

卒 業 論 文

題 目

全方位台車を用いた
ユーザーの位置・向き 誘導モデルの提案

指導教授

今井 倫太 准教授

令和2年度

慶應義塾大学 理工学部 情報工学科

小池 京太郎 (60808076)

論文要旨

学科	情報工学	学籍番号	60808076	氏名	小池 京太郎
(論文題目) 全方位台車を用いた ユーザーの位置・向き 誘導モデルの提案					
<p>今後一般家庭や公共施設では荷物を運ぶ搬送用ロボットが普及すると思われる。人間のいる空間で動作するロボットの移動機構として、並進移動や回転が出来て小さなスペースでも素早く移動できることが求められる。そのような要求を最適に満たすのは、全方位台車と呼ばれるホイールを等角度間隔で3個以上配置した移動機構である。</p> <p>ロボットによる人の誘導の研究は行われてきたが、位置と向きを同時に誘導している例は少ない。またそのような研究でも手によるジェスチャーなどの誘導以外の用途に役立たない汎用性の低いデバイスが必要である。本稿では「全方位台車を用いたユーザーの位置・向き 誘導モデル」を提案する。本モデルを用いると、全方位台車の自由な移動及び回転のみによって人の位置と向きを同時に誘導することが出来る。</p> <p>今回のモデルは、全方位台車で人間が他の人間を誘導する動きを再現させ、その際の全方位台車及び人間の位置関係や向きを分析することにより作成した。具体的には、まず人間に位置および向きの誘導を行わせその動きのデータをモーションキャプチャで取得した。次にそのデータから位置と向きの情報を抽出しそれらの動きを全方位台車に再現させ、全方位台車による案内を被験者に受けさせる実験を行った。実験における全方位台車と被験者の位置および向きの関係を調べ、モデル化を行った。</p> <p>モデルの有効性を示すため、作成した誘導動作において予測される人間の位置と角度を図示するツールを作成した。</p>					

目次

1	序論	1
2	背景	3
2.1	問題設定	3
2.1.1	全方位台車について	3
2.1.2	全方位台車による人の位置向き誘導の必要性	4
2.2	作成すべきモデル	4
3	提案	5
4	システムの実装	7
4.1	使用したハードの仕様	7
4.1.1	全方位台車	7
4.1.2	モーションキャプチャシステム	8
4.2	ハードの利用	8
4.2.1	モーションキャプチャ	8
4.2.2	全方位台車	9
4.3	実時間管理	11
4.4	誘導データ取得システム	11
4.4.1	モーションキャプチャモジュール	11
4.4.2	ログデータ管理モジュール	12
4.5	実験用システム	12
4.5.1	音声再生モジュール	12
4.5.2	ログデータ管理モジュール	12
4.5.3	全方位台車動作モジュール	12
4.6	分析システム	12
4.6.1	ログデータ管理モジュール	13

4.6.2	描画モジュール	13
4.7	誘導動作確認システム	13
4.7.1	誘導予測モジュール	13
4.7.2	ログデータ管理モジュール	13
4.7.3	描画モジュール	13
5	実験	14
5.1	実験準備	14
5.2	実験内容	14
5.2.1	被験者について	15
5.3	実験結果	16
5.3.1	回転を用いた案内における被験者の位置・向き	16
5.3.2	回転の有無による比較	16
6	モデル図示ツール	18
6.1	モデル A の例	18
6.1.1	適切でない誘導	18
6.1.2	修正例	18
6.2	モデル C の例	19
6.2.1	適切でない誘導	19
6.2.2	修正例	19
7	今後の課題	20
7.1	より多様なモデルの作成	20
7.2	モデルを利用した誘導	20
8	結論	21
	謝辞	22

图 目 次

表 目 次

4.1	全方位台車のスペック	7
4.2	S250e のスペック	8
5.1	各パターンのデータ数内訳	16

第1章

序論

公共施設やオフィスにおいて人間をサポートするために、移動式の案内ロボットが一部ですでに導入されている。また、ホテルなどでドアボーイの代わりに荷物の運搬を行うロボットも製作されている。このようにロボットの移動により、人間を誘導する、人間のタスクの物理的負荷を軽減する、といった幅広く実用性のあるサービスを提供できる。こういった移動式ロボットを実現するために近年、ホイールを等角度間隔で3個以上配置した移動機構(全方位移動機構)を持つ車両である全方位台車の設計や動作制御に関する研究が行われている。図??に代表的な全方位台車を示す。こういった全方位台車は並進移動や回転が出来て小さなスペースでも素早く移動できるので、今後一般家庭や公共施設にも搬送などの用途で普及すると思われる。そのように人間のいる環境で全方位台車が上手く働くには、全方位台車によって人間の注意を誘導することが出来る必要がある。なぜなら人間のタスクを移動によりサポートするに当たって、人間に全方位台車を追従させたり特定の方向を指示するからである。例えば荷物を置き場まで運ぶタスクにおいては、人間が全方位台車に荷物を積み、移動する全方位台車を人間が追従し、全方位台車の指定する方向の置き場へ人間が荷物を降ろすといったプロセスとなる。

ロボットにより人間の注意を誘導する研究は多く行われている。Wolfram らは、図??のようにレーザーレンジファインダ、ソナー、ステレオカメラを備えたロボット「RHINO」による美術館での誘導の研究を行った[?]. RHINOにはGUIが付いており、ユーザーの指定した展示物の方へ移動し案内をする。Maren らは図??のヒューマノイドロボット「Alpha」を用い、腕を使った方向指示による展示物への注意の誘導を行った[?]. また、石井らは、図??の受付案内ロボット「KEITA」を用いて対話者に自発的に話しかけ案内を行った[?]. 「KEITA」は全方位移動機構を持ち、移動および手を用いたジェスチャにより人を誘導する。

ところが、全方位台車によって人間の誘導を行う場合、全方位台車と誘導される人間の位置関係のモデルが必要となる。例えば、全方位台車が注意を向けさせたい物に対してこ

1. 序論

の位置にこの角度で存在したら、人間はこの位置にこの角度で立つよう誘導されるという関係のモデルである。全方位台車はこのようなモデルを元に人間を想定した位置や角度へ誘導することが可能になる。

ロボットにより人間の注意を誘導する既存研究において、全方位移動機構を用いていないものは人間の位置と角度を同時に誘導することが出来ていない。そのような研究における誘導は移動と回転を別々に行わなければいけないので誘導の効率が低く、また並進が出来ないことにより移動自体の効率も低い。また全方位移動機構を持つロボットによる研究でも、腕による方向指示のような誘導以外の用途に用いることの出来ない汎用性の低いデバイスによる情報提示を用いている。将来的に普及するであろう搬送用の全方位台車において人間の誘導を行うためには、全方位台車の自由な移動と回転という移動能力および汎用性の高いデバイスのみによる誘導が可能なシステムが必要である。

本研究では「全方位台車を用いたユーザーの位置・向き誘導モデル」を提案する。このモデルを用いることにより、全方位台車の自由な移動および回転によって人間の位置と向きを誘導することが可能である。モデル作成にあたって、全方位台車により人間が他の人間を誘導する動きを再現させ、その際の全方位台車及び人間の位置関係や向きを分析する、といった実験を行った。具体的には、まず人間に位置および向きの誘導を行わせその動きのデータをモーションキャプチャで取得した。次にそのデータから位置と向きの情報を抽出しそれらの動きを全方位台車に再現させ、全方位台車による案内を被験者に受けさせた。実験における全方位台車と被験者の位置および向きの関係を調べ、この位置と角度に全方位台車がいれば人はこの位置と角度に誘導されるというようにモデル化した。本研究では「全方位台車を用いたユーザーの位置・向き誘導モデル」を作成し、モデルを図示するツールにより全方位台車の誘導経路の修正を実現した。

第2章

背景

本章では問題設定および作成すべきモデルについて記述する。

2.1. 問題設定

2.1.1. 全方位台車について

全方位台車とは, ホイールを等角度間隔で3個以上配置した移動機構を持つ車両のことである. 全方位台車は並進移動や回転により小さなスペースでも素早く移動できるので, 今後一般家庭や公共施設にも搬送などの用途で普及すると思われる. 例えば今井らは病院内ロボット搬送システムの開発を研究しているが, ここで用いられているロボットには全方位移動機構が採用されている [?].

全方位台車の普及を受けて, 動作に関する研究が多く行われている. 例えば, L.Huang らは90度間隔でホイールを4輪持つ全方位台車を設計した. また動作アルゴリズムを作成し, 直線や円の軌跡をトレースして動けるか動作検証が行われた [?]. 多田隈らは全方位台車を任意の方向へ任意の回転速度で移動させるための, ホイールの回転速度決定に関する研究が行われた [?]. 本稿の全方位台車の動作はその回転速度決定の行列式を元に設計されている.

全方位台車の位置座標取得は大きく分けて, 全方位台車に搭載されたデバイスにより行う物と外部のシステムから取得するものがある. 全方位台車に搭載するものとしては, レーザレンジファインダによるSLAMといったものがある. 外部のシステムでは, モーションキャプチャが一般的であると思われる.

2.1.2. 全方位台車による人の位置向き誘導の必要性

人間のタスクを全方位台車がサポートするに当って, 全方位台車により人間に場所や方向を指示する必要がある場面が考えられる. 例えば荷物を置き場まで運ぶタスクにおいては, 人間に運ぶべき荷物やそれを置く場所・方向を指示することが求められる. このようなタスクにおいて人間をサポートする場合, 全方位台車により人の位置・向きの誘導が行える必要がある.

2.2. 作成すべきモデル

2.1.2において説明した全方位台車による人の位置・向き誘導を行うためには, 全方位台車の位置・向きに対して人がどのような位置・向きに誘導されるかを示すモデルが必要となる. 本稿ではそのモデルを全方位台車による人の位置・向き誘導の実験を通して作成する. また, 作成したモデルに従い全方位台車の動作に対して予測される人の動作を図示するツールを作る. これにより全方位台車の誘導の動作を改良することが出来る.

第3章

提案

本研究では「全方位台車を用いたユーザーの位置・向き 誘導モデル」を提案する。このモデルによって全方位台車の動きと誘導される人間の位置と方向の関係がわかる。またこのモデルを用ると、全方位台車の自由な移動と回転および汎用性の高いデバイスのみにより人間の位置と向きが誘導できる。よって今後一般家庭や公共施設に普及するであろう搬送用の全方位台車にも役立つモデルである。

本研究のモデルは、全方位台車による展示物の案内の実験を行いその結果を分析することで作成する。本研究では全方位台車として三菱電機特機システム(株)の小型全方位ロボットを用いる。また位置座標取得に OptiTrack 社の NaturalPoint(モーションキャプチャシステム)を用いる。具体的には以下の手順で実験分析を行う。

1. 実験手順

- (a) 人間の案内動作における座標および角度データを取得する
- (b) 上記のデータの動きを全方位台車に再現させ、被験者に案内を受けさせる

2. 分析手順

- (a) 全方位台車が展示物の案内を行っている際の全方位台車および人間の位置と角度の関係を調べる
- (b) 上記を複数の展示物および被験者で行い、全方位台車と人間の位置および角度の関係のモデル化を行う

このようにして作成したモデルに従い、案内動作に対して予測される人間の位置と角度を図示するツールを作成する。このツールに人間の案内動作を入力することにより、全方位台車で動作を再現させた際のユーザーの位置と角度の予測がグラフィカルに視認でき

3. 提案

る． よって適切な位置や方向へ注意を向けることが出来るか, またユーザーの誘導されるであろう位置に障害物はないか, といったことが確認できる．

第4章

システムの実装

本章では, 本研究において用いる誘導データ取得システム, 実験用システム, 分析システム, 誘導動作確認システムの実装について説明する. また, 本研究で用いたハードの仕様やハードに関する実装も併せて説明する.

4.1. 使用したハードの仕様

4.1.1. 全方位台車

本稿では全方位台車として三菱電機特機システム株式会社の小型全方位ロボット (図??) を用いた. スペックは表 4.1 のようになっている.

型名	MDT-RO-02
外形寸法	直径 390mm, 高さ 151mm
重量	約 8kg(バッテリー含む)
電源	模型用 DC7.2V ニッケル水素バッテリー
標準モーター	マブチモータ RS-380 シリーズ
ギア比	1/36(6.5r/s:出力軸)
最高移動速度 (無負荷/平地走行時)	約 1.5km/h
積載重量	15kg 以下 (設置面の状態による)
通信方式	無線 LAN(2.4GHz)

表 4.1: 全方位台車のスペック

この全方位台車は周囲に 90° ごとに 4 個のホイールが配置されており, また無線受信機を搭載している. その受信機と UDP 通信を行い, 4 個のホイールそれぞれの回転数を指定することにより動作する.

幅	8.1cm	遅延時間	4ms
高さ	8.0cm	精度	1mm 以下
奥行	6.8cm	レンズ視野角	43°, 56°
重さ	431g	シャッタータイプ	グローバル
フレームレート	250-30(調整可能)	IR リング	96 個の LED 付
MJPEG フレームレート	125-30(調整可能)	インターフェース	Ethernet/PoE
解像度	832 × 832	マウント	1/4"-20

表 4.2: S250e のスペック

4.1.2. モーションキャプチャシステム

本稿では、全方位台車や人の位置を取得するシステムとして OptiTrack 社のモーションキャプチャシステムを用いた。ソフトウェアは Natural Point Tracking Tools, ハードウェアはモーションキャプチャカメラ「S250e」を用いた。S250e の写真を図??に示す。また、S250e のスペックを表 4.2 に示す。

このモーションキャプチャシステムでは、赤外線を反射するセンサを図??のように 3 個一組の状態にした剛体プレートの位置及び向きの情報が得られる。3 個一組の状態をあらかじめ登録しておき、それらの相対的位置により各々のセンサプレートの個体認識をしている。

4.2. ハードの利用

本研究ではハードとしてモーションキャプチャおよび全方位台車を用いている。ここではそれらの実装について記述する。

4.2.1. モーションキャプチャ

本研究ではモーションキャプチャシステムとして OptiTrack 社の Natural Point Tracking Tools というソフトウェアを用いている。このソフトウェアでは以下の関数を用いてセンサのデータを取得する。

```
TT_TrackableLocation(TRUCK,&x,&y,&z,&qx,&qy,&qz,&qw,&yaw,&pitch,&roll);
```

- TRUCK
 - 予め定義したセンサプレートの番号 (int 値)
 - どのセンサプレートの位置情報を取得するか指定
- `&x,&y,&z`
 - センサの位置情報を格納する変数をここで指定
- `&qx,&qy,&qz`
 - 回転演算がしやすい虚数を用いた位置情報
 - 本研究では用いない
- `&yaw,&pitch,&roll`
 - センサプレートの向き
 - 本研究では yaw のみを用いる

4.2.2. 全方位台車

4.2.2.1. モーター値の送信

本研究で用いた全方位台車は UDP 通信により -100~100 のモーター値を送信しホイールを回転させることで動作する. 具体的には "RXT000GM, モーター値, モーター値;" という文字列を送信する. ホイールが 2 個 1 組となっており, 上記の文字列を 2 つのソケットにそれぞれ送信することにより合計 4 個のホイールを動作させる. 数字を文字列に組み込むのには, `sprintf` 関数を用いた.

4.2.2.2. モーター値の計算

図??「絶対座標系における全方向移動車の制御」の行列式を基に, モーター値の計算プログラムを実装した [?, p15].

モーター値を求める際には角度を補正する計算と距離を補正する計算をそれぞれ行った。角度を補正するプログラムの擬似コードを以下に示す。

IF モーターの角度差が正方向へ 180° 以内 OR 負方向へ 180° より大きい THEN

IF モーターの角度差が負方向へ 180° より大きい THEN

角度差 = $360 - \text{角度差の絶対値}$

各ホイールのモーター値 = $|\text{角度差} * \text{定数}|$

IF モーターの角度差が負方向へ 180° 以内または正方向へ 180° より大きい THEN

IF モーターの角度差が正方向へ 180° より大きい THEN

角度差 = $360 - \text{角度差の絶対値}$

各ホイールのモーター値 = $-|\text{角度差} * \text{定数}|$

目標と現在の角度差に定数をかけて適切な値にした物を4個のホイールのモーター値に足した。また、角度差を直す回転方向は右回りと左回りの2通りあるが、必ず 180° 以内の回転角度に収まるように場合分けをした。次に距離を補正するプログラムの擬似コードを以下に示す。X,Y はそれぞれ図??の座標軸を表す。またモーター値の番号は図??の $v1 \sim v4$ の番号に対応している。

モーター1の値 += $-\sin(\text{台車の角度}) * X \text{ 座標の距離} * \text{定数} + \cos(\text{台車の角度}) * Y \text{ 座標の距離} * \text{定数}$

モーター2の値 += $\cos(\text{台車の角度}) * X \text{ 座標の距離} * \text{定数} + \sin(\text{台車の角度}) * Y \text{ 座標の距離} * \text{定数}$

モーター3の値 += $\sin(\text{台車の角度}) * X \text{ 座標の距離} * \text{定数} - \cos(\text{台車の角度}) * Y \text{ 座標の距離} * \text{定数}$

モーター4の値 += $-\cos(\text{台車の角度}) * X \text{ 座標の距離} * \text{定数} - \sin(\text{台車の角度}) * Y \text{ 座標の距離} * \text{定数}$

行列式の v_X および v_Y にかかる部分の計算をしている．ここでも定数を掛けて適切なモーター値になるよう調整をしている．

4.3. 実時間管理

本研究のシステムでは、実時間的に動作が一致するようにログの記録や読み出しを 0.05 秒間隔で行っている．この時間間隔はプログラムの実行時間とログの精度の兼ね合いを考慮して決定した．具体的な実装方法としては `GetFileTime, FileTimeToSystemTime` 関数により時刻を取得し、プログラムが 1 ループした際に 0.05 秒経過していなければ経過するまで `while` 文を回すという方法を取った．

4.4. 誘導データ取得システム

4.4.1. モーションキャプチャモジュール

`TT_TrackableLocation` 関数を用いて人間の両肩の 2 次元座標を取得する．また、それをもとに位置・向きの算出を行う．位置は両肩の座標の中点を取った．角度は、以下の擬似コードのプログラムで計算をした．

人間のラジアン単位の角度 = アークタンジェント (縦軸方向の距離/横軸方向の距離)

IF 右肩が左上 THEN

 人間のラジアン単位の角度 += π

ELSE IF 右肩が左下 THEN

 人間のラジアン単位の角度 -= π

人間の度単位の角度 = (人間のラジアン単位の角度*180)/ π

アークタンジェントを用いて両肩の座標を結んだ傾きから計算する。また, atan の範囲は $-90^\circ \sim 90^\circ$ なので, 場合わけを行いモーションキャプチャの値に対応するよう $-180^\circ \sim 180^\circ$ に直している。

4.4.2. ログデータ管理モジュール

モーションキャプチャモジュールにおいて取得したデータを, 1 要素ずつ改行してテキストファイルに保存する。ログには通し番号およびシステム時間を利用したタイムスタンプが各組のデータにつけられる。

4.5. 実験用システム

実験用システムの実装を以下に示す。

4.5.1. 音声再生モジュール

wav オーディオファイルを再生する `PlaySound` 関数を用いて録音したファイルを再生する。タイミングはログファイルの通し番号を見て, 番号がある値になったら再生するという形であわせた。

4.5.2. ログデータ管理モジュール

データの記録に関しては誘導動作取得システムと同様である。保存したフォーマットに従い一度に一組 (ある時間における座標値) のログデータを読み出す。実験用システム, 誘導動作取得システムともに 0.05 秒ごとに 1 ループするようになっているので, これによりデータを記録した際と実時間的に同じ動作が出来る。

4.5.3. 全方位台車動作モジュール

全方位台車に関する実装で説明したとおり, 各ホイールのモーター値を計算して送信する。

4.6. 分析システム

分析システムの実装について以下で説明する。

4.6.1. ログデータ管理モジュール

実験システムと同様である.

4.6.2. 描画モジュール

描画ライブラリに OpenGL を用いて, 全方位台車および被験者の位置と向きを線分により 2 次元マップに描画する. 誘導対象となる展示物の位置も, あらかじめ座標を入れておき併せて描画する.

4.7. 誘導動作確認システム

誘導動作確認システムの実装について以下で説明する.

4.7.1. 誘導予測モジュール

実験の章で後述するモデルにより, 全方位台車と予測される人間の位置・向きの差分が分かる. これを元に全方位台車の位置・向きから差分を足し引きして, モデルにおける人間の相対的な位置・向きを算出する.

4.7.2. ログデータ管理モジュール

分析システムと同様である.

4.7.3. 描画モジュール

分析システムと同様である.

第5章

実験

本稿ではモデル作成のための実験を行った。本章では実験準備, 実験内容, 実験結果, それによるモデルの作成について記述する。

5.1. 実験準備

人同士に置ける人間の誘導の動作から, 位置と向きの情報のログファイルを取得した。またこの際に案内の音声を読み上げ, 録音する作業も併せて行った。その様子を図??に示す。

5.2. 実験内容

本稿では全方位台車による矢上の案内を被験者に受けさせ, 被験者の位置と向きのデータを取得する実験を行った。案内というタスクにしたのは, 位置・向きの誘導回数が多く, 効率的にデータを取れるからである。実験の具体的な内容としては, 図??のような空間で全方位台車の動作および音声により矢上の案内を行った。図の軌跡は案内する際の全方位台車の動作軌跡であり, また 1~7 の場所で下記の対応するテキストの音声を再生した。

1. 矢上キャンパスの東側には厚生棟, 実験棟, リサーチセンターがあります。また, 厚生棟 2 階には生協食堂があり, 授業や研究の合間に生徒が食事をとっています。
2. 矢上キャンパスから東を見ると運動場があります。左側には体育館, 奥にはグラウンドがあります。体育館ではスポーツが出来る他, 学生がシャワーをあびることも出来ます。
3. 矢上キャンパスの新棟から北を見ると東京方面の景色が広がっています。武蔵小杉のビルが見えます。

4. 矢上キャンパスの北側には 32 棟と 33 棟が渡り廊下でつながっているのが見えます。またその付近には、紅葉が横並びに立っています。
5. 矢上キャンパスの南側には新棟と呼ばれる円柱の建物があります。2001 年に完成した矢上キャンパスで一番新しいガラス張りの建物です。
6. 矢上キャンパスの西側には教育研究棟と呼ばれる 11 棟や 21 棟があります。1 1 棟は大きな 4 つの教室があり数 100 人の生徒が一斉に授業を受けられます。
7. 東急東横線の線路が住宅の奥に見えます。この角度からは見えませんが、少し南に日吉駅があります。

展示物は矢上の建物に見立てた積み木と、矢上から見える風景をついたてに貼ったものの二種類を用意した。1～7 の展示物の写真を、図??, 図??, 図??, 図??, 図??に示した。全方位台車には、搬送用の車両を想定するため 400mm 立法の黒いアクリルボックスを載せた。また正面がどこか分かるよう、アクリルボックスの 1 つの面の上側に白テープで白線を作った。被験者には音声を聞かせるためのヘッドホンと位置・向きのデータ取得のためのセンサをとりつけた。それらの様子が分かるよう、実験空間の実際の写真を図??, 実験時の全方位台車を図??, また被験者の装備を図??に示す。被験者にはこのような形で二分間ほど案内を受けさせた。またこの実験は、全方位台車の回転運動による誘導の有用性を示すため、回転を用いた案内動作と用いない案内動作 (軌跡は同じ) で比較実験にした。回転を用いた案内では、全方位台車は 1～7 の各案内地点において展示物の方を向く動作を行う。モデル作成に関しては回転を用いた案内動作による実験の結果を用いた。

5.2.1. 被験者について

本稿の実験では、回転を用いた案内で 5 人、用いない案内でも 5 人、の計 10 人の被験者で実験を行った。被験者には全方位台車が案内をする旨のみ伝えてある。

A	地点 2 × 5 人	地点 3 × 5 人	地点 7 × 1 人	11
B	地点 4 × 2 人	地点 7 × 4 人		6
C	地点 1 × 5 人	地点 4 × 3 人	地点 6 × 1 人	9
D	地点 5 × 5 人	地点 6 × 4 人		9

表 5.1: 各パターンのデータ数内訳

5.3. 実験結果

5.3.1. 回転を用いた案内における被験者の位置・向き

1~7それぞれのポイントで展示物を全方位台車が案内している際の、全方位台車と被験者の位置関係のモデルはA(図??),B(図??),C(図??),D(図??)の4パターンあった。全方位台車と被験者の距離や角度の計算方法を以下に記述する。

- 1~7に全方位台車がいる際の被験者の位置・向きの平均値をログファイルから出力した
- 各地点での全方位台車と被験者の位置・向きの関係を調べ、全体で4パターンに場合わけした
- データ数で重み付けして、各パターンにおける全方位台車と被験者の距離、および角度の平均値を計算した

なお、各パターンのデータ数およびその内訳は表 5.1 のようになっている。4の地点においてパターン B と C に分かれたことと、1 人が図??のように途中から逆に回って 6,7 のパターンが他の被験者と変わったことにより各パターンのデータ数がずれている。このようにして、全方位台車と被験者の位置・向きの関係をモデル化した。

5.3.2. 回転の有無による比較

本稿では案内動作の回転の有無による比較実験を行ったので、それに関する結果を記述する。回転を用いた案内動作では、被験者は必ず全方位台車に追従する形で案内を受け、軌跡は図??のようになった。赤い線が被験者の軌跡を示している。対して回転を用いない案内動作では、全方位台車に追従せずに案内を受ける例が見られた。その場合の軌跡は図??のようになった。これは回転を用いた案内動作の場合、被験者は全方位台車をコミュニケーション対象として見ているが、回転を用いない案内動作の場合、被験者は全方位台車をポ

インテイングとして見ているのではないかと考えた. この結果より, 回転を用いる事により被験者の位置の誘導が効果的に行うことが出来たと言える.

第6章

モデル図示ツール

前章において作成したモデルを図示するツールについて本章では説明する。このツールにより作成した誘導経路における人の立ち位置を予測し、経路の修正を行うことが出来る。以下ではその具体例を示す。

6.1. モデル A の例

図??のような環境において、つuitateに貼った写真を見せるよう人を誘導することを考える。以下に適切でない誘導例とそれをモデル図示ツールにより修正する様子を示す。

6.1.1. 適切でない誘導

図??のような軌跡で全方位台車が動き、人を誘導する場合を考える。水色の線が誘導対象のつuitate、紫色は障害物のつuitateを表している。このような軌跡の場合、人は右後方から追従して全方位台車の停止とともに立ち止まることが予測されるので、モデル A を適用する。この軌跡の場合のモデル A を図示すると図??のようになる。赤い四角は全方位台車（二重線の辺が正面）、青の線は人の位置、黒の線は人の視野をそれぞれ表している。このように障害物のつuitateが邪魔になり、適切な誘導とは言えない。

6.1.2. 修正例

モデル A の立ち位置とつuitateの位置を鑑みると、全方位台車の向きを少し右にして位置は左へ移動させると適切な誘導が出来ることがわかる。そのように改善した軌跡を図??に示す。この場合のモデル A を図示すると図??のようになり、適切な誘導が出来ていることが確認できる。

6.2. モデル C の例

図??のような環境において, ダンボール上の積み木を見せるよう人を誘導することを考える. 以下に適切でない誘導例とそれをモデル図示ツールにより修正する様子を示す.

6.2.1. 適切でない誘導

図??のような軌跡で全方位台車が動き, 人を誘導する場合を考える. このような軌跡の場合, 人は右後方から追従して誘導対象のそばで立ち止まることが予測されるので, モデル C を適用する. この軌跡の場合のモデル C を図示すると図??のようになる. このように障害物のついたてが邪魔になり, 適切な誘導とは言えない.

6.2.2. 修正例

モデル C の立ち位置とついたての位置を鑑みると, 全方位台車をダンボールの上の辺へ回り込ませると適切な誘導が出来ることがわかる. そのように改善した軌跡を図??に示す. この場合のモデル C を図示すると図??のようになり, 適切な誘導が出来ていることが確認できる.

第7章

今後の課題

7.1. より多様なモデルの作成

本研究の実験では多くの状況においてある程度の数のデータを取るようにした。しかし一般家庭や公共施設において誘導する際に様々な状況に対応するためには、より多くのモデルのパターンが必要となるだろう。これに関しては、あらゆるパターンに対応できるようにモデルデータを充実させるか、与えられたマップに対してモデルを学習により形成するといった手法が考えられる。

7.2. モデルを利用した誘導

本研究ではモデルを図示するツールにより誘導経路の修正を行うことが出来ることを示した。だが理想的には、モデルを用いて与えられたマップに対して最適な誘導経路を作成する事が出来ると良い。また人間にぶつからないようにする、人間が誘導されているか確認する、といった事のために人間の位置を検出することが出来るデバイスが必要となるだろう。具体的にはレーザーレンジファインダやカメラを用いた画像認識を用いれば良いと考えられる。

第8章

結論

本研究ではモデル作成の為の実験を行い,そこで得たデータにより「全方位台車を用いたユーザーの位置・向き 誘導モデル」を作成した.併せて比較実験を行い,全方位台車による人の誘導の際の回転の有用性を示した.本研究のモデルによって,誘導の際の全方位台車の位置・向きから,誘導される人の位置・向きを予測することが出来る.また提案したモデルを元にモデルを図示するツールを作り,それにより誘導経路の修正を行った例を示した.

謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の機会及び貴重なご意見を頂きました、
慶應義塾大学理工学部 今井 倫太 准教授
慶應義塾大学理工学部 大澤 博隆 助教
に深く感謝致します。

論文の査読をして頂き、細部にわたって御意見を頂きました
理工学部研究科修士課程1年 尾形 正泰 氏
に厚く御礼申し上げます。

実験に御協力頂いた被験者の方々に心より御礼申し上げます。

最後に日頃から御指導、御協力下さいました今井研究室の皆様に心より感謝いたします。

平成24年1月

参考文献

- [Ameba] Ameba. アメーバブログ. <http://ameblo.jp/>.
- [AU 06] AU. EZ メール読み上げ. http://www.au.kddi.com/ez_mail_yomiage/index.html, 2006.
- [goo] goo. goo ブログ. <http://blog.goo.ne.jp/>.
- [Kazuhiko Shinozawa *et al.* 05] Junji Yamato Kazuhiko Shinozawa, Futoshi Naya, and Kiyoshi Kogure. Differences in effect of robot and screen agent recommendations on human decision-making. *International Journal of Human-Computer Studies*, pp. 267–279, 2005.
- [Livedoor] Livedoor. *LivedoorBlog*. <http://blog.livedoor.com/>.
- [W.Berger *et al.* 71] Kenneth W.Berger, and Gerald R.Popelka. Extra-facial gestures in relation to speechreading. *Journal of Communication Disorders*, pp. 302–308, 1971.
- [WordPress] WordPress. . <http://ja.wordpress.org/>.
- [xypoint 00] xypoint. *Nomad*. <http://www.xypoint.com/>, 2000.