

自動追従ショッピングカートロボットの設計と製作

—自己位置推定とマッピングシステム—

Follow-up Control of Robot for Shopping Cart

-Estimation for Searching the Position and Mapping System-

小野里 太志[†] 田村 仁[‡] 片山 茂友[‡]

Taishi ONOZATO Hitoshi TAMUEA Shigetomo KATAYAMA

1. はじめに

現在、スーパーマーケット等で利用されているショッピングカートは、人が手で押して操作するものである。そのため、手足に不自由がある場合や、子供の手を引いているときなど、なんらかの理由で両手が使用不可能な場合、1人でショッピングカートを使用しての買い物は困難である。バリアフリーや利便性を考え、ショッピングカートが利用者の後を自動で追従するのならば、1人2台使用が可能であることや、両手が使えるため商品を手にとることができる。また、カートを押すことができない人でも、1人で店内を自由に回り、買い物を行うことができる。

そこで著者は、レーザレンジセンサ（以下 LRS と呼ぶ）を用いた利用者の後ろを自動追従するショッピングカート型ロボット（図1）^[1]を研究してきた。

このショッピングカート型ロボットは追従動作は行えるものの、壁や机などの障害物、利用者以外の人の存在が認識できていないなどの問題点が残っている。スーパーマーケットのような小売店舗内を自律移動体が動作するには、壁や棚などの固定された障害物と人や他のカートなどの移動する障害物を区別させる必要がある。そのためにはロボット自身が予め、動作エリアのマップ情報を所持し、常に自己位置を把握する必要がある。

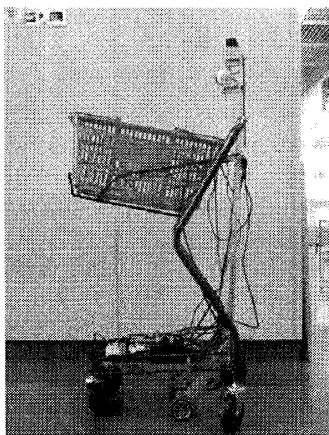


図1 ショッピングカート型ロボット

近年、様々な分野でロボットの研究がおこなわれ、工場やオフィスなどの屋内を自律移動するロボットの需要が高まり、自律移動体向けのマッピング手法や自己位置推定手法には各種の方法が提案されている^{[2][3][4][5][6]}。しかし、それらの論文は小売店舗内での運用には対応していない。小売店舗の場合は、多くの人が行き交い、商品の陳列が頻繁に変わることや、よく似た商品棚が規則的に並んでいるため、通常の方法ではマッピングおよび自己位置推定は難しい。

2. 目的

本研究は、一般的なスーパーマーケットにおいて利用可能な性能を目標とする、自律型の利用者自動追従ショッピングカート型ロボットの設計と製作である。

ロボットの利用者追従機能には、LRS を利用した人物追従システムを開発し、検証する。

また、小売店舗内での利用を目指し、ショッピングカート型ロボットが自動で周辺状況のマッピングを行い、生成したマップ上における自己位置を推定するシステムを構築し、ショッピングカート型ロボットに搭載することで、実際に小売店舗内で、自律移動が行えるか検証する。

今回の報告では、主に次の項目を中心におこなう。

- (1)LRSを用いた自動追従
- (2)LRSを用いたマッピングシステム
- (3)地図上での自己位置推定

3. LRS を用いた人物追従

ショッピングカートが実機の周りに存在する追従対応者や障害物など、周囲の状況を正確に把握するために、LRS「URG-04LX(北陽電機株式会社)」(図2)を使用する。

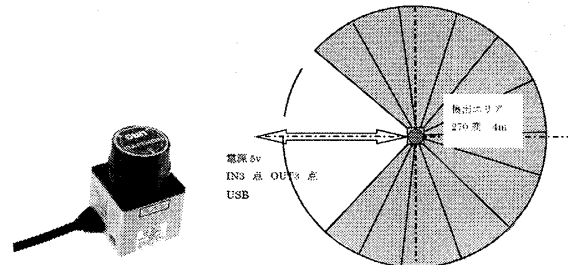


図2 LRS「URG-04LX」

このセンサは、赤外線レーザ光によりおよそ半径 3m、240度の水平面上空間に存在する物体との距離と方位をほ

[†] 日本工業大学 大学院 工学研究科 情報工学専攻

[‡] 日本工業大学 工学部

ぼリアルタイムで検出することができる。計測イメージを図3に示す。

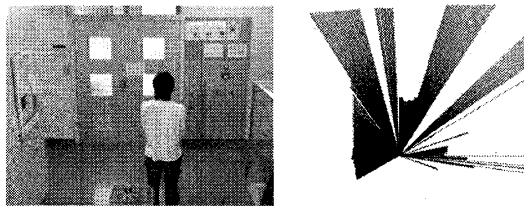


図3 計測イメージ

3.1 追従対象者判定

追従対象者の位置を判断するための手法として、LRSから取得したデータを解析し、対象者の両脇の境界角度を求め、その中心ステップを追従対象者とする手法を考案した。この手法を利用することで、追従対象者以外に検出物が多数存在しても、それらに影響されることがなくリアルタイムに追従対象人物を追従することが可能である。本手法のイメージを図4に示す。

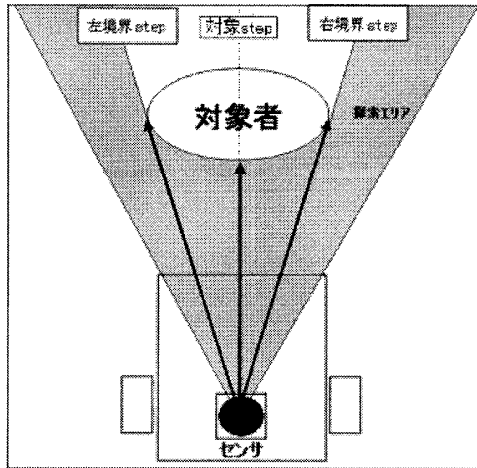


図4 追従対象者判定イメージ

この手法を用い、追従対象者判定を行った結果を図5に示す。

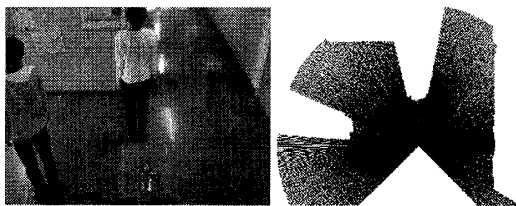


図5 追従対象者判定

図によって中央に存在する検出体を利用者として判別し、対象者と示すラインが表示されていることが確認できる。

3.2 モータ動作量算出

判定した追従対象者の距離を元に、ショッピングカート型ロボットが追従対象者から常に1mの距離を保つよう、モータ速度を算出し、動作させる。モータはマイコンに

てPWM制御されており、算出したモータ速度をマイコンに送信することでモータを回転させる。モータ速度の算出にはP(比例)制御の式(1)を用いることで、モータの緩やかな加減速を可能にした。モータ速度を $R(t)$ とし、目的値 $V_{des}(t)$ を目的速度、 $V_{act}(t)$ を現在のモータの速度とし、 K_p は比例制御ゲインとする。

$$R(t) = K_p \cdot (V_{des}(t) - V_{act}(t)) \quad (1)$$

値は左右のモータそれぞれに指定できるので、ロボットのカーブや方向転換には、左右のモータに回転数の差を与えることで対応する。モータ速度をマイナスに設定することでモータは後転する。

追従対象者位置の左右のずれからカーブ分を計算するために、LRSの正面角度から追従対象者までの角度と、距離から、余弦定理にて追従対象者の中心角からの距離を算出し、式のP制御にてカーブ分を求める。この時の $V_{des}(t)$ は0、 $V_{act}(t)$ は、求めた追従対象者から中心角までの距離である。求めたカーブ分を2で割り、左右それぞれのモータ速度に加減することでロボットをカーブさせる。モータ動作量の設定を表したイメージを図6に示す。

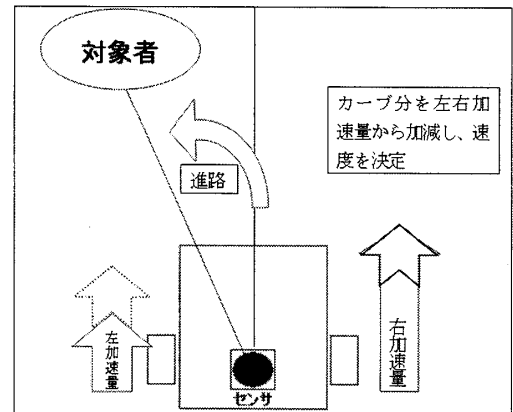


図6 モータ速度設定

3.3 人物追従の性能評価

3.3.1 直線での追従

ショッピングカート型ロボットが直線距離を追従するときの、モータの回転情報を計測する。屋内にておよそ秒速1mで歩行し、10mの追従動作を行った時の速度を記録する。追従動作を10回行い、その記録結果からカートの軌跡をグラフ化し、図7に示す。グラフより、直線に沿うようになだらかに追従している様子を確認できる。

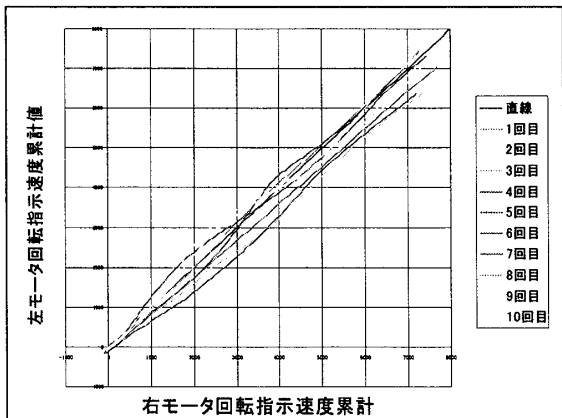


図7 直進走行結果

次に直線追従時、対象者が前進停止を繰り返した時の、ロボットが行った追従動作のモータの回転速度のグラフを図8に示す。P制御により対象者との距離に応じた緩やかで安定した加減速が確認できる。

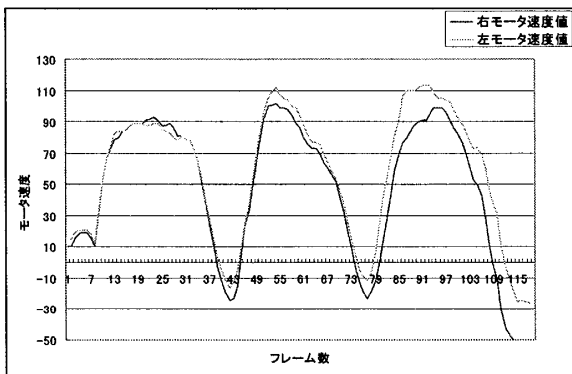


図8 モータ回転速度

3.3.2 カーブでの追従

カーブでの追従実験を次の手順で行う。また、追従対象者はカートが安定してついてこられる秒速 0.5 m 程度の速度で歩行する。

- (1) 半径 3m の円周を歩く対象者を追従する。
- (2) 半径 2m の円周を歩く対象者を追従する。
- (3) 半径 1m の円周を歩く対象者を追従する。

左右モータの回転数からベクトルと角度を求め、x 座標 y 座標を算出しグラフ化した結果を図9に示す。

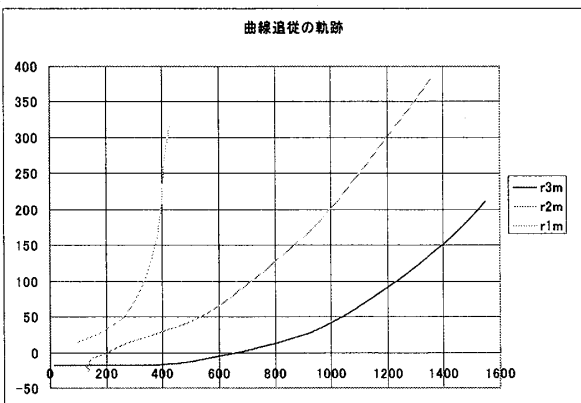


図9 カーブ追従結果

実験の結果、緩やかなカーブを描きながら対象者の追従に成功した。ただし、カートがスピードに乗る前や、対象者がカートの速度を超えるおよそ秒速 1m 以上で速さで歩行すると、カートと対象者が離れてしまい、センサが対象者を見失ってしまう。

4. LRS を用いたマッピングシステム

上記の人物追従システムのみで小売店舗内を動作させると、他の人物や障害物などに衝突してしまうなどの問題が発生する。ロボット自身が動作エリアのマップ情報をあらかじめ所持しているならば、追従に利用している LRS の情報から、追従対象者と、壁などの障害物、それ以外の人などの移動する障害物が区別でき、安全で正確な動作が行える。

マップ情報は店舗ごとに異なるため、利用環境が変わるごとに新たにマップデータを用意する必要がある。しかし、手でマップ情報を与えるには非常に手間がかかる。そこで、人物の追従に利用している LRS を用いて、ショッピングカート型ロボットが店舗内を自動でマッピングし、マップデータを作成するシステムを提案する。

4.1 マッピングシステムの手法

LRS より取得した 2 次元の周辺情報をつなぎ合わせることで、動作エリアのマップ情報を製作する。LRS からの情報のみではショッピングカート型ロボットの進行方位などを割り出すことが出来ないため、方位の測定には地磁気センサを用いた。本手法の動作イメージを図 10 に示す。

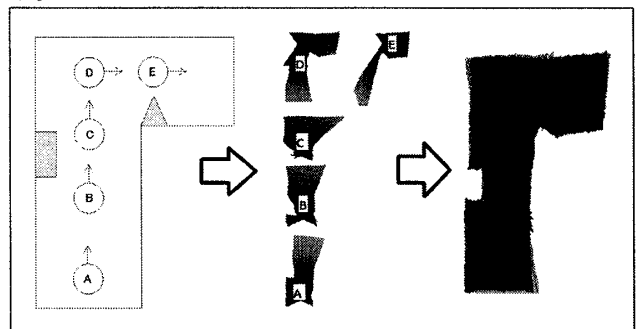


図10 マッピング手法のイメージ

4.2 マッピングシステムの検証

製作したシステムを利用し、図 11 の環境をマッピングし、検証したところ、図 12 のような結果となった。最大 1m の誤差があり、実用には難しい結果となった。

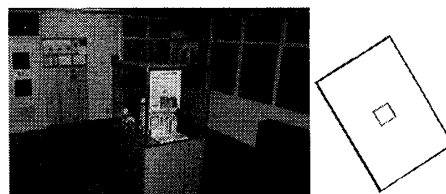


図11 検証環境

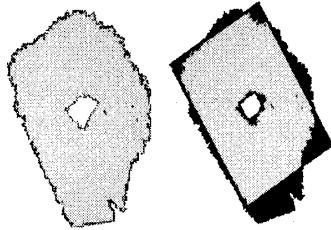


図12 検証結果と誤差

4.3 マッピングシステムの課題

今回の実験では、LRSによる周辺情報と、3D センサによる地磁気から求めた角度情報のみを利用した。しかし、地磁気という不安定な要素のみでは誤差が大きく、それらの情報だけで地図を生成するには非常に困難であることが分かった。今後はロータリエンコーダなど新たなセンサを追加することで、実機の移動量などを正確に計測するなどして、精度の向上を目指す。

5. 今後の展開

本研究は、ショッピングカート型ロボットの追従システムの開発と評価、小売店舗内での利用を目指したマッピングシステムの検証を行った。今後はこれらの研究を連動させ、マッピングにより得た正確なマップ情報を用いて自己位置推定を行い、実際の小売店舗内での追従動作の検証を行う必要がある。

マッピングシステムは、ショッピングカート型ロボット運用中に、新たに追加した追加するロータリエンコーダや検証中のジャイロセンサを用いた制御によって自己位置を更新しながら行うことで正確さが増すと考える。

マッピングシステムによって、正確なマップ情報が得られるならば、図13のようにLRSを利用することで、正確な自己位置の補正と位置推定を行うことができると考える。今後はこれらのシステムを用い、自動追従性能のさらなる向上を目指す。

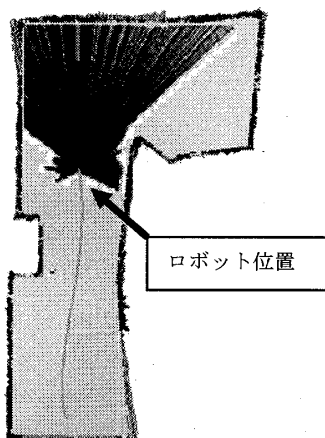


図13 マップ情報を利用した追従動作イメージ

6. おわりに

本研究では、利用者の後ろを自動追従するショッピングカート型ロボットの開発を行った。このロボットは、扇状に赤外線レーザー光を照射し、周辺情報を取得できるLRSを用いることで、追従すべき人物を判定し、動作する。またジャイロセンサを用いて移動方向を、ロータリエンコーダによって移動距離を取得して、レーザーレンジセンサで補正することによりマッピングと自己位置推定を行うシステムの開発を行っている。本研究ではこれらのシステムを実装したロボットを実現し、今後は本システムの検証、評価を行う。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、多大なるご指導賜りました田村仁先生、片山茂友教授に深く感謝の意を表するとともに、厚く御礼申し上げます。本研究に関わっていた比志秀一郎氏を始めとする、日本工業大学情報工学科田村研究室の学生、協力してくださった方々に感謝いたします。

参考文献

- [1]小野里 太志, 比志 秀一郎, 田村 仁 “レーザー式測位センサを用いた自動追従ショッピングカートの設計と製作”, 第71回情報処理学会全国大会講演論文集(分冊2), pp.371-372(2009).
- [2]根岸 善郎, 三浦 純, 白井 良明, “全方位ステレオとレーザーレンジファインダの統合による移動ロボットの地図生成”, 大阪大学大学院 工学研究科日本ロボット学会誌, Vol.21 No.6, pp.690-696(2003).
- [3]中本 琢実, 山下 淳, 金子 透, “レーザーレンジファインダ搭載移動ロボットによる動的環境の3次元地図生成”, 信学技法 IEICE Technical Report WIT2006-21(2006-07).
- [4]堀田 一弘, 高野 健太郎, 三島 健稔, 栗田 多喜夫, “全方位カメラを搭載した自律移動型ロボットのナビゲーションのためのランドマーク自動検出”, 2000年電子情報通信学会情報・システムソサイエティ大会講演論文集, D-12-51, pp.238(2000).
- [5]王 彩華, 棚橋 英樹, 佐藤 雄隆, 平湯 秀和, 丹羽 義典, 山本 和彦, “全周囲エッジヒストグラムを用いたセンサの位置・姿勢推定” 電子情報通信学会論文誌, D Vol.J86-D2 No.10 pp.1400-1410.
- [6]前田 宏樹, 秋元 俊成, 松元 明弘, “レーザーレンジセンサを用いた移動ロボットの自己位置推定”, 日本機械学会埼玉ブロック大会(講演会)講演論文集 2006(2), pp.45-46 (2006).
- [7]田中 莞爾, 木室 義彦, 山野 健太郎, 満 平山, 近藤 英二, 松本 三千人, “RFIDシステムによる自己位置推定とタグ配置作業”, 電子情報通信学会論文誌, 2005/9 Vol.J88-D-II No.9.