

案内ロボットの開発

西嶋 隆 山田 俊郎 小川 行宏 今井 智彦 稲葉 昭夫 大野 尚則

Development of a Guide Robot

Takashi NISHIJIMA Toshio YAMADA Yukihiro OGAWA Tomohiko IMAI Akio INABA
Naonori OHNO

あらまし 民生用ロボットの先行用途開発として案内ロボットの開発を行い、JR岐阜駅内にある商業施設のActive-Gにて公開運用実験を実施した。この案内ロボットは車輪型の移動ロボットであり、施設内の決められた経路を自走し、店舗の前で音声によって店舗紹介を行う。本研究では、軽便に設置・撤去可能な移動ロボットシステムの構築、および、ロボットの安全性確保のためのロボット構造の提案をする。また、開発した本移動案内ロボットの公開運用実験の結果について述べる。試作した移動ロボットシステムは主に、RFIDとレーザレンジファインダを用いた移動制御手法を用いており、環境に対しては大掛かりな設備を導入することなく、RFIDタグを数メートル間隔で床面に貼り付けるのみで設置可能である。ロボット外装は安全性を考慮し、障害物との干渉を少なくするために滑らかな釣鐘形状とし、衝突時には外装全体が揺動することによって全方位からの衝突を検知可能な機構を装備した。公開運用実験では、提案する移動制御手法により安定してロボットが自走可能であることを確認した。

キーワード 民生用ロボット、案内ロボット、RFID

1. 緒言

近い将来における、民生用ロボットの福祉、介護、サービス分野等での市場を見据え、岐阜県では平成12年度から「ギフ・ロボットプロジェクト21」を推進している。このプロジェクトではロボットテクノロジーに関する技術開発・研究を通じて、民生用ロボット分野における新産業の創成、地場産業の高度化を目指している^[1]。

現在、民生用ロボットの具体的な先行用途開発が重要であり^[2]、本年度は、店舗紹介を行う案内ロボットを開発し、JR岐阜駅構内の商業施設であるACTIVE-Gにおいて公開運用実験を行った。

この案内ロボットは車輪型の移動ロボットであり、発話・BGM演奏機能を有し、施設内の決められた経路を巡回しながら店舗案内を行う。実験室のような整備された（整備可能な）環境ではなく、不特定多数の人々が往来する一般的な環境において、ロボットを安全に安定して自走させるためには、環境に大掛かりな設備を導入することなく、環境の変化に対して安定して動作可能な、安全性の高い移動ロボットシステムの開発が望まれる。

本報告では、RFID、レーザレンジファインダ等を用いた、簡便に設置・撤去が可能な移動ロボットシステムの提案、および、安全性を確保するためのロボット構造の提案を行う。また、開発した案内ロボットによる公開運用実験で得られた知見について述べる。

2. ロボットの構成

2.1 外装

今回開発したロボットの外観を図1に示す。高さ1100mm、直径800mm(足元)、重量約50kgである。素材は機械的強度を重視し、FRP樹脂製とした。釣鐘型の形状は、全体に丸みがあり親しみやすい形状であるとともに、回転体であるため周囲に突起物がなく、回転時の巻き込みを防ぐことができる。外装は、頭部と胴体部の2つの部分からなり、胴体部の四方にはロボット内部の音声スピーカの音響を考慮し、通気孔を設けた。頭部は回転運動が可能で、愛嬌を振りまく演出を行うための首振り機能を有している。ロボットの頭上には、緊急停止ボタンを装備し、緊急時は速やかに押すことができる。



図1 ロボットの全体写真



図2 台車前方の写真



図5 首部分の機構



図3 台車後方の写真

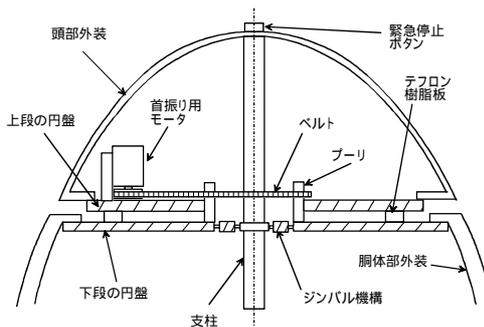


図6 首部分の模式図



図4 音声発話機能の出力装置（スピーカ）

2.2 台車機構

台車の車輪前方の周辺部写真を図2に示す。台車 (Pioneer2-DX8, ActivMedia Robotics製)の電源には24V鉛蓄電池を2個使用し、使用状況にもよるが、連続で数時間の駆動が可能である。台車前方には、レーザレンジセンサ (LMS 200, ジック株式会社製)を搭載し、前方180度の範囲を1度間隔で周囲の物体までの距離を測長することが可能である。測長のサンプリングは180度の間を0.25秒で行った。台車底面には、RFIDタグ検出用のアンテナ (Alien Technolog製)を装備し、台車真下にあるRFIDタグを非接触で検出することができる。図3は、台車の左後方からの写真を示す。台車周囲の8方向には、板ばね材のリボンリング形にしたバネを装備し、リング内部には、ダンピング用に発泡クッション材を挿入している。このバネ材は、胴体部の外装を載せた時に、外装の内側と接触して外装を支える機構となる。このバネ材の横には、リミットスイッチが設置されており、ロボットの衝突センサとして機能する。台車後方には超音波センサを6個装備し、後方の障害物検知を行う。また、音声発話機能の出力装置として、2台のスピーカを装備している (図4)。

2.3 首振り機構

図5は、ロボットの首部分の構造写真を示す。同図中の円盤は上段と下段の2枚の円盤で構成されている。図6にその断面模式図を示す。下段の大きい円盤の縁には、胴体部分の外装を掛けるように載せ、上段の円盤には、頭部の外装を載せる。頭部の首振り機構として、上段の円盤は下段の円盤に対し、プーリとベルト機構によって回転する。上下の円盤の間には潤滑のため、テフロン加工されたプラスチック板を挿入した。さらに、この首部分はジンバル機構を用い、両円盤はロボット台車から垂直に立てられた支柱に対して、全方位に傾くことができる。このような構造にすることにより、胴体部分に障害物が接触した場合、ジンバル機構に取りつけられた胴体部が揺動し、2.2節で説明した外装内壁に接触しているリング状のバネ材を押すことによって、衝突センサ (リミットスイッチ) が作動する。すなわち、このジンバル機構によって、胴体部分の全方位からの衝突を感知することが可能である。

2.4 システム構成

図7にシステム構成のブロック図を示す。本システムでは、ロボット底面に設置したRFID受信機によって、環境の床面に設置されたRFIDタグのID番号を識別する。RFIDタグのID番号をもとに、ロボット内部にあるデータベースから、登録された行動列を行動指示部から逐次実行する。実行する内容は、ロボットの移動に関しては、自律行動部に命令が伝わる。そのほかに、ロボットの発話およびBGM演奏命令であれば音響部に、ロボットの首振り命令であれば、首動作部に命令が伝わる。

自律行動部に対しては、ロボットの停止、前進、後退、回転、自己位置補正の命令があり、それぞれの行動中は、

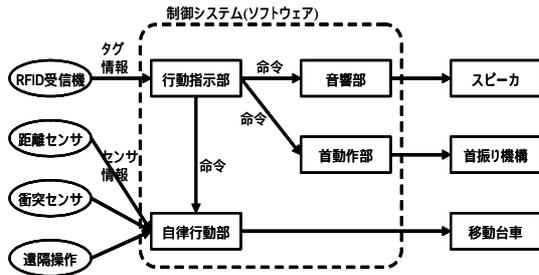


図7 システム構成

レーザレンジファインダ, 超音波センサ, 衝突センサの情報を用いて行動を生成する。さらに, 遠隔操作機能を付加し, 無線LAN経由で外部端末から操作可能である。

3. ロボットの移動制御

自律移動型ロボットの制御手法として, ロボット内部に保持している環境のマップと周辺画像のマッチングによって, ナビゲーションを行う方法^[3]などの様々な研究がなされているが, 今回は, より簡易な方法として, RFIDとロボットに搭載したレーザレンジファインダを用い, 設置・撤去が簡便なナビゲーションシステムを開発した。

3.1 RFIDの運用・設置方法

今回利用したRFIDタグは, 2.4GHz帯, 24bitの記憶容量を持つパッシブ型である。RFIDタグは環境の床面に貼り付け, ロボットはRFIDタグの上を通過するときに, そのRFIDタグの固有識別番号を非接触で取得する。パッシブ型のRFIDタグであるため, RFIDタグは電源不要, 薄型である。

RFIDタグは人の往来のある通路の床面に貼り付けることから, 耐久性を考慮した加工を施した。RFIDタグの中央部分にあるIC部分には樹脂製のクッション材を貼り, その上から, 床面に対して色合いを目立たなくするためにカラー印刷した紙を貼り付け, さらに表面には防水のために透明なプラスチックフィルムを積層した。耐久性加工を施したRFIDタグの厚さは最大で約1mmである。外観を図8に示す。

床面へのRFIDタグの配置方法は, ロボットの経路に対して垂直方向に数枚のタグを並べて設置する。これはロボットの移動に多少の誤差が生じて, いずれかのタグを検出できるようにするためである。この数枚のRFIDタグはそれぞれが固有の識別番号を持っているが, これらを一つのグループとして管理し, 各グループに対して動作命令列を定義する。すなわち, ロボット内部では, RFIDタグの固有識別番号に対するグループの管理, 及び, 各グループに対する動作命令列の管理を行うデータベースを持つ。このデータベースはテキストで記述されている。このように運用することによって, RFIDタグの追加, 削除, 交換の際にはデータベースを一部変更するのみで対応可能であり, メンテナンス性に優れている。

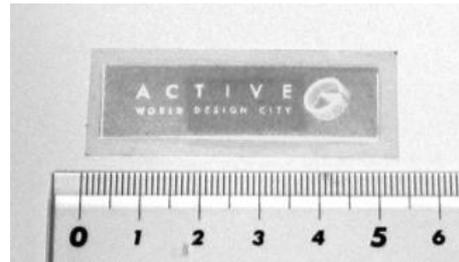


図8 耐久性加工と色合いを施したRFIDタグ

3.2 RFIDとレーザレンジファインダによる移動ロボットのナビゲーション

ロボットに搭載した車軸のエンコーダやジャイロなどの内界センサのみで, 環境内での正確な位置や角度を検出することは, センサ誤差の蓄積などから一般的に困難であり, 何らかの手段を用いて, 環境のグローバルな座標におけるロボットの位置・角度情報を得る必要がある。

RFIDを用いた場合, グループ化したRFIDタグを基準となる位置に設置することによって, グローバルな座標におけるおおよその位置を得ることができる。しかしながら, 今回の場合, 前節で述べたように, RFIDタグは基準位置に, ロボットの移動誤差を吸収するために並べて数枚貼られているため, 正確な位置を得ることはできない。さらに, RFIDの情報のみでは, ロボットの経路に対する回転角度の情報を得ることが困難である。そこで, 本手法ではRFIDの基準位置の周辺にある壁の直線を検出し, それをランドマークとしてロボットの位置・角度を目標の位置・角度に補正する。

ロボットの位置・角度を補正するためのRFIDタグを貼る基準位置は, その周辺に動かすことのできない壁などの直線部分のある場所に予め設定する。ロボットが基準位置のRFIDタグ上に到達したとき, レーザレンジファインダを用いて指定された方向・距離の範囲に存在する壁などの直線情報検出する。検出にはハフ変換を用いた。次のシーケンスは, 図9における位置・角度補正の例である。

- 1, 直進中にあるグループのRFIDタグを検出 (図9左)
 - 2, 停止し, 前方 (壁の法線がロボットに対して左右45度以内) でかつ, ロボットからの距離が1m~2mの範囲にある直線 (壁) を検出。(図9中央)
 - 3, 検出した直線に対し, ロボット中央からの距離1mに移動し, 壁の法線方向とロボットの左90度方向と一致するように回転し, その後直進する。(図9右)
- これは一例であるが, 適宜, このような動作を行いな

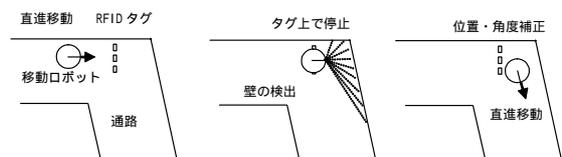


図9 位置補正のシーケンス

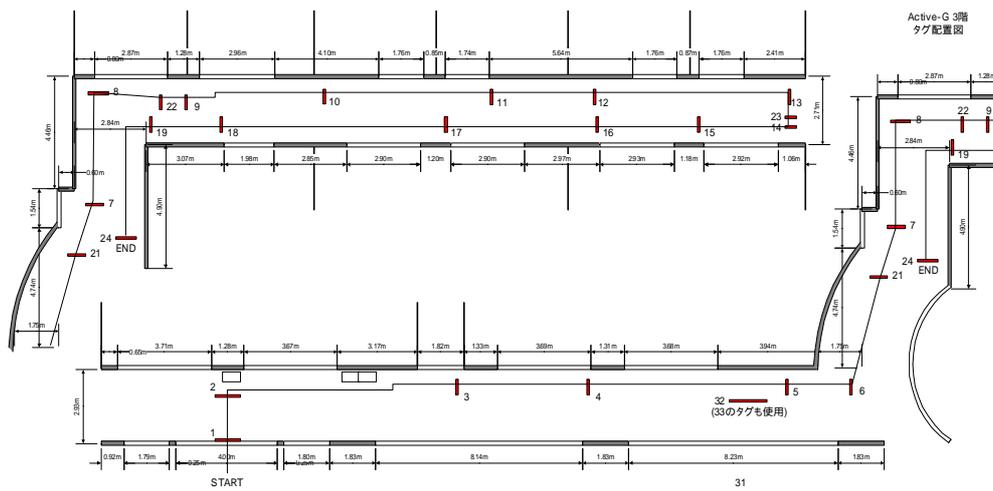


図10 実験フィールドの地図

がら、ロボットは自己位置・角度を補正し、環境内を移動する。なお、直進中に周囲に壁がある場所では、常に周辺の壁を認識し、例えば左壁に沿って移動することも可能である。その際は、壁までの距離・角度が設定した閾値を越えた場合、適宜補正動作を行う。これらの補正に用いるパラメータはすべて行動命令列のデータベースに記述する。また、ロボットの直進時に前方の矩形領域に障害物を検知した場合には、一時停止し、しばらく待ち、障害物がなくならない場合は発話機能を用いて注意を喚起する。例えば、経路上の人が障害物として認識されている場合は、人に経路を開けてもらえることを期待してロボットが発話する。もし、障害物がなくならない場合は簡単な回避行動を行う。

4. 公開運用実験

4.1 公開運用実験フィールド

案内ロボットの公開運用を岐阜駅構内にある商業施設のACTIVE-G 3階に設定した。公開運用実験前にはRFIDタグの耐久性を調べるために、予め同フィールドに耐久性加工を施したRFIDタグを20枚設置し、2週間に渡り、タグが剥がれたり損傷しないことを確認した。実験フィールドの地図を図10に示す。同図は、紙面の都合上、右下と左上に分割して表示している。設置したタグのグループは38グループで合計約100枚のRFIDタグを設置した。タグは主にロボット位置・姿勢補正を行うポイント、店舗案内を行う場所近辺に設置し、それぞれのグループの間隔はおよそ5～7m程度である。今回の移動手法では、RFIDタグを厳密な位置に貼る必要性がなく、シール状であるため設置・撤去作業が容易であった。

4.2 実験フィールドにおける障害物回避方法

移動経路は図10に示すように基本的に通路の左側を通行することとした。このような規則を設けることで、障害物回避を行う際のルールを単純化することができる。障害物の回避は、ロボットが障害物を検知し、しばらく



図11 公開運用実験の様子

停止し、その後、発話機能を用いて注意喚起を行っても障害物がなくならない場合に実行される。

今回は、通路の中央部には人以外の障害はないという前提の下で回避動作を設定した。回避動作はロボットの右方向に避け、廊下の中央付近を通過し、その後、再び左側通行をするように、左壁の方向に戻ることにした。この移動中は、車輪のエンコーダによって自己位置を計算する。回避行動等で生じる位置・角度誤差は、再び、基準位置に設置されたRFIDタグの位置・角度補正によって解消される。

4.3 実験

平成16年7月9日から19日までの10日間、Active-G 3階で公開実験を行った。公開運用実験の様子を図11に示す。

公開運用中は通路に置かれる看板等の位置や数によって異なっていたが、これらをうまく避け、一般来場者の往来もある中、決められた周回コースを約30分で巡回することが確認できた。歩行者がロボットの直前を横切ることもあったが、ロボットは自動的に停止し、人や物への衝突事故はなかった。RFIDタグの設置・撤去作業も容易であった。行動命令に関するデータベースのパラメータ調整は現場で行う必要があり、この点は公開運用前に試験しながら設定する必要があったが、作業内容はデータベースのパラメータ調整であり、軽便に設置でき

たといえる。次に公開運用実験において得られた知見について列挙する。

1. ロボットの音響・発話機能について

ロボットの移動中、ロボットからのBGM演奏、発話は周囲の人の注目を得るためには効果的であり、ロボットとの接触事故を避けるためにも有効であると考えられた。ロボットの動作中は絶えず何らかのBGMや音声を出力するとよい。発話による演出では、すぐに人を飽きさせないような工夫が必要であり、この点は人の心理的な観点から検討する必要があると考えられる。また、発話による店舗などの宣伝効果も期待できる。

2. ロボットの移動方向について

ロボット周囲にいる人が、ロボットが次にどの方向に移動するか予測しやすくすることが、接触事故を防ぐためには重要である。ロボットが突然斜め方向に直進したり、後退することは、不特定多数の人がいる中ではすべきではないと考えられた。今回、ロボットの移動は基本的に前進（直進）と回転のみであるため（後退は遠隔操作時のみ）、周囲の人はロボットの正面を外観から認識できるため、自然にロボットの動きを予測できたと考えられる。ロボットの回転はほぼロボットの中央を中心に回転するため、ロボット外装が回転体であることから、ロボットの占有空間に大きな変化がなく、安全であったといえる。

3. ロボットの緊急停止ボタンについて

ロボット頭上に装備した緊急停止ボタンは、来客者によって故意に押されることがあった。ロボットの設計では安全性を考慮し、最も押しやすい位置に緊急停止ボタンを設置したが、このように故意に押されることを想定していなかったことから、人の行動を考慮したスイッチなどのインターフェース設計が必要である。

4. ロボットの安全基準について

実験中は安全を最優先し、常にオペレータがロボットを監視し、遠隔操作によって割り込み操作が可能な状態で行った。ロボットを運用する時に監視が常に必要であ

ることは実用上問題である。現段階では、不特定多数の人の中で民生用ロボットを運用するための安全基準の設定が課題である。すなわち、人と接する環境において自動で動作する民生用ロボットに必要とされる安全性に関するガイドラインが策定されることによって、事故の責任問題を解決することができ、民生用ロボットが広く社会で人の役に立つ機械として利用できるようになると考えられる。

5. 結言

民生用ロボットの先行用途として、案内ロボットを開発し、公開運用実験を行った。安全性を考慮したロボット構造について提案・試作し、一般の環境で設置・撤去が容易で、環境の変化に強い、移動ロボットシステムをRFIDやレーザレンジセンサを用いて開発した。

公開運用実験では、安全に安定して移動ロボットを運用できることを確認した。さらに、ロボットを一般の環境下で用いる場合に、人の行動を考慮したロボットの移動方法やインターフェース設計、安全基準の設定が重要であるという知見を得た。

また、本移動ロボットのナビゲーション方法は、設置・撤去が簡便であることから、期間が限定されたイベントや工場内でフレキシブルに移動経路を変更する用途においても利用可能であると考えられる。

文 献

- [1] 稲葉昭夫, 千原健司: ギフ・ロボット・プロジェクト 2-1, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.7, pp.4-7(2004)
- [2] 新産業創造戦略, 経済産業省, (2004)
- [3] 辻安彦, 八木康史, 谷内田正彦: 全方位視覚センサを用いたロバストな環境マップ生成と自己位置推定, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.1, pp59-67(2001)