

平成 24 年度修士論文

## LS を用いた移動体の進路予測

大学院情報システム学研究科  
情報メディアシステム学専攻

学籍番号 : 1150007  
氏 名 : 大谷 洋介  
主任指導教員 : 末廣 尚士 教授  
指導教員 : 工藤 俊亮 准教授  
指導教員 : 豊嶋 守生 客員教授  
提出年月日 : 平成 25 年 02 月 22 日

# 目次

第1章 序論	5
1.1 背景	5
1.2 本研究の目的	8
1.3 本論文の構成	8
第2章 自動ドアと移動体検出	10
2.1 はじめに	10
2.2 従来の自動ドア	10
2.3 従来研究	12
2.3.1 カメラを用いた移動体の検知および追跡	12
2.3.2 LSを用いた移動体の検知および追跡	13
2.3.3 LSを用いた自動ドアの研究	13
2.4 本研究の位置付け	15
2.5 おわりに	16
第3章 LSを用いた行動予測とドアの開閉	18
3.1 はじめに	18
3.2 スキャン面の設定	18
3.3 移動体の進路予測	19
3.3.1 グルーピング	19
3.3.2 各グループの移動方向推定	19
3.4 ドアの開命令	22

3.5	おわりに	23
<b>第4章</b>	<b>実験</b>	<b>24</b>
4.1	はじめに	24
4.2	実験の設定	24
4.3	センサ概要	25
4.4	実験1 ドアに対して垂直に移動した場合	25
4.4.1	目的	25
4.4.2	手順	26
4.4.3	結果	26
4.4.4	考察	27
4.5	実験2 ドアに対して平行移動した場合	29
4.5.1	目的	29
4.5.2	手順	29
4.5.3	結果	29
4.5.4	考察	29
4.6	実験3 一人は自動ドアから離れ，一人は接近する場合	33
4.6.1	目的	33
4.6.2	手順	33
4.6.3	結果	33
4.6.4	考察	33
4.7	おわりに	35
<b>第5章</b>	<b>結論</b>	<b>36</b>
5.1	結論	36
5.2	今後の展望	38

謝辞	39
参考文献	41
発表論文リスト	43

# 目 次

1.1	無駄な開閉	6
1.2	過剰な開き	7
1.3	自動ドアタッチ式センサ	8
2.1	楕円フィッティング	15
3.1	グルーピング	20
3.2	移動した物体の検索	21
3.3	移動方向ベクトル	21
3.4	移動方向ベクトルとドアの開閉	22
4.1	北陽電機株式会社製 UTM-30LX	26
4.2	実験 1 設定	28
4.3	実験 1 進路予測ベクトル	28
4.4	実験 2 設定	31
4.5	実験 2 進路予測ベクトル	32
4.6	実験 2 失敗時の進路予測ベクトル	32
4.7	実験 3 設定	34
4.8	実験 3 進路予測ベクトル	34

# 第1章 序論

## 1.1 背景

近年，移動物体の位置や速度，進行方向の推定に関する研究が多く行われている．これは侵入検知などのセキュリティや，空間の知能化などに用いられ，移動物体の位置や速度，移動方向に応じて警報を発したり，情報を発したりしている．現在も人感センサを用いた照明器具が広く普及しているが，人間の行動予測を行い，適切なサービスを提供するインテリジェント製品が普及することで，より便利で省エネな社会が実現すると考える．中でも自動ドアは最も身近な人感センサを用いた製品であり，現在いたるところで見ることができる．自動ドアは以下の様な利点がある

- 閉め忘れ，閉め残しがない
- 開閉に力を必要としない
- 挟まれる心配がない

閉め忘れや閉め残しが起こらないため，自動ドアによって仕切られた空間の温度管理，湿度管理，塵埃の遮断，防音・気密など，様々な効果が得られる．また開閉に力を利用しない，挟まれる心配がないため，高齢者や障害者でも簡単に利用することができる．ベビーカーを使用している場合や幼児を抱きかかえているような場合でもスムーズに通り返けることができる．

しかしながらこのように多くの利点がある自動ドアだが，解決されていない以下のような欠点がある

- 無駄な開閉

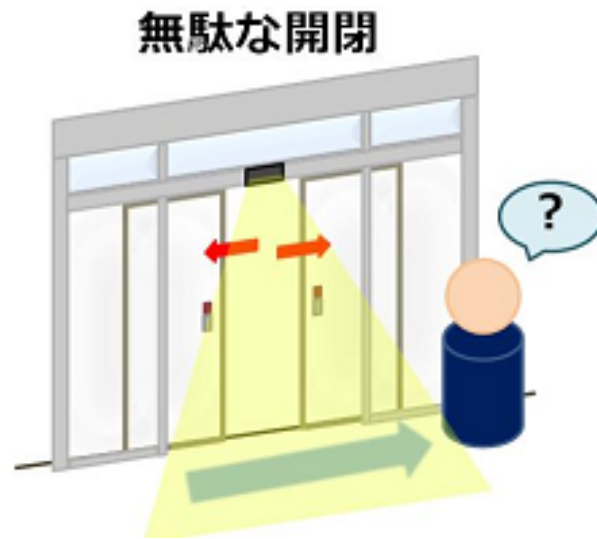


図 1.1: 無駄な開閉

- 過剰な開き

無駄な開閉とは図.1.1のように自動ドアを利用しないにも関わらず，自動ドアの前を横切りドアセンサの監視領域内を通過してしまった場合に起こる．過剰な開きとは図.1.2のように自動ドアを利用しようとする移動体の大きさにかかわらず，常に自動ドアは全開になる．また，移動体がドアを通過した後も一定時間が経たなければドアは閉まらない．これらの動作は，屋内のセキュリティの問題，屋内空調の効率悪化などの問題が発生する．昨今の省エネルギー化への取り組みから，道路など誤開閉が多く発生することが予想される場所では自動ドアではなく手動のドアを設置している建物も多く見られる．しかしながら，ベビーカーや車椅子を利用する場合や荷物を持って移動する場合など，手動ドアでは利便性が悪化することがある．

そのため，自動ドアの欠点に対して以下の様な対策をとって利用している場合が多い．

- センサの測域の縮小化
- タッチ式センサの利用



図 1.2: 過剰な開き

センサの測域の縮小化は、自動ドアの開閉に用いるセンサが反応する領域を狭めることである。これによりドアにより近づかなければ反応しなくなるため、ドアを利用しない移動体に対してドアを開けることが少なくなる。しかし、通常のセンシング領域をもつ自動ドアに比べ、対策された自動ドアでは開き始めるタイミングが遅くなるため、歩行者がドアに到達したときにはまだ通り抜けられるだけの開口幅にならないことも多く、ドア利用者は減速や停止をしなければならなくなる可能性がある。図.1.3のようなタッチ式センサの利用は、ドア面に設置されたタッチプレートが歩行者が押すことにより、プレートの発信部からレシーバに電波を送信してドアを開閉させるため、不要な開閉がなくなる自動ドアである。しかしながらこれらの方法は、移動体に対して減速、または停止をさせなければならない場合がある、不特定多数の者が触れたタッチプレートを触れなければならないなどの問題点を生み、利用者にストレスを与えてしまう。また、タッチプレートの衛生面やスイッチの故障、バッテリー切れによる問題を解決するために、ドア面に手をかざすだけで反応する非常に狭い観測領域のセンサを搭載した自動ドアも販売されているが、歩行者はタッチプレートを用いた時と同様に減速や停止をしなければならなくなるため、スムーズな通りぬけはできない。





図 1.3: 自動ドアタッチ式センサ

このように，自動ドアのもつ欠点を根本的に解決する製品は未だ普及していない．

## 1.2 本研究の目的

以上の背景の下，本研究ではセンサによって観測された移動体の行動予測手法を開発し，そこから得られた行動情報を用いて，ある地点を通過する移動体の有無を予測する手法の開発を目的とする．さらに開発した手法を用い，自動ドアを利用する移動体に対して適切な開閉を行うインテリジェント自動ドアを提案する．

## 1.3 本論文の構成

第 2 章では現在報告されているインテリジェント自動ドアの研究の残された課題を挙げ，本研究の位置付けについて論ずる．ここでは従来の自動ドアの仕組みとセンサについて述べ，カメラと Laser scanner (LS) を用いた移動体検知と移動方向推定についての従来研究を紹介する．さらにインテリジェント自動ドアについての先行研究を紹介し，その成果と課題を挙げ，本研究の位置付けを示す．

第 3 章では LS を用いた移動方向の推定手法について論ずる．ここでは LS の設定，LS に

よって得られた距離データのグルーピングと各グループの移動方向推定手法について説明する．さらに本手法によって得られる情報を用いた自動ドアの開閉アルゴリズムを説明する．

第4章では第3章で示した手法の有効性を検証するために，本手法を用いた自動ドアシミュレータを作成し実験を行う．3種の状況についての実験結果を示し，その結果について考察する．

第5章では本研究の結論及び今後の課題について述べる．

## 第2章 自動ドアと移動体検出

### 2.1 はじめに

本章では自動ドアにおける移動体の検知について示し，移動体の検出と移動方向の推定の従来研究について述べる．また自動ドアにおける先行研究の成果と課題を示し，その課題に対する本研究の位置付けを述べる．

2.2 節では従来の自動ドアに用いられているセンサについて説明している．さらに現状の自動ドアの問題点について説明する．

2.3 節ではカメラとLSを用いた移動体検出と移動方向推定の従来研究を紹介し，その特徴をまとめる．またLSを用いたインテリジェント自動ドアの研究を紹介し，その成果を紹介する．

2.4 節では2.3 節で紹介したインテリジェント自動ドアについての研究の課題を挙げ，本研究の位置付けを示す．

### 2.2 従来の自動ドア

日本の自動ドアは，1920 年代後半に初めて船に設置され，その後，建築用として1950 年代後半から広く普及した．現在，日本国内では200 万台以上の自動ドアが稼働していると推定されている．

自動ドアには、ドアのそばに来た人や物を感知するセンサ（検出装置）、ドアの開閉をコントロールする制御装置、ドアを動かすモーターによって構成されている。この物体検出センサには以下のものが多く使われている [1]。

- マットスイッチ（圧力センサ）

床に設置し、移動体がドアの前に来たことを移動体の重量によって感知するセンサであり、かつては自動ドアの検出装置の主流であった。しかしマット型のセンサは直接重量を受けるため故障が多く、他のセンサの価格が下がってきたことにより現在は使われなくなってきている。

- 光線反射センサ（近赤外線反射式センサ）

一定の範囲に向けてセンサから近赤外線を放射し、その光が物体に当たって反射する度合いの変化を検出する。現在は国内の自動ドア物体検出センサの大半を占めている。

- 熱線センサ（遠赤外線検知式センサ）

一定の範囲の中で物体が放射する遠赤外線の変化を検出する。物体の温度が高いほど遠赤外線の放射量が多いため、人間などの熱を持った移動体によく反応するが、無生物である荷物などは反応しないことがある。

- 光電管センサ（別称：近赤外線透過式センサ）

投光器と受光器が対になったセンサで、投光器から受光器に向け近赤外線レーザーを放射し、その光が遮られたことを検出する。自動ドアではドアの左右にボタン型の小さい投光器と受光器が設置される事が多く、ドアが開いているときに光を遮る人などがいないかを検出する補助センサとして利用されている。

- タッチ式センサ

ドアに設置したタッチプレートを押して自動ドアを開ける操作スイッチである。ドアの直前を素通りする人が多い場所などで、ドアの不要な開閉を防ぐために用いられる。

タッチプレート内部に小型無線発信機を内蔵しており，ドア開閉制御装置に接続した受信機に無線で操作信号を送る．

ドアの近くに人や物が来ると，自動ドアに設置されたこれらのセンサが物体を検出して制御装置に信号を送り，制御装置はモーターを動かしてドアを開く．そしてドアのそばから人がいなくなるとセンサがそれを制御装置に伝え，制御装置はモーターを動かしてドアを閉じる．現在の多くの自動ドアは事前に登録されたセンサ観測領域内の環境が単純に変化するとドアを開くようにできている．つまり，センサ観測領域内がどのように変化したかということとは考慮されておらず，ドアを利用しようとする移動体もそうでない移動体も同じ変化として認識されてしまう．本稿の目的である，自動ドアを利用する移動体に対して適切な開閉を行うためのドア制御には，移動体がどの方向に動いているかを知る必要がある．移動体がどの方向に動いているかを知ることが出来れば，ドアに侵入しようとしているかどうかを予測することができる．よって自動ドアの適切な開閉のためには，従来の自動ドアの開閉アルゴリズムに加えて新たな移動体の検出法とその移動体の移動方向推定が必要である．

## 2.3 従来研究

移動体の検出とその移動体の位置や速度，進行方向の推定に関する研究において，センサとして様々な物が用いられる．

### 2.3.1 カメラを用いた移動体の検知および追跡

単眼カメラを用いて移動体検知を行う手法には，輝度画像を用いることで検知を行うものがあり古くからたくさんの研究がなされている [2], [3], [4]．これらは背景差分とフレーム間差分を用いることで人物検知を行なっている．しかしこれらの単眼カメラによる移動体検知は照明変化などがおこる環境ではロバストに対応できない．このような照明変化等の環境条件の変動に対応するため，ステレオカメラを用いた研究もなされている．吉山ら [5] は PointGrey 社製の全方位カメラ “Ladybug3” を用いて人物の検出を行った．高屋ら [6] らは 3

眼カメラをベースとした高機能三次元視覚システム (VVV) を用い、作業中の油圧ショベルのバケットを計測した。しかし、ステレオカメラは距離情報だけでなく画像から色情報などを取得できる利点があるが、計算量が多くなること、距離が遠くなるほど精度が低くなるなどの欠点がある。また受動型センサであるため外乱光の影響を受けやすいという欠点も持つ。本研究でセンサを用いる自動ドアは、屋内と屋外を仕切る場所に設置されることも多く、光や熱などの外乱に強くなければならないだけでなく、夜間などの照明が不十分な状況でも利用できなければならない。

### 2.3.2 LS を用いた移動体の検知および追跡

LS はある平面に存在する障害物までの距離を角度ごとに検知するセンサである。距離データの精度は高く、広い範囲を短時間で計測することができる。LS は能動的に赤外光を投射して計測するため、鏡のような物体を除けば対象物を選ぶことない、光や熱などの外乱に強く夜間の利用も可能であるといった特徴を持つ。またカメラのように画像を取得するセンサに対して、LS はプライバシーの保護という点において有利である。実際に様々な環境で人間を検出するロボットなどのシステムの多くに二次元 LS が使用されている。中村ら [7], [8] は環境に固定した LS を 6 台用いて歩行者の足首を計測することで追跡を行った。歩行動作の解析によって複数状態遷移を持つカルマンフィルタを用いることで通勤ラッシュ時の駅において 80% の追跡成功率を達成した。

### 2.3.3 LS を用いた自動ドアの研究

松原ら [9] [10] は以下の 3 点を実現するインテリジェント自動ドアを開発した。

- ドアに近づく歩行者の速度に応じて開くタイミングを変える。具体的には、接近速度が大きい場合は早めにドアを開け、速度が小さい場合はドアに十分近づいてから開ける。
- ドアに近づく歩行者の幅や人数に応じて開くタイミングと幅を変える。

- ドア前に立ち止まっている人や、極めて遅く近づく人に対しても、身体の向きを検出し、ドアを開くかどうか判定を行う。

提案されたインテリジェント自動ドアのセンサはドアの両脇に置かれた2台のLSであり、これらセンサからの情報を以下のように処理しドアの開閉判定を行った。

- LSの観測点から歩行者特徴を検出
- 歩行者の行動予測
- ドアを開閉するか判断

この歩行者特徴とは歩行者の腰部分の観測点列を図.2.1のように楕円にフィッティングして得られる以下の数値である

- 中心位置
- 移動速度
- 身体の向き

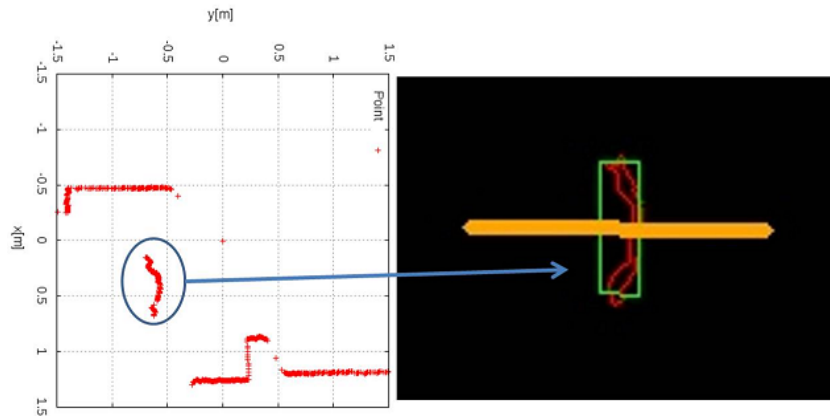


図 2.1: 楕円フィッティング

この情報をもとに歩行者の行動予測を行いドアの開閉判断を行い，以下の成果をあげた．

- 早足でドアに侵入する歩行者に対しては，従来の自動ドアではドアが開ききらず衝突してしまう．松原らのインテリジェント自動ドアは十分手前から開動作を始め，通り抜けるために十分な幅を開くことができた．
- 自動ドアの前に立ち止まった場合，従来の自動ドアでは常に開いた状態になってしまう．松原らのインテリジェント自動ドアはドアに対して横を向いている場合は開かず，ドアに正対したときには開くことができた．
- ドア前約 0.6m をドアに対して平行に移動する歩行者に対して，従来の自動ドアでは開いてしまう．松原らのインテリジェント自動ドアは 60%以上の確率で「ドアを通過しない」と判断し開閉動作を行わない．

## 2.4 本研究の位置付け

自動ドアのように様々な環境で用いられることを考慮し，センサに LS を用いることとする．この LS を用いた松原らの研究では楕円フィッティングを行うことで移動方向の推定を



安定化していた．その結果，2.3.3 であげた従来の自動ドアからの性能向上を果たした．一方，松原らの研究は以下の様な課題を残している．

- 安定な楕円フィッティングを行うためには十分な計測点が必要であり，そのために LS を 2 台用いていた．
- 人間の胴体以外の形状のものに対しては正しくフィッティングが行えない
- 複数の移動体への対応が難しい

自動ドアが製品として成り立つためには価格を抑えなければならない．よって複数の LS を用いることは，製品の価格上昇を招くため避ける事が理想である．また自動ドアを利用する移動体は荷物を抱えていたり，台車を押していることがあるため，LS によって得られる観測点列が楕円形状をしていないことがある．そのような場合楕円フィッティングが正しく行えない可能性があるため，松原らの手法では移動方向推定の精度が落ちてしまう問題がある．またオクルージョンが起こり，移動体の観測点が減ると楕円フィッティングが難しくなるという問題もある．そこで本研究では移動体に対して適切な開閉を行う自動ドアアルゴリズムの開発のため，松原らの手法における課題の解決を以下の 3 点の手法でさらなる性能向上を目指す．

- 使用する LS を 1 台とする
- 楕円フィッティングを用いずに移動方向推定を行う

## 2.5 おわりに

本章では自動ドアにおける移動体の検知について示し，移動体の検出と移動方向の推定の従来研究について述べた．また自動ドアにおける先行研究の成果と課題を示し，その課題に対する本研究の位置付けを述べた．

2.2 節では従来の自動ドアに用いられているセンサについて説明している．さらに現状の自

動ドアの問題点について説明した．

2.3 節ではカメラと LS を用いた移動体検出と移動方向推定の従来研究を紹介し，その特徴をまとめた．また LS を用いたインテリジェント自動ドアの研究を紹介し，その成果を紹介した．

2.4 節では 2.3 節で紹介したインテリジェント自動ドアについての研究の課題を挙げ，本研究の位置付けを示した．

## 第3章 LSを用いた行動予測とドアの開閉

### 3.1 はじめに

この章ではLSを用いて移動物体を観測し，ドアの開閉制御を行う手法について論じる．

3.2節では，LSのスキャン面の設定について述べる．

3.3節では，LSによって観測された点群から物体の移動方向を推定する手法を述べる．LSによって得られる距離データをグループ化する手順を説明し，その各グループデータを用いて物体の移動方向を推定する手法を述べる．

3.4節では3.3節で推定された移動方向から進路予測ベクトルを算出し，進路予測ベクトルを用いたドアの開閉プロセスを述べる．

### 3.2 スキャン面の設定

松原や中村らはLSによって地面に水平なスキャンを行っており，本稿においても水平なスキャンを用いている．既存の自動ドアのセンサはドアの形状や設置する環境の制約により，センサの位置や向きは設置者の判断に任されている．設置する場所によっては非常に狭い領域を観測してドアの開閉を行わなければならないこともある．本稿では環境に依存せずに移動物体の観測を行うため，自動ドアの脇にLSを地面に水平なスキャン面を持つように設置した．

### 3.3 移動体の進路予測

本節ではLSによって得られる観測点群から、物体の移動方向を推定する手法を示す。

中村らは移動体同士の接近やオクルージョンによって移動体それぞれが正確にグルーピングできない場面を想定し、カルマンフィルタを用いて移動体の追跡を行なっている。しかし自動ドアの開閉に必要なことはドアに向かってくる物体があるかどうかであるため、移動体それぞれに対して必ずしも正確な追跡が必要なわけではない。オクルージョンによって移動体の追跡が困難になった場合、隠れる前の移動体と隠れがなくなった後の移動体が同物体であるかどうかは自動ドアの開閉に必要ながないため、各移動体をすべての時間において確実に追跡し続けなくてもよいということである。よって本手法では確率を用いた追跡は行なっていない。

#### 3.3.1 グルーピング

事前に背景情報を記録しておき、グルーピングを行う前に観測情報と背景情報との差分をとる。この背景差分をとった距離データを用いグルーピングを行う。図.3.1の左図のように背景ではないスキャン点の集まりを1グループとする。しかし、図.3.1の右図のように移動体が重なっていることもありうるので、隣り合う距離データを比較し、ある距離以上離れていればそこでグループを分ける。この距離は、被験者数人にぶつからない程度に意図的に近寄って移動してもらい、その胴体間の距離を測定した値より0.5[m]とした。隠れがある場合楕円フィッティングが困難であるが、本手法では隠れも考慮してグルーピングしている。グループ化した後、グループの重心を計算しこれを移動体の位置とした。

#### 3.3.2 各グループの移動方向推定

LSのスキャンデータ間の時間差を  $T[\text{sec}]$  とする。このセンサによって得られた  $t[\text{sec}]$ 、 $t-T[\text{sec}]$ 、 $t-2T[\text{sec}]$  の3つの連続したスキャンデータに対し、前述のグルーピングでを行い移動方向の予測を行う。まず図.3.2にあるように  $t[\text{sec}]$  のあるグループの重心から、 $t-T[\text{sec}]$  の

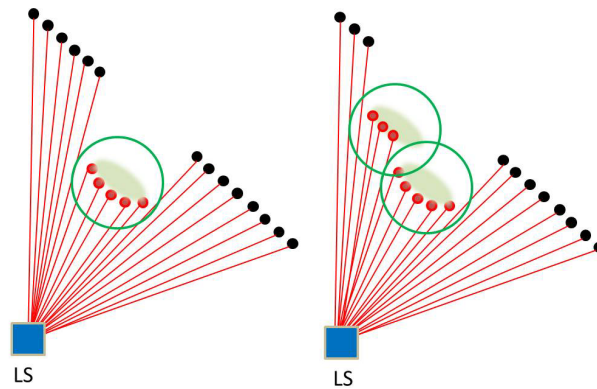


図 3.1: グルーピング

各グループ重心までの距離を計算し  $dist$  として記録する．自動ドアを利用する移動体の速度を考えると， $T[\text{sec}]$  で移動できる距離は非常に小さく，この重心距離が最も近いものが同物体の候補となる．しかし，この重心距離が最も近いものをそのまま採用すると，ノイズや歩行者の腕など移動した同物体ではないものを採用してしまうため，グループのスキャン点数を用いて以下のような判断を行った．図.3.2 のように  $t[\text{sec}]$  のあるグループのスキャン点数  $n_t$  と， $t-T[\text{sec}]$  の各グループのスキャン点数  $n_{t-T}$  を比較し，以下の式を用い  $Score_{point}$  を算出．

$$Score_{point} = \frac{|n_t - n_{t-T}|}{n_t} \quad (3.1)$$

この値が 0.2 を超える場合は同物体として採用せず，次に重心距離が近いものを候補とし，再び  $Score_{point}$  によって検討する．これを繰り返し同物体の候補を検索するが，重心距離が 0.25m 以内で候補が発見できない場合は検索を終了する．

この重心距離と  $Score_{point}$  による検索で  $t[\text{sec}]$  のグループと  $t-T[\text{sec}]$  のペアを作り，移動した同物体とする．以上の検索を  $t-T[\text{sec}]$ ， $t-2T[\text{sec}]$  において行う．この計算によって得たペアのベクトルは図.3.3 の左図のようになる．その後  $t[\text{sec}]$  と  $t-T[\text{sec}]$  間で得たベクトルと， $t-T[\text{sec}]$  と  $t-2T[\text{sec}]$  間で得たベクトルとの平均をとる．この図.3.3 の右図における平均ベクトルを  $t[\text{sec}]$  における移動体の移動方向ベクトル  $\vec{p}_o$  とする．

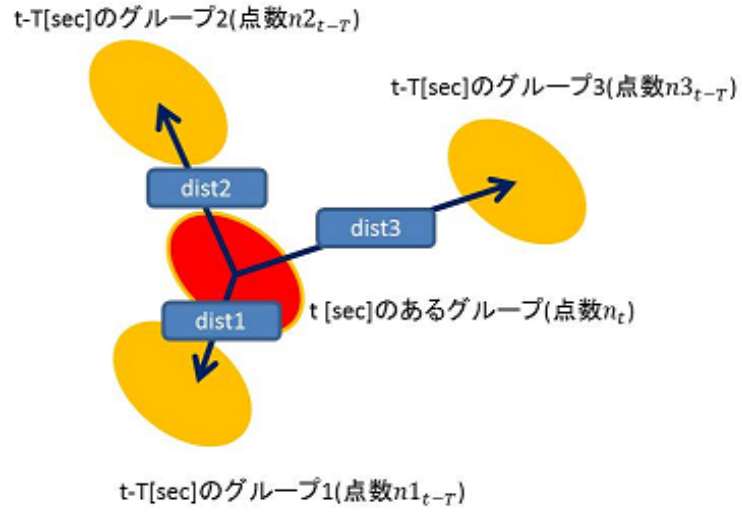


図 3.2: 移動した物体の検索

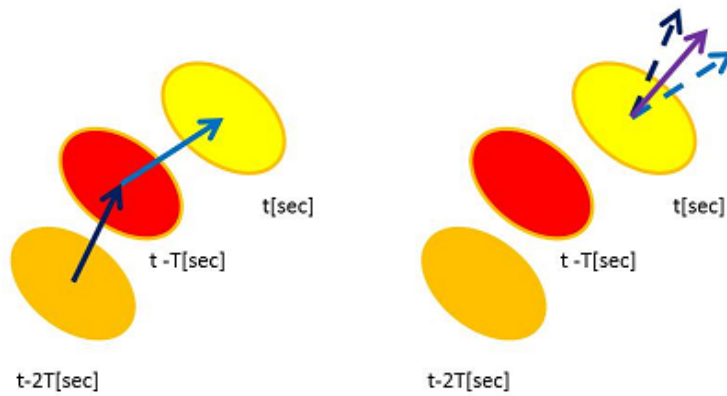


図 3.3: 移動方向ベクトル

### 3.4 ドアの開命令

前項で得たグループの端点の距離情報を用いて移動体の幅  $w[m]$  を算出し、さらにドア通過時の安全のためこの  $w[m]$  に  $0.4m$  のマージンを加えた。この幅と自動ドアの開速度  $v_{door}$  を用いて、移動体がドアを通過する際に、必要な開き幅まで開くためにかかる時間  $t_{open}$  を算出した。ベクトル  $\vec{p}_o$  は  $T[sec]$  の間にグループが移動したものであるため、 $\vec{p}_o$  を  $t_{open}$  の時間分延長し、 $t_{open}$  後の到達予測地点を指すベクトル  $\vec{p}$  を算出した。そして図. 3.4 に示す進路予測ベクトル  $\vec{p}$  とドアの左右端を結んだベクトル  $\vec{d}$  との交差判定を行い、3回連続して交差する場合には開命令を出すことにした。

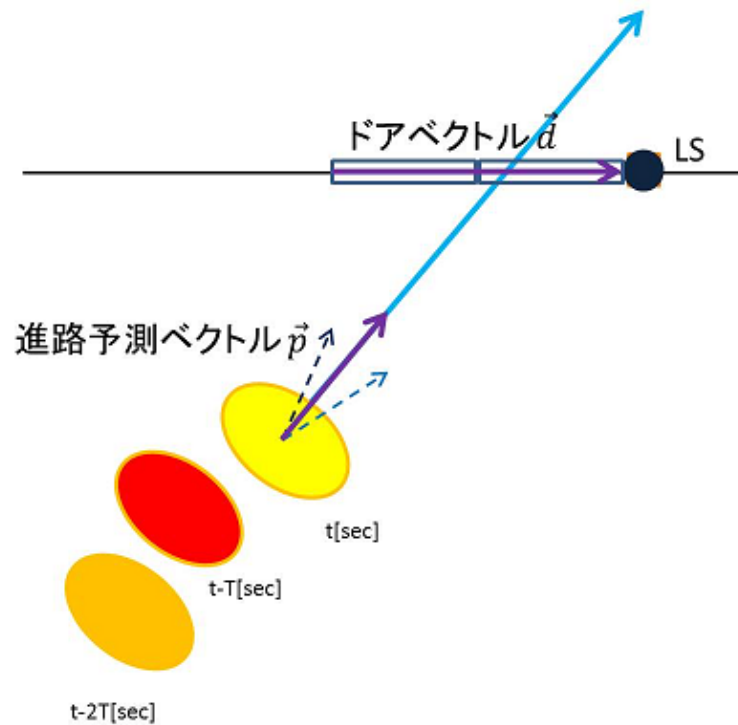


図 3.4: 移動方向ベクトルとドアの開閉

## 3.5 おわりに

この章ではLSを用いて移動物体を観測し，ドアの開閉制御を行う手法について論じた．

3.2節では，LSのスキャン面の設定について述べた．

3.3節では，LSによって観測された点群から物体の移動方向を推定する手法を述べた．LSによって得られる距離データをグループ化する手順を説明し，その各グループデータを用いて物体の移動方向を推定する手法を述べた．

3.4節では3.3節で推定された移動方向から進路予測ベクトルを算出し，進路予測ベクトルを用いたドアの開閉プロセスを述べた．



## 第4章 実験

### 4.1 はじめに

本章では提案した手法を用い，その動作を確認する．

4.2 節では実験の設定を述べる．

4.3 節ではドアに対して垂直に移動する移動体に対して，提案手法の有効性を確認する．

4.4 節ではドアに対して平行に移動する移動体に対して，2種類の位置で実験を行い，提案手法と先行研究である松原らの手法を比較する．

4.5 節ではドアから離れていく移動体とドアに侵入する移動体がセンサ観測領域内に同時に存在した場合の実験を行う．

提案手法がドアから離れていく移動体にはドアを開かず，ドアに侵入する移動体にのみ適切な開命令を出すかを確認する．

### 4.2 実験の設定

提案した手法の有効性を確認するため，通常の自動ドアではすべて開いてしまう以下の3種の状況において実験を行った

- ドアに対して垂直に侵入
- ドア前の横切り
- 一人はドアから離れ，一人はドアに侵入

またドア前の横切りに関しては，先行研究である松原らの結果と比較を行った．また，3種の実験に共通する設定を以下に挙げる．

- LS は地面からの高さでドアに向かって右脇に設置した．
- 歩行者の体の幅は 0.40[m]，ドアの開き速度は 0.40[m/sec] である．
- またドアの開閉はシミュレーション上で行われており，実験環境にはドアは存在しない．

### 4.3 センサ概要

本研究では移動体観測のために北陽電機株式会社製の LS である UTM-30LX を用いた．図.4.1 で示すこのセンサは半導体レーザを照射し，対象物にあたって返ってくるまでの時間を測定することにより，対象物までの距離を測定するセンサである．センサの周囲 270[deg] の扇状の平面を反時計回りに計測する．角度分解能は 0.25[deg] であり，距離データを 1801 点出力する．距離の精度は 10m までは誤差 3[cm] 程度，10[m] から 30[m] は誤差 5[cm] 程度で，最大 30[m] の距離を測定でき，スキャンのサンプリングレートは 40[Hz] である．またレーザの波長は 905[nm] の近赤外波長 (FDA レーザ安全クラス 1) で目に入っても安全である．

## 4.4 実験 1 ドアに対して垂直に移動した場合

### 4.4.1 目的

ドアを通り抜けようとする移動体に対して，提案手法を用いたシミュレータが適切な動作をするかを確認する．このとき，センサ領域内に侵入した移動体に対して，ドアを単純に全開にするのではなく，移動体の幅に合わせて開き幅が調節されるかを確認する．



図 4.1: 北陽電機株式会社製 UTM-30LX

#### 4.4.2 手順

図.4.2 に示すようにドアの正面方向からドアの中心を通り抜ける実験を行った。歩行者には速度 1[m/sec] 程度で歩行してもらい、ドアの開口部の中心を通り抜けるよう指示をした。

#### 4.4.3 結果

進路推定によって算出された進路予測ベクトル  $\vec{p}$  を図.4.3 に示す。実際の自動ドアと同様の動きをするシミュレータではセンサの観測範囲に入ると即座に開く命令が出たのに対し、提案したアルゴリズムではドア開口部の中心と移動体の距離が 2.0[m] になったときに開命令が出た。この結果、胴幅 0.40[m] に対しドアの開き幅は 0.84[m] であり、ドアは被験者が安全に通り返られる幅に開いた。

#### 4.4.4 考察

胴幅 0.40[m] に対しドアの開き幅は 0.84[m] であり，歩行者に対して提案アルゴリズムが十分な開き幅で動作したことを確認した．アルゴリズム上では，LS で観測された胴幅に対して 0.40[m] の余裕を持つように設定されているが，実際の開き幅は 0.84[m] となり，余裕は 0.44[m] となった．これは人間の歩行速度を完全に一定にすることができなかつたためである．実験の設定である歩行速度 1[m/sec] に対して，ドアが開き始めてから歩行速度が 0.05[m/sec] ほど減少し，ドアに到着するまでに 2.1[sec] かかっていることが原因であった ..

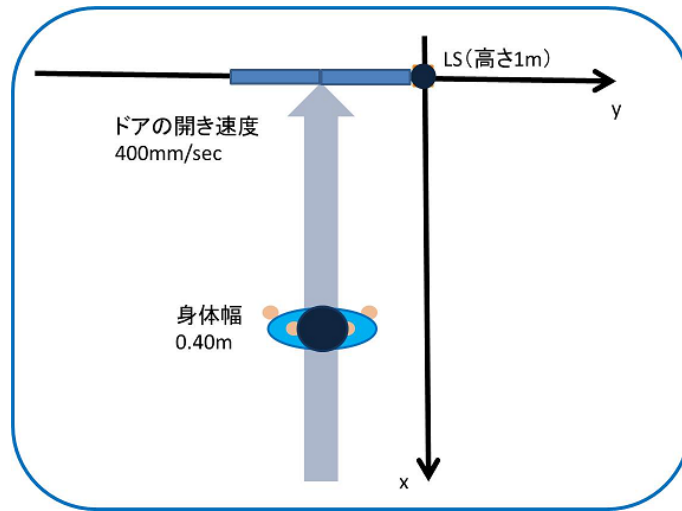


図 4.2: 実験 1 設定

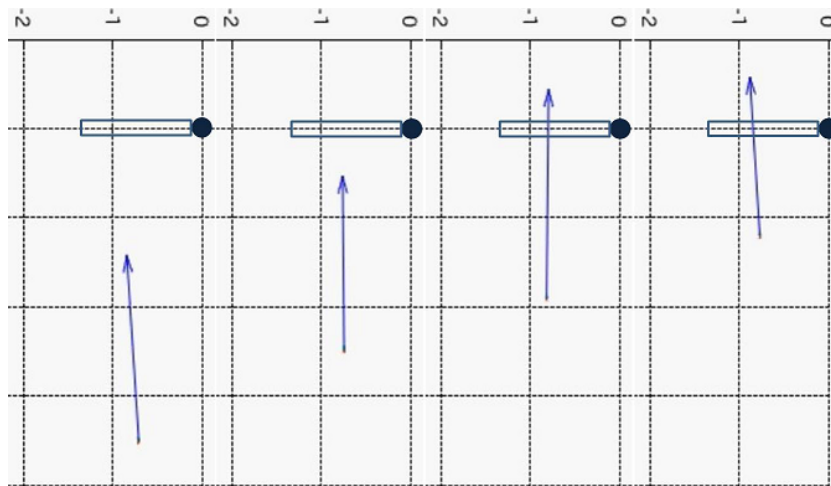


図 4.3: 実験 1 進路予測ベクトル

## 4.5 実験2 ドアに対して平行移動した場合

### 4.5.1 目的

ドアを利用しない移動体がセンサの観測領域内を通過する．そのときに提案手法を用いたシミュレータがドアに対して開命令をだすかどうか確認する．

### 4.5.2 手順

図.4.4 に示すように歩行者がドア面に対して平行に通り抜ける実験を行った．歩行者には速度 1m/sec 程度で歩行してもらい，ドア面に対して決められた距離を平行に通り抜けるよう指示をした．歩行するドアからの距離は 1[m] と 0.6[m] に設定，1[m] は 10 回，0.6[m] は 40 回歩行させた．

### 4.5.3 結果

進路推定によって算出された進路予測ベクトル  $\vec{p}$  を図.4.5 に示す．ドアから 1[m] の位置の歩行において，従来のドアシミュレータでは 100%開命令がでたのに対し，提案したアルゴリズムでは全く開命令は出なかった．ドアから 0.6[m] の位置の歩行において，従来のドアシミュレータでは 100%開命令が出たのに対し，提案したアルゴリズムでは 40 回の試行すべてで誤開は起こらず，成功率は 100%となった．先行研究である松原らの結果である 60%を上回る結果を得た．

### 4.5.4 考察

ドアから 1[m] の位置を歩行した場合は誤開をまったく行わなかったのに対し，ドアから 0.6[m] の位置を歩行した場合は 40 回中 6 回の歩行で進路予測ベクトルがドアベクトルと交差した．交差時の進路予測ベクトルの様子を図.4.6 に示す．これは人間が二足歩行するとき，接地している足側に上半身が傾く動作をセンシングして起こる進路予測ベクトルのブレ

が原因である．本手法では急なブレに対応するため3つのスキャンデータ間の平均をとって進路予測ベクトルを算出している．しかしながら歩行中のよろめきや，個人の歩行の癖などで上体が傾くことがあり，本手法ではその影響を受けてしまっていることがわかる．この進路予測ベクトルのブレによる誤開を無くすために，本手法のドア開閉アルゴリズムでは進路予測ベクトルがドアベクトルに3回連続して重なっている場合にのみドアをあけるようにした．3回以上連続で重なった場合のみ開命令を出すようにしているため，歩行者が多少荒い歩行をしたとしても誤開は起こりにくくなり，本実験における40回全ての歩行に対し誤開を行わなかった．この2つのベクトルが3回連続して交差する開判定はドアの利用しようとしている移動体に対して0.075[sec]だけドアの開動作は遅れるが，この時間での開くドアの幅は0.03[m]である．この大きさだけ胴幅に対する余裕を増やすことで問題なく動作すると思われる．

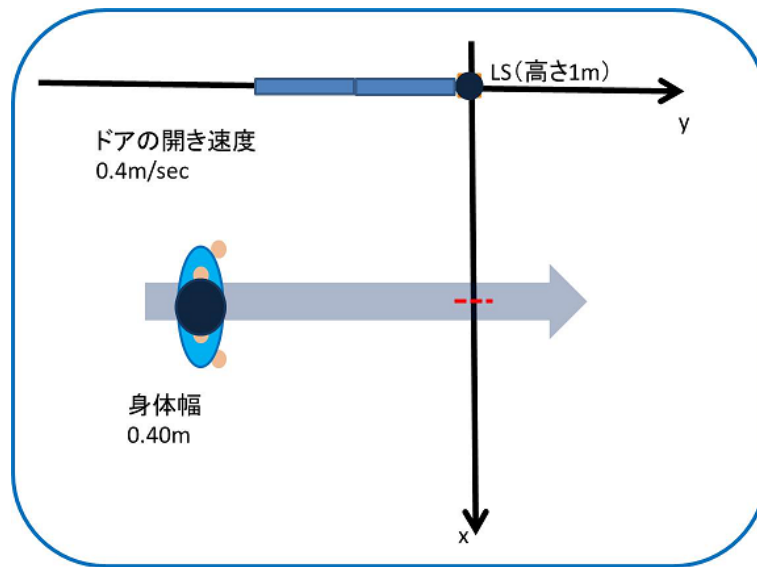


図 4.4: 実験 2 設定



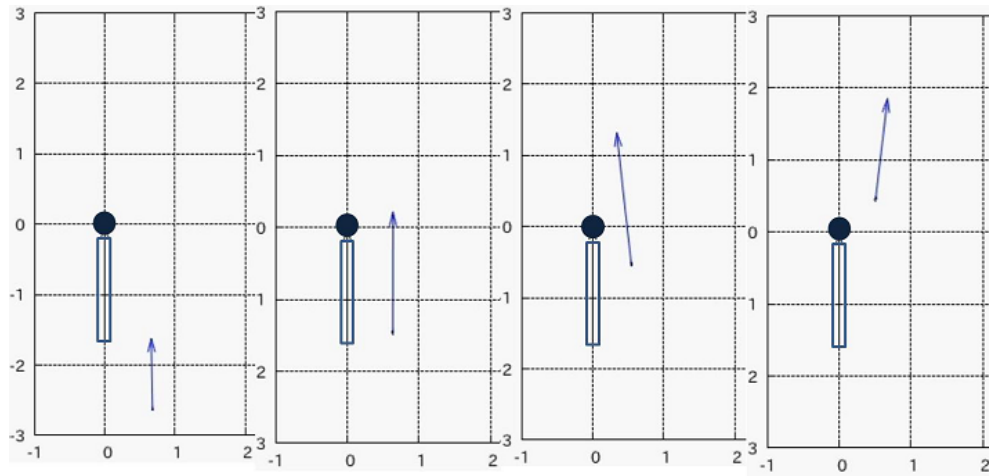


図 4.5: 実験 2 進路予測ベクトル

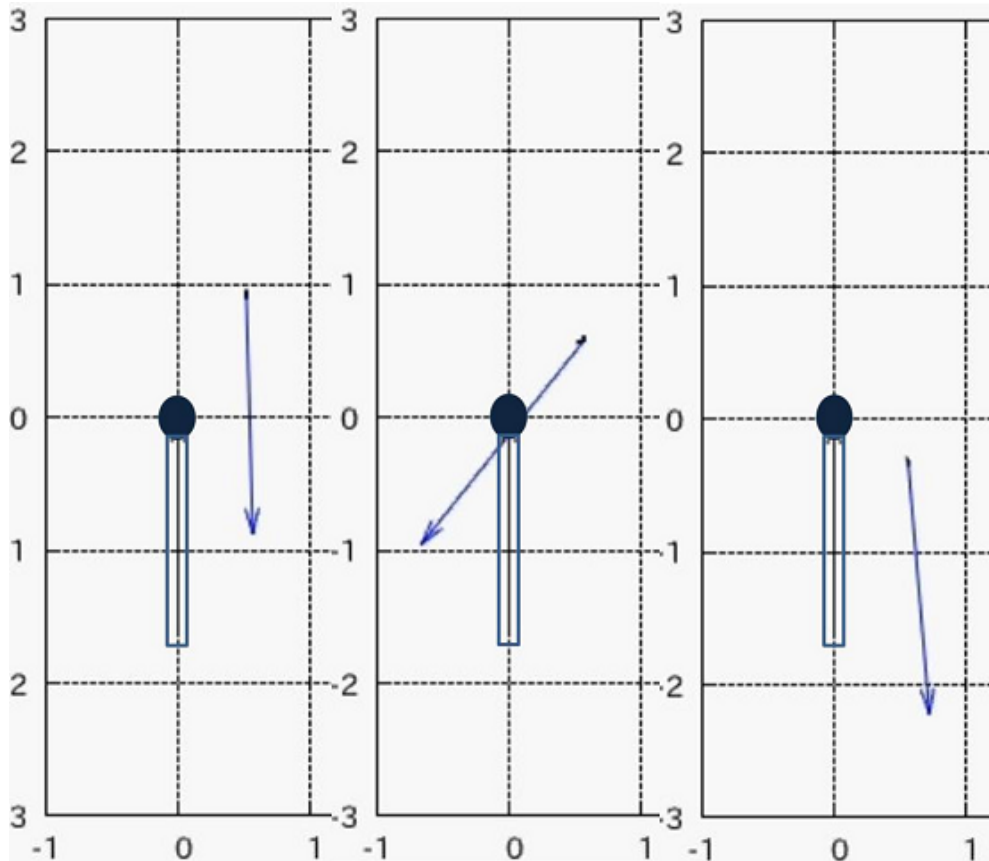


図 4.6: 実験 2 失敗時の進路予測ベクトル

## 4.6 実験3 一人は自動ドアから離れ，一人は接近する場合

### 4.6.1 目的

ドアの前から離れていく人と，ドアに接近する人が同時に存在する場合，提案手法を用いたシミュレータがドアに近づきつつある歩行者に対してのみドアを開ける命令をだすかどうかを確認する．

### 4.6.2 手順

図.4.7 に示すように2人の歩行者を同時に歩行させた．一人はドア開口部の中心から歩き始めドアから遠ざかり，もう一人はドアに向かって侵入するよう指示をした．

### 4.6.3 結果

進路推定によって算出された進路予測ベクトル  $\vec{p}$  を図.4.8 に示す．実際の自動ドアと同様の動きをするシミュレータではドア付近にいる物体が離れていくにもかかわらず開命令を出し続けたのに対し，提案したアルゴリズムでは遠ざかる移動体には反応せず，接近する人がドアと距離 2.2[m] になったときに開命令が出た．この結果，胴幅 0.40[m] の歩行者に対しドアの開き幅は 0.88[m] であり，ドアは被験者が安全に通り抜けられる幅に開いた．

### 4.6.4 考察

ドアから遠ざかる移動体と，ドアに近づく移動体が存在した場合，ドアに近づく移動体に対してのみドアが反応することを確認した．また胴幅 0.40[m] に対しドアの開き幅は 0.88[m] であり，歩行者に対して提案アルゴリズムが十分な開き幅で動作したことを確認した．実験1の時と同様に，想定される胴幅に余裕を加えた 0.80[m] よりも広い 0.88[m] の開口幅を得た．これは開命令を出したときに観測された胴幅が実際の胴幅よりも大きい 0.48[m] となっていることによるものであり，片腕が胴とともにグルーピングされたことが原因である．

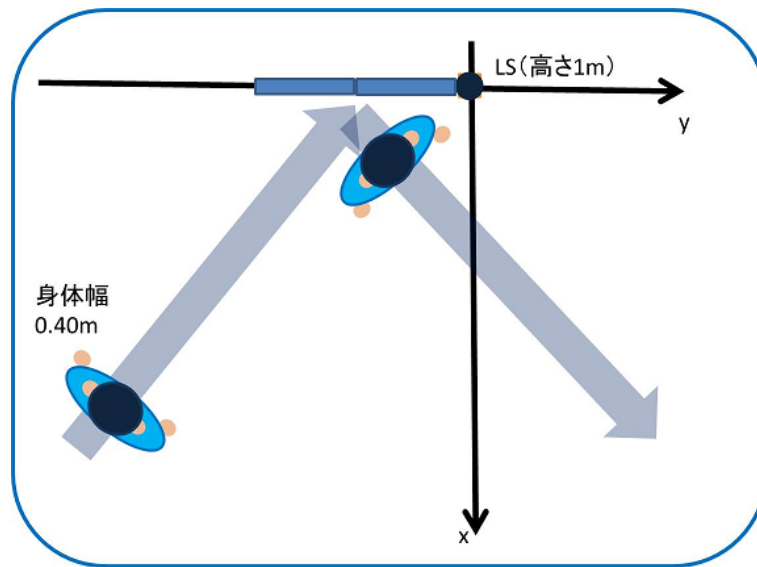


図 4.7: 実験 3 設定

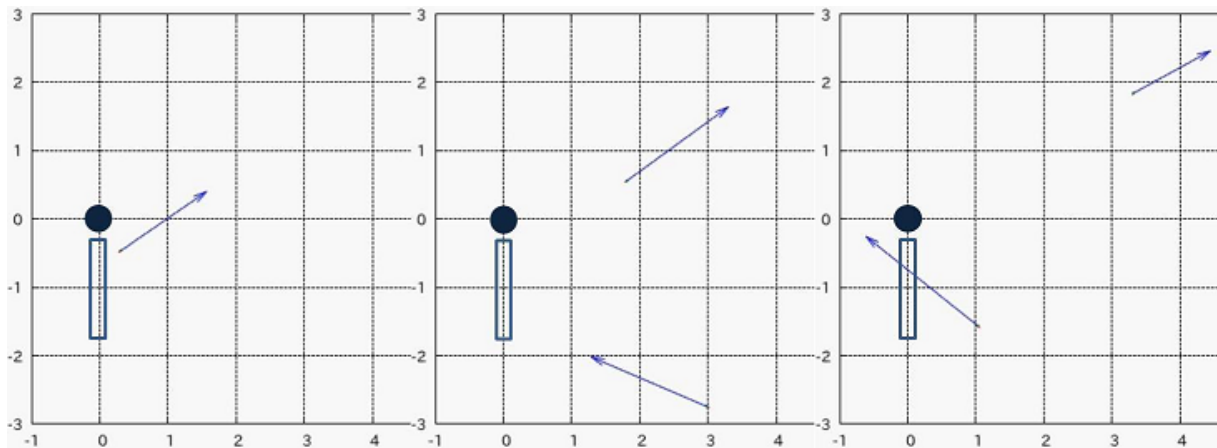


図 4.8: 実験 3 進路予測ベクトル

## 4.7 おわりに

本章では提案した手法を用い，その動作を確認した．

4.2 節では実験の設定を述べた．

4.3 節ではドアに対して垂直に移動する移動体に対して，提案手法の有効性を確認した．提案手法を用いたシミュレータが，歩行者がドアから 2.0[m] の位置で開命令を出し，ドア通過時にはドア開口幅 0.84[m] となった．

4.4 節ではドアに対して平行に移動する移動体に対して，2 種類の位置で実験を行い，提案手法と先行研究である松原らの手法とを比較した．ドアから 1[m] の位置の歩行において，提案したアルゴリズムでは全く開命令は出なかった．ドアから 0.6[m] の位置の歩行において，提案したアルゴリズムでは 40 回すべての試行において誤開は起こらず，成功率は 100% であった．これは先行研究である松原らの結果である 60% を上回る結果であった．

4.5 節ではドアから離れていく移動体とドアに侵入する移動体がセンサ観測領域内に同時に存在した場合の実験を行った．提案手法を用いたシミュレータがドアから離れていく移動体にはドアを開かず，ドアに侵入する移動体にのみ適切な開命令を出したことを確認した．

## 第5章 結論

### 5.1 結論

近年，移動体の位置や速度，進行方向に関する研究が多く行われている．現在も人感センサを用いた照明器具が広く普及しているが，中でも自動ドアは最も身近な人感センサを用いた製品であり，現在いたるところで見ることができる．自動ドアは様々な利点があるが，一方で自動ドアを利用しない移動体にもドアを開いてしまう，利用する物体の大きさにかかわらず常に全開になるなどの問題を持っている．以上の背景のもと，本研究では移動する物体をセンサで観測し，その観測情報から移動体がある地点を通過しようとしているかどうかを推測する方法を提案し，自動ドアを利用する移動体に対し適切な開閉を行うインテリジェント自動ドアを開発することを目指し，以下を目的とした

- 移動体をセンサで観測し，移動体がある地点を通過しようとしているかどうかを推測する手法の提案
- 提案手法を用いて，移動体に適切な開閉を行うインテリジェント自動ドアのシミュレータを作成し実験を行う

またインテリジェント自動ドアにおける先行研究である松原らの手法を述べ，残されている課題を以下の3点挙げた．

- 安定な楕円フィッティングを行うためには十分な計測点が必要であり，そのためにLSを2台用いていた
- 人間の胴体以外の形状のものに対しては正しくフィッティングが行えない

- 複数の移動体への対応が難しい

これらの課題を踏まえ，本論文では従来の自動ドアではできなかった次の4点を松原らの楕円フィッティング手法を用いることなく実現した．

- ドアに対して垂直に侵入する移動体に適切なドアの開閉を行った
- ドアから 1[m] の位置をドア面に対して平行に歩行する人間に対してドアを誤開しなかった
- ドアから 0.6[m] の位置ドア面に対して平行に歩行する人間に対してドアを 100%の確率で誤開しなかった
- 一人はドアから離れ，一人はドアに侵入する状況において，ドアに侵入する歩行者に対してのみ適切なドアを開閉を行った

第2章においては従来の自動ドアにおける移動体の検知について説明し，移動体検知と移動方向推定の従来研究について述べた．その中でLSを用いたインテリジェント自動ドアについての先行研究について述べ，残された3点の課題を挙げた．その課題解決のために本研究ではLSを1台のみ使用し，楕円フィッティングを用いずに移動方向推定を行うことをアプローチとした．

第3章ではLSを用いた移動体の検知と移動方向推定の手法を示した．LSによって得られた観測点群のグルーピング，各グループの重心間距離と観測点数比較を用いた移動方向推定手法について述べた．また移動方向推定によって得られた進路予測ベクトルとドアベクトルを用いたドア開閉アルゴリズムについて述べた．

第4章では提案手法を用いたシミュレータを作成し，実際に被験者を使って実験を行った．実験1ではドアに対して垂直に侵入する場合について実験を行い，歩行者の胴幅に対して十分な大きさにドアを開いたことを確認した．実験2ではドアに対して平行に歩行する場合に

ついて実験を行い，ドア面から 1[m] の位置を歩行させた場合は 100% の確率で誤って開かないことを確認した．またドア面から 0.6[m] の位置を歩行させた場合は 100% の確率で誤って開かないことを確認し，先行研究である松原らの手法における同様の実験よりも高い成功率であったことを確認した．実験 3 では一人は自動ドアから離れ，一人は接近する場合について実験を行い，ドアから離れていく歩行者にはドアを開かず，ドアに侵入しようとする歩行者に対して適切にドアを開いたことを確認した．

以上のことから，本研究で提案した手法を用いた自動ドアシミュレータは，従来の自動ドアの動作よりも移動体に対して適切な動作を実現した．

## 5.2 今後の展望

本論文においても解決されておらず，今後扱うべき問題をいかに示す．

- 今回は二次元平面のみを観測する LS を用いたが，LS の選定と設置位置を見直す必要がある．ドア脇に設置した LS で移動体を観測した大きさと，実際にドアを通り抜ける際の必要な開口幅が異なる場合があると考えられるためである．また高さ 1[m] での大きさのみ測定しているため，1[m] より低い移動体や，観測できないところが大きい移動体などに適切な開閉を行うことができない．今後，環境変化に強く，三次元的に観測できるようなセンサを用いて，すべての高さを観測できるようであれば，より高い精度で適切な開閉ができる可能性がある．
- 実際の自動ドアに本手法を用いたアルゴリズムを適用し，被験者実験を行う必要がある．これは本手法は移動体の幅に対するドア開口幅の余裕を 0.40[m] としているが，実際にドアがある場合に従来の自動ドアと異なる動作をするインテリジェント自動ドアに対して恐怖を覚える可能性があるためである．実際の自動ドアを用いた開口幅余裕に対する検証が必要であると思われる．

以上を達成することで，より性能の高いインテリジェント自動ドアが実現される．

## 謝辞

非常に多くの方々のサポートがあったおかげで、修士論文を提出することができました。以下の方々に心より感謝します。

主任指導教員である末廣尚士教授には、研究から私自身の個人の問題まで暖かく支えてくださいました。最後まで心が折れそうなときもアドバイスをしていただけたことは生涯忘れません。研究においても、常に的確な指導をいただき、アイデアを形にすることの難しさ、楽しさを知ることができました。

指導教員である工藤俊亮准教授には研究に関する考え方や進め方を学生に近い視点で指導してくださいました。特にゼミにおいて、様々な意見や質問を投げかけて私が気が付かなかった落とし穴を示してくださったこと、また学生間で切磋琢磨することの楽しさを教えて頂きました。

指導教員である豊嶋守生客員教授には、NICTでの様々な研究について指導していただきました。数少ない機会ではありましたが、国内有数の研究施設であるNICTの中のお話をきかせていただけたことは、私にとって大きな喜びでした。

富沢哲雄助教にはつくばチャレンジをはじめ、私自身が成長するチャンスを数多く与えてくださいました。特にSI2011において深夜まで指導していただき、優秀講演賞を取らせてくださいました。私の人生の中で2011年12月はひとつの原点となりました。

末廣工藤研究室博士後期課程の平井雅尊氏、村松聡氏には研究だけでなく、全ての面で大変お世話になりました。研究における面倒な質問から、生活の些細な質問まで本当に親身になって支えていただきました。

末廣工藤研究室のメンバーには、日々の生活から研究室行事など様々な面でお世話になりました。年齢が離れた私に対して別け隔てなく付き合ってくださいましたこと、共に成長する



ことができました。やむを得ず大学に通えない時期もありましたが、笑顔で接して下さったおかげで折れることなく頑張ることが出来ました。

北陽電機株式会社の嶋地直広氏をはじめ、社員の皆様方には会社見学とともにたくさんのことを学ばせていただきました。お忙しい中、私の質問に対応していただき、社会人経験のない私に会社という組織を知る機会を与えてくださいました。

最後に、体調が優れない中、私のことをいつも温かく見守ってくれた母親、そして共に母と私の生活を支えてくれた父親に心から感謝いたします。

## 参考文献

- [1] “知って納得！メカランド 自動ドア編”，日本機械学会誌，vol. 109，no. 1057，pp. 986，2006.12.
- [2] 株式会社富士通ゼネラル. 公開特許公報【侵入者監視装置】. 2003.
- [3] 塩昭夫, ジャックスクランスキー. “動画像からの歩行者検出”. 情報処理学会, CV77-5, pp.1-8,1991.
- [4] 藤原秀人, 谷口博康, 黒田伸一. “動き画像を用いたエスカレータ乗客転倒検出手法”. 情報処理学会, CV78-5, pp.33-41,1992.
- [5] 吉山友明, 竹村憲太郎, 藪厚生, 金田忠裕.”ドライバモニタリングシステムのための全方位画像を用いた人検出”, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012), 3K1-4, pp.2178-2179, Dec 18-20, 2012.
- [6] 高屋英永, 藤田裕司, 笠島尚志.“ステレオビジョンによる建設機械物体認識の研究,”平成18年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.153-158, 2006.
- [7] 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生. 鈴川尚毅.: “複数のレーザレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-D-II, No.7, pp.1143-1152, 2005.
- [8] 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介.: “レーザスキャナと画像センサの融合による歩行者追跡” 第11回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp.177-180, 2005.

- [9] 松原正季, 富沢哲雄, 嶋地直広, 工藤俊亮, 末廣尚士.: “インテリジェント自動ドアのための LRF を用いた歩行者行動予測”. 第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010), 1B3-3, 2010.
- [10] 富沢哲雄, 松原正季, 工藤俊亮, 末廣尚士, 嶋地直広.: “LRF を利用したインテリジェント自動ドア”. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'11, 2P1-Q08, 2011.5.

# 発表論文リスト

## 口頭発表

1. 大谷洋介, 村松聡, 平井雅尊, 佐藤晶則, 富沢哲雄, 工藤俊亮, 末廣尚士.: “公共空間を自律移動する電動カートの開発 -自由空間領域モデルの3次元拡張と四輪車両特有の障害物回避-” 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011), 3O1-1, 2011.
2. 大谷 洋介, 富沢 哲雄, 工藤 俊亮, 末廣 尚士.: “LRS を用いた移動体の進路予測” 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012), 3F2-3, 2012.