表示できる。接触点の認識には Han の FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) 方式 [6] を利用する。FTIR 方式ではアクリルと赤外線 LED、赤外線カメラを利用して接触点を認識する。レーザープロジェクタによる画像の表示と FTIR 方式の接触点の認識を組み合わせれば、サイズや形状に依存しないマルチタッチディスプレイを作成できる。

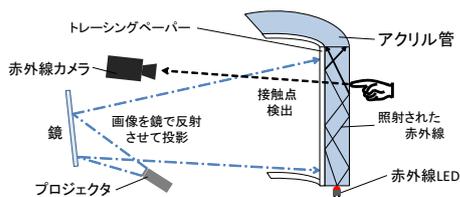
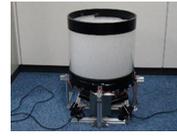


Fig. 4 円筒型マルチタッチディスプレイの構造



(a) 正面



(b) カメラ、プロジェクタ設置部分

Fig. 5 円筒型マルチタッチディスプレイの外観

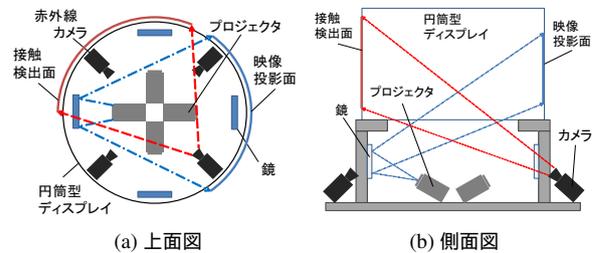


Fig. 6 円筒型マルチタッチディスプレイにおけるレーザープロジェクタと赤外線カメラの配置

2.2 機器の構成

Fig. 5 は本研究で利用する円筒型マルチタッチディスプレイである。ディスプレイには外径 300mm、高さ 300mm、厚さ 5mm のアクリル管を使用し、画像を表示するためにアクリル管内面にトレーシングペーパーを貼り付けている。

接触点検出の赤外線カメラには赤外線撮影機能付きの web カメラである DIGITAL COWBOY 社 DC-NCR13U のレンズに可視光除去フィルタを取り付けて利用する。可視光除去フィルタには富士フイルム社の IR88 を利用した。赤外線カメラは Fig. 6 に示すように 4 台で円筒ディスプレイ全周囲の接触点検出を行う。

映像の投影を行うレーザープロジェクタには ES plus 社の Seeser m2 を利用する。Fig. 6 のように 4 台のプロジェクタを円筒ディスプレイ内側の下部に配置して 4 方向に投影し、円筒ディスプレイの全周囲に映像を映し出す。プロジェクタを配置した位置からディスプレイへ直接映像を投影すると十分な投影距離が得られず投影画面サイズが小さくなり、4 台では円筒ディスプレイの全周囲をカバーすることができない。また、プロジェクタが円筒ディスプレイの下側から斜め上方向に投影を行うためディスプレイ上の投影画像は扇型に歪む。よって投影画像は歪む量も考慮して隣同士のプロジェクタで一部重なるほど拡大する必要がある。そこで Fig. 6 のようにプロジェクタの投影するレーザー光を鏡で一度反射させ、十分な投影距離を得ることで投影画面サイズを拡大し、円筒ディスプレイの全周囲に映像を映し出せるようにする。

歪みについては次節で述べるように投影画像自体に予め補正を加えることで解決する。また、各プロジェクタで投影した画面の接続部はキャリブレーションにより予め合わせておくこととした。

2.3 円筒型ディスプレイへの画像表示

ディスプレイ上の投影画像の扇型の歪みを補正するために円筒ディスプレイにもピクセルを設定し、表示した

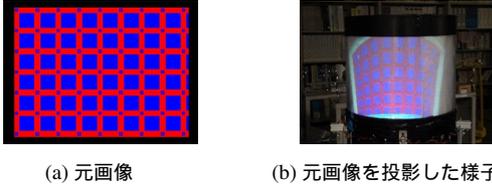


Fig. 7 変換前の元画像のディスプレイへの投影

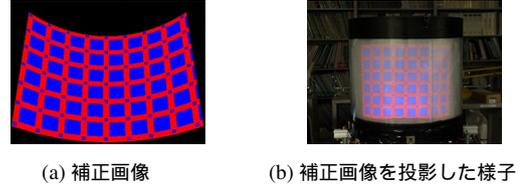


Fig. 8 変換後の補正画像のディスプレイへの投影

い元画像のピクセルとの対応を予め計算してルックアップテーブルを作成する。元画像をルックアップテーブルで変換し、歪みを補正した補正画像を投影する。

元画像の任意の位置のピクセルを $x \times y$ 、元画像のサイズを $W \times H$ 、元画像の解像度を $X \times Y$ とし、補正画像の任意の位置のピクセルを $x' \times y'$ 、補正画像のサイズを $W' \times H'$ 、補正画像の解像度を $X' \times Y'$ とする。また、レーザープロジェクタと円筒ディスプレイの中心との距離を D 、円筒ディスプレイの半径を R 、円筒ディスプレイの画面の高さを $T_{min} \sim T_{max}$ 、レーザープロジェクタの設置角度を ϕ とすると補正画像のピクセル $x' \times y'$ は

$$\begin{cases} x' = \frac{X'}{2} + \frac{2X'\theta}{\pi} \\ y' = \frac{Y'(T_{max}-z)}{H'} \end{cases} \quad (1)$$

となる。ただし θ と z は

$$\begin{cases} \theta = \sin^{-1} \frac{P_y(DP_x + \sqrt{D^2P_x - (P_x^2 + P_y^2)(D^2 - R^2)})}{R(P_x^2 + P_y^2)} \\ z = \frac{P_z(DP_x + \sqrt{D^2P_x - (P_x^2 + P_y^2)(D^2 - R^2)})}{(P_x^2 + P_y^2)} \end{cases} \quad (2)$$

$$(T_{min} \leq z < T_{max}, -\frac{\pi}{4} < \theta < \frac{\pi}{4})$$

であり、 $P_x P_y P_z$ は

$$\begin{cases} P_x = \frac{xH}{Y} \sin \phi \\ P_y = \frac{xW}{X} \\ P_z = -\frac{yH}{Y} \cos \phi \end{cases} \quad (3)$$

である。ディスプレイ上に表示させたい元画像を、求めたルックアップテーブルを用いて変換し、補正画像をレーザープロジェクタで投影すれば歪みなくディスプレイ上に表示できる。今回は円筒ディスプレイ全体の解像度を 2240×420 とし、1台のレーザープロジェクタが円筒型ディスプレイに表示する画像の解像度を 560×420 としてディスプレイ機能を実装した。

Fig. 7(a) は円筒ディスプレイへ表示する元画像であり、Fig. 7(b) は Fig. 7(a) をそのまま投影した様子である。ディスプレイ上に表示された画像は歪んでいる。Fig. 8(a) は Fig. 7(a) をルックアップテーブルで変換した補正画像であり、Fig. 8(b) は Fig. 8(a) を投影した様子である。ディスプレイ上には歪みなく映っていることがわかる。

2.4 マルチタッチセンシングの実装

接触点でディスプレイから拡散反射した赤外線は、赤外線カメラでキャプチャした画像から検出する。キャプチャ画像を2値化し、メディアンフィルタでノイズ除去した後に、ガウシアンフィルタで平滑化処理を施す。そして一定の面積を持つ輪郭の重心を接触点とする。こ

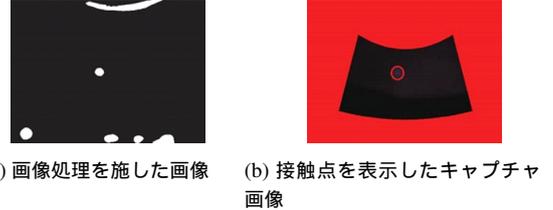


Fig. 9 接触点の検出

での接触点は赤外線カメラのビュースクリーン上での座標であるため、投影画像の座標変換で作成したルックアップテーブルを使用し、実際の円筒ディスプレイ上での座標に変換する。

Fig. 9(a) は赤外線カメラでキャプチャした画像に上記の画像処理を施したものである。Fig. 9(b) はキャプチャした画像に検出した接触点を赤い丸で示したものである。なお、周囲の赤色で塗りつぶされている部分は1台のカメラに割り当てられる円筒ディスプレイの画面外を表す。画像処理により、ディスプレイ上の接触点の位置を認識できた。

3. アンケートロボットのハードウェア構成

Fig. 10(a) に構築したアンケートロボットを示す。ロボット上部に円筒型マルチタッチディスプレイを搭載している。走行系の構成は独立2輪駆動制御を用い、左右のモータ駆動輪と前後に従動車輪の合計4輪を持つ。モータ駆動輪を中心に配置し、重心が左右駆動輪の中央にくるようにすることで前後の加速度や旋回によって転倒しにくいようにした。人や環境を検出するため、ロボットの地上高100cmの位置に北陽電機株式会社製レーザー式測域センサ"UTM-30LX"を取り付けた。

Fig. 10(b) はロボットシステムの構成図である。計算処理やUSB帯域等の理由から、3台のノートパソコンで構成される。1台のノートパソコンがレーザープロジェクタを通してディスプレイに画像投影を行い、もう一台が赤外線カメラで円筒ディスプレイのタッチ検出を行う。もう一台は走行系とTopURGの制御を行い、ノートパソコン同士の通信はEthernetによるTCP/IPで行う。レーザープロジェクタとノートパソコンは出力端子の都合により、USB-RGB2接続器を用いてUSBで接続する。USB-RGB2のドライバがwindowsのみの提供であるため、画像投影を行うノートパソコンのOSはwindowsである。その他2つのノートパソコンのOSはLinuxである。

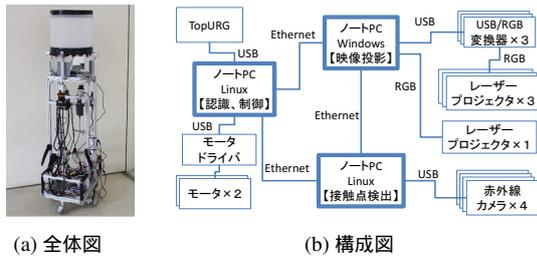


Fig. 10 アンケートロボットの全体図と構成図

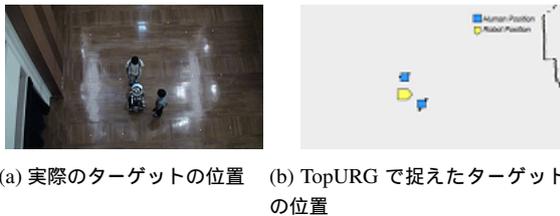


Fig. 11 ターゲットの位置認識

4. アンケートロボットの操作実験

構築したアンケートロボットで実際にアンケート調査を実施できるか操作実験を行った。障害物のない屋内空間にて、2人のターゲットが同時にアンケート調査に応じてくれる場合を想定した。アンケートロボットが、アンケート調査を行うために必要な以下の3つの流れについて動作を確認した。

1) ターゲットの位置認識

ロボットがターゲットに対して呼びかけ、アンケート調査を行うためには、ターゲットとなる人の検出を行う必要がある。ロボットが測域センサを用いてターゲットの位置認識ができるか確認した。今回は、測域センサにより検出した距離データの点群について、隣あう点間の距離を基にクラスタリングを行い、5つの特徴量を使用して人らしいクラスタを検出するアレックスらの手法 [7] を用いた。Fig. 11(a) は実験時の人の位置を示したものである。Fig. 11(b) は測域センサで取得したデータから認識した人とロボットとの位置関係を示した図である。中央の黄色いマークがロボット、青い点人がだと判断したクラスタを表す。近くにいる2人を認識していることがわかる。

2) ターゲットに向けたアンケート調査フォーム画面の表示

ターゲットにアンケートの呼びかけを行うため、ターゲットに向けてアンケート調査フォーム画面を表示する。表示中にターゲットが移動した場合も合わせて画面を移動し、常にターゲットの方向にフォーム画面が表示できるか確認した。Fig. 12(a) は人が移動する前の様子であり Fig. 12(b) は人が移動した後の様子である。2人のターゲットの方向に対してそれぞれアンケート調査フォーム画面が表示できている。

3) アンケート調査フォームの操作

アンケート調査に応じてくれる場合、ターゲットは



Fig. 12 ターゲット方向へのアンケート調査フォーム画面表示

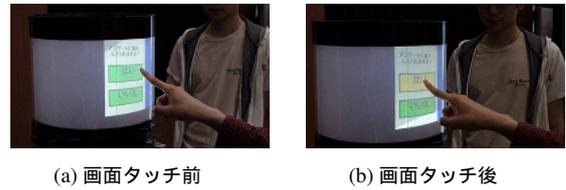


Fig. 13 アンケートフォーム操作の様子

ディスプレイをタッチしてアンケート調査フォームを操作する。Fig. 13(a) はディスプレイに表示されたタッチ前のアンケートフォーム画面、Fig. 13(b) はタッチ後のアンケートフォーム画面である。フォーム上のボタンをタッチすることで項目が切り替わっており、ターゲットがディスプレイをタッチしてフォーム画面に入力を行うことが出来た。

5. おわりに

本稿では本研究で構築しようとする街頭アンケートロボットについて、その主たる構成要素である円筒型マルチタッチディスプレイの構造を述べた。また、アンケートロボット全体のハードウェアを示し、これを用いたアンケートの操作実験について述べた。今後は円筒型マルチタッチディスプレイの改良を検討すると共に、これを使ってターゲットへのアプローチ動作について研究を進めていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 佐竹 聡, 神田 崇行, Dylan F. Glas, 塩見 昌裕, 石黒 浩, 萩田 紀博: “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”, *Proceedings of the 2009 JSME Conference on Robotics and Mechanronics, Fukuoka, Japan, 2009*.
- [2] 石 超, 塩見 昌裕, Christian Smith, 神田 崇行, 石黒 浩: “街角の歩行者にチラシを配るロボット”, 第 31 回日本ロボット学会学術講演会, 2013.
- [3] 酒井 隆: “アンケート調査の進め方 <第 2 版>”, 日経文庫, 2012.
- [4] 森本 悠也, 大矢 晃久: “円筒型マルチタッチディスプレイを備えたロボットシステムの開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, 2011.
- [5] 内藤 真樹, 小林 敦友, 志築 文太郎, 田中 二郎: “円筒型マルチタッチインターフェースによるインタラクション”, 情報処理学会研究報告 (2008-HCI-127), 2008.
- [6] Jefferson Y Han: “Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection”, *Proc. UIST '05*, 2008.
- [7] A.Carballo, A.Oya, and s.Yuta : “People detection using range and intensity data from multi-layered laser range finders” *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 5849-5854, 2010.