

小型センサ端末によるパーソナルモビリティ・ビークルの 誘導制御システムの開発

Development of Automatic Driving System for Personal Mobility Vehicles using Small Sensor Terminal

○学 平松知樹 (九州大) 学 今井将人 (九州大)
正 山田弘幸 (九州大) 河村晃宏 (九州大)
正 倉爪亮 (九州大)

Tomoki HIRAMATSU, Kyushu University, hiramatsu@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp
Masato IMAI, Kyushu University
Hiroyuki YAMADA, Kyushu University
Akihiro KAWAMURA, Kyushu University
Ryo KURAZUME, Kyushu University

In recent years, Personal Mobility Vehicle (PMV) have been attracting much attention as the new future vehicle. In this paper, we propose a new control system which provides automatic driving function or driving support function to PMVs using a small sensor terminal named "Portable". This system enables to add intelligent functions to various PMVs by attaching the Portable. In this paper we introduce two types of intelligent PMVs, standing type mobility and electric wheelchair, and show experimental results in indoor and outdoor environments including a theme park.

Key Words: Personal mobility vehicle, Automatic driving, Informationally structured environment, RTK-GPS

1 はじめに

近年、クリーンな移動手段としてパーソナルモビリティ・ビークル (Personal Mobility Vehicle, PMV) が注目されている。PMV を用いることで工場や施設内、テーマパーク、観光地など、屋内、屋外を問わず様々な環境において個人の自由な移動が可能となる。また超高齢社会においても、運動機能を拡張する PMV は、高齢者に自らの体を動かす機会を与え、予防介護に貢献することも期待される。これまでに文献 [1] のように、操作者の歩行身体能力を生かしながら、通常の歩行よりも長い距離の移動を可能とする PMV の開発が行われている。

そこで本研究では、PMV に搭載して自動運転機能や運転支援機能を付加する小型センサ端末と、それを用いた PMV の誘導制御システムの構築を目的とする。誘導制御システムを有する PMV の応用例としては、テーマパークや観光地で、目的地まで人を乗せて自律移動する案内ロボットが考えられる。また、高齢者が利用する場合には、使用者の運動機能を補助するのみならず、危険な状況の警告や自動回避なども実現できる。しかし自動運転機能や運転支援機能を搭載した PMV を実現するには、制御用 PC やセンサなどの専用のハードウェアと自動運転のためのソフトウェアを開発する必要がある。一方、PMV は既に広く普及している四輪電動カートだけでなく、立ち乗り型のモビリティや電動車椅子、電動二輪車など様々な種類が存在し、それらに対して個別に、誘導制御システムのためのハードウェア、ソフトウェアを開発するのは多大な時間と労力が必要になる。そこで本研究では、我々がこれまでに開発してきた、制御用 PC、センサ、指示器などを搭載した小型センサ端末 [2] (以下ポータブルと呼ぶ) を PMV に外付けすることで、様々な PMV の誘導制御を実現するシステムを開発する。本システムは、ハードウェアとソフトウェアを再利用しながら、様々な種類の PMV を知能化し、自動運転機能や運転支援機能を実現するものである。

2 ポータブルによる PMV の知能化

2.1 小型軽量のセンサ端末 "ポータブル"

上述したポータブルは、制御用のボード PC、人物追跡や空間認識に用いるレーザレンジファインダ (LRF)、通信を行うための無線 LAN、単体で動作するためのバッテリー、内部状態を指示する LED ユニット、筐体などから構成され、様々なロボットに取り付けやすいように小型に設計されている。大きさは縦 114mm

× 横 100mm × 高さ 240mm で、重量はおおよそ 800g である。ポータブル本体の外観を図 1 に示す。今回はこのポータブルを外付けすることで、2 種類の PMV を知能化した。以下ポータブルによって知能化された PMV を知能化 PMV と呼ぶ。

2.2 ポータブル GO

これまでにポータブルの自律移動を実現する移動台車の開発が行われている [2]。これは、全方向に移動可能なオムニホイールを使用した移動台車にポータブルを搭載することで、全方向への自律移動を可能としたものであり、ポータブル GO と呼ぶ (図 2)。ポータブル GO ではこれまでに、単体のポータブル GO が目標位置まで自律移動するシステムや、複数のポータブル GO を目標位置へ自律移動させて分散配置し、配置先で移動体を検知するシステムなどが開発されている [2]。このポータブル GO のシステムでは、ポータブルによって移動台車が知能化されていると考えることができ、知能化 PMV の基となるシステムである。

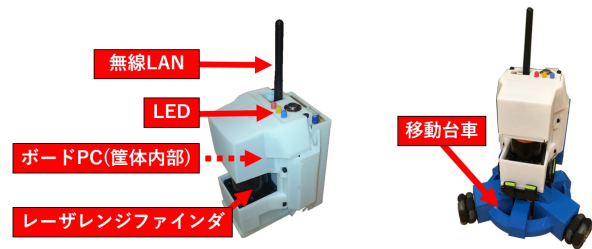


Fig.1 Portable



Fig.2 Portable GO

2.3 ポータブルによる立ち乗り型モビリティの知能化

まず、ポータブルにより立ち乗り型モビリティ Ninebot mini Pro (Ninebot Inc., 以下 Ninbot) を知能化した。この Ninebot は搭乗者がハンドルを足で挟んで左右に傾けて回転速度を指示し、本体の重心を前後に傾けることで並進速度を指示できるモビリティである。この Ninebot の左右の車輪に、回転数を計測するロータリーエンコーダを取り付け、ハンドル下部に、Ninebot の旋回をマイクログリッドから制御できる制御基板を取り付けた。この制御基板と外付けしたポータブルは USB ケーブルを介して通信を行い、制御基板からは車輪の回転数をポータブルへ送信し、ポ

ダブルからは回転速度を送信することで Ninebot の旋回を制御する。並進速度に関しては安全のため、通常の使用通り、搭乗者が重心を前後に傾けることで指示する。以降では、この知能化された Ninebot を知能化 Ninebot (Intelligent Ninebot) と呼ぶ。図 3 に知能化 Ninebot を示す。



Fig.3 Intelligent Ninebot

2.4 ポータブルによる電動車椅子の知能化

次に、ポータブルにより移動台車 ChairBot (サスティナブルロボティクス社) を知能化した。この ChairBot は電動車椅子 (MC3000U, スズキ (株)) を改造したものであり、通信インターフェイスとして LAN を備えており、USB-LAN アダプタを介してポータブルと通信を行う。ポータブルの制御用ボード PC からは左右の各車輪の速度コマンドを送信することで、台車を制御することができ、台車側からはロータリーエンコーダを用いて計測した左右の車輪の回転数を受信することができる。この ChairBot にポータブルを搭載するためのインターフェイスを整備し、また屋外で自己位置推定が行えるように RTK-GPS (Real Time Kinematic GPS) モジュールとアンテナを搭載した。ポータブルを外付けすることで知能化を行った ChairBot を図 4 に示す。以下ではこれを知能化 ChairBot (Intelligent ChairBot) と呼ぶ。



Fig.4 Intelligent ChairBot

3 知能化 PMV の誘導制御システム

3.1 誘導制御システムの概要

誘導制御システムは、環境地図とその地図上に PMV の初期位置、初期姿勢、目標位置、目標姿勢を与えることで、ナビゲーションを開始する。まず知能化 PMV が搭載するセンサや、環境側に配置したセンサからの情報により、環境内の障害物の検出と知能化 PMV の自己位置推定を行う。自己位置推定は車輪に取り付けたロータリーエンコーダを用いたオドメトリ法による位置情報と、ポータブル搭載の LRF や外部センサ、RTK-GPS を用いて推定した位置情報をカルマンフィルタによって統合して行う。それらの障害物情報と推定した自己位置に基づき、知能化 PMV の経路計画と動作計画を行い、目標並進速度と目標回転速度を生成する。経路生成にはダイクストラ法を、動作計画には DWA (dynamic window approach) を用いている。最後に目標速度を基に実際に知能化 PMV を動作させ、変動する環境に応じてこれらの処理が繰り返される。

3.2 ポータブル搭載のレーザレンジファインダの利用

ポータブルに搭載した LRF を用いることで、環境内の障害物の検出と、AMCL (Adaptive Monte Carlo localization) のアルゴリズムを利用した自己位置推定を行うことができる。今回行った知能化 Ninebot の一部の実験では、この AMCL を用いて自己位置推定を行った。

3.3 情報構造化環境の利用

環境情報構造化の概念 [3] に基づいて環境側にセンサを分散配置することで、分散配置した外部センサを利用してロボットの自己位置を推定したり、環境内の障害物を検出できる。今回行った知能化 Ninebot の一部の実験では、人流計測やロボットの誘導を行う統合センシングプラットフォームである Petit Petit SensorBox (P²-sen) を用いて情報構造化環境を構築した (図 5)。この P²-sen は、九州大学伊都キャンパス内に複数台設置されているポール型センサノード (Petit Sensor Box, P-Sen) を小型化したものである [4]。P²-sen は小型のボード PC と LRF を備えており、LRF から得た距離情報を元に、環境内の人物や障害物などの物体を検出できる。P²-sen では環境内の障害物の検出だけでなく、知能化 Ninebot の搭乗者も人物として検出できるため、検出された搭乗者の位置情報を知能化 Ninebot の自己位置推定に使用できる。

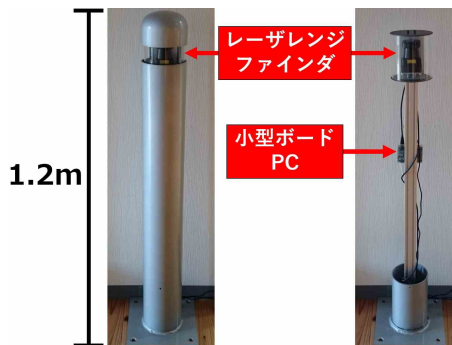


Fig.5 Petit Petit SensorBox

3.4 RTK-GPS の利用

3.4.1 知能化 ChairBot での C94-M8P の利用

知能化 ChairBot では、RTK-GPS による測位情報を正確な自己位置としてカルマンフィルタの入力の一つに利用している。今回は RTK-GPS モジュールである C94-M8P (ublox 社) と、GNSS アンテナである GA38 (GARMIN 社) をそれぞれ 2 セット用いて、1 つは知能化 ChairBot に搭載して移動局として、もう 1 つは任意の場所に固定して基準局として利用した。知能化 ChairBot の位置推定には基準局との相対位置を利用した。また以下 RTK-GPS による測位とは、全て Fix 解のみを指すこととする。

3.4.2 C94-M8P による RTK-GPS の精度実験

知能化 ChairBot で使用した構成と同様の構成で、基準局から直線距離で 30m (3000cm) 離れた地点 A で約 20 分間測位を行った。結果を表 1 に示す。座標は全て基準局からの相対座標であり、地点 A での測位回数は 1360 回である。また地点 A と基準局を結ぶ直線上で、地点 A と基準局の間を 3 等分する 2 地点を地点 A から近い順に地点 B、地点 C として測位を行った結果を表 2 に示す。ここでの絶対誤差とは、地点 A と基準局の間の距離について、地点 A での測位の直線距離の平均を真値として、等間隔に地点 B と地点 C の基準局からの直線距離の真値を決めて、測定値と比較したものである。地点 B と地点 C での測位回数はそれぞれ、577 回と 511 回である。実験の結果、標準偏差は 1cm 以内に収まり、絶対誤差についても数 cm 程度であり、PMV の誘導に十分な精度が得られることが確認できた。

4 知能化 Ninebot の誘導実験

4.1 屋内実験空間での知能化 Ninebot の誘導実験

室内に P²-sen を長方形の四隅に配置して簡易的に情報構造化環境を構築し、情報構造化環境内で知能化 Ninebot を人物に見立

Table 1 Positioning result at point A

xの平均 [cm]	yの平均 [cm]	直線距離の平均 [cm]
2214.0	2022.0	2998.4

Table 2 Positioning result at point B and C

	地点 B	地点 C
平均位置 (x,y)[cm]	(1474.4, 1345.6)	(735.2, 672.0)
標準偏差 (x,y)[cm]	(0.7, 0.5)	(0.7, 0.6)
直線距離の平均 [cm]	1996.1	996.0
絶対誤差の平均 [cm]	2.8	3.4
絶対誤差の標準偏差 [cm]	0.5	0.4

てて設置した2つの障害物を回避しながら、目標位置まで誘導した。まず初期位置で環境内の2つの障害物はP²-senによって検出されており、目標位置までの目標経路が生成されている。搭乗者の操縦によって前進を開始すると、目標経路に従ってまず1つ目の障害物を回避し(図6②)、続けて2つ目の障害物を回避して(図6③)、最終的に目標位置へ到達した(図6④)。

また、2017年8月31日~9月1日に東京ビックサイトで開催された「JSTフェア2017」にて上記実験と同様のデモンストレーションを行った。内容は上記実験と同様に障害物を回避しつつ目標位置まで知能化Ninebotを誘導するものと、実験空間内を移動する移動ロボット(Segway robot)を知能化Ninebotが追従するもの(図7)である。これは知能化Ninebotの目標位置を、P²-senによって検出されたもう1台の移動ロボットの位置に連続して設定することで実現している。



Fig.6 Automatic driving in indoor environment

4.2 屋内生活空間での知能化Ninebotの誘導実験

次に知能化NinebotとP²-senを生活空間に取り入れ、障害物を回避しつつ知能化Ninebotを目標位置まで誘導した。実験を行った室内の様子を図8に示す。最初の実験ではまず、P²-senを使用せずポータブルに搭載されたLRFのみを用いて自己位置推定と障害物検出を行った。初期位置の時点では障害物は検出されておらず、最短距離で目標位置へ到達する目標経路が生成されている(図9①)。前進を開始すると、やがて障害物1が検出されて回避できるように目標経路が更新される(図9②)。更新された経路に従い障害物1を回避する際、障害物2が検出されて再び目標経路が更新される。続けて障害物2を回避して(図9③)、目標位置、目標姿勢に達した(図9④)。本実験では障害物1によって障害物2が隠れてしまい、障害物2の検出が遅れて目標経路の更新が多くなった。

次にP²-senを使用して同様の実験を行った。初期位置の時点では、障害物2のみがP²-senによって検出され、障害物2を回避する目標経路が生成されている(図10①)。障害物1はP²-senによって検出される高さがないため検出されていない。前進を開始すると、やがてポータブルに搭載したLRFによって障害物1が検出され、目標経路が更新される(図10②)。更新された経

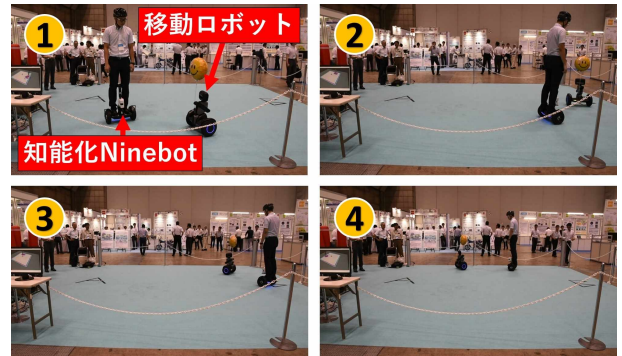


Fig.7 Demonstration at the JST fair

路に従って障害物1と障害物2を回避して(図10③)、目標位置、目標姿勢に達した(図10④)。上記2つの実験の最終的な経路を図11に示す。P²-senからの位置情報は微細に振動しているため軌跡も振動しているが、実用上問題のない程度の振動で、知能化Ninebotの動作に影響はなかった。また障害物2が初期位置で検出されていたことでスムーズに誘導を行うことができた。



Fig.8 Experimental setup in indoor daily environment

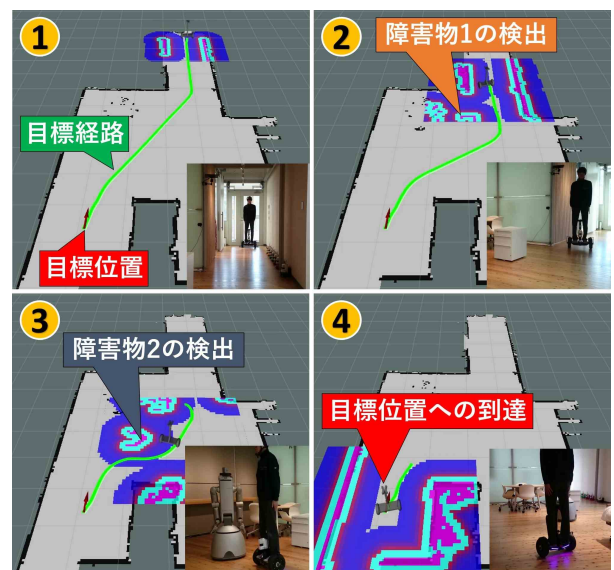


Fig.9 Automatic driving using on-board LRF

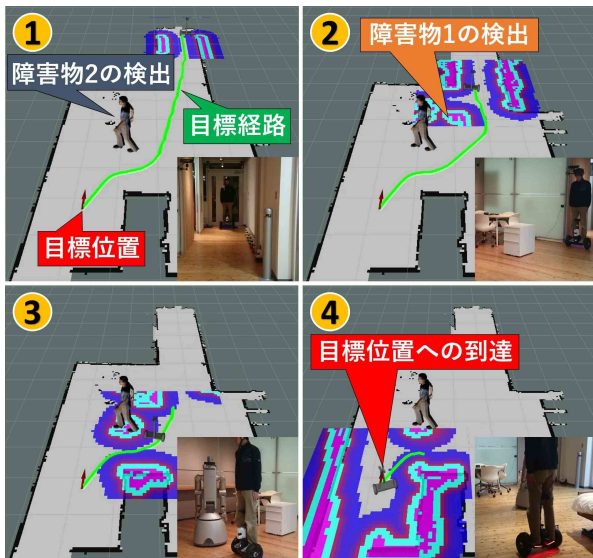


Fig.10 Automatic driving using P²-sen

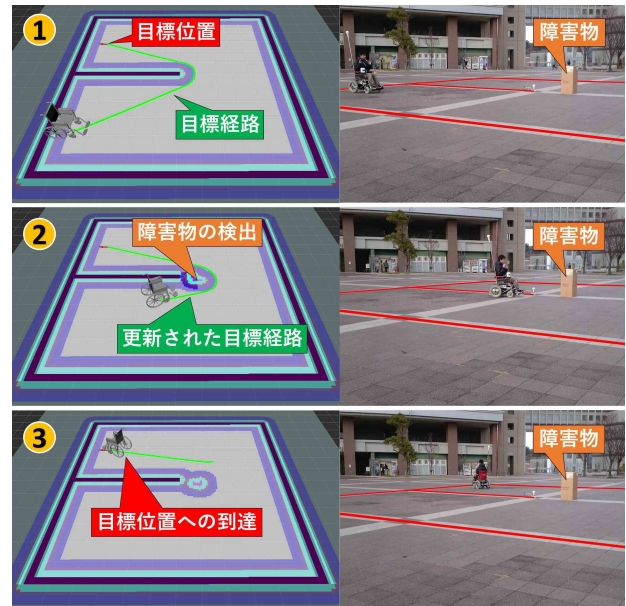


Fig.12 Automatic driving of Intelligence Chairbot using RTK-GPS

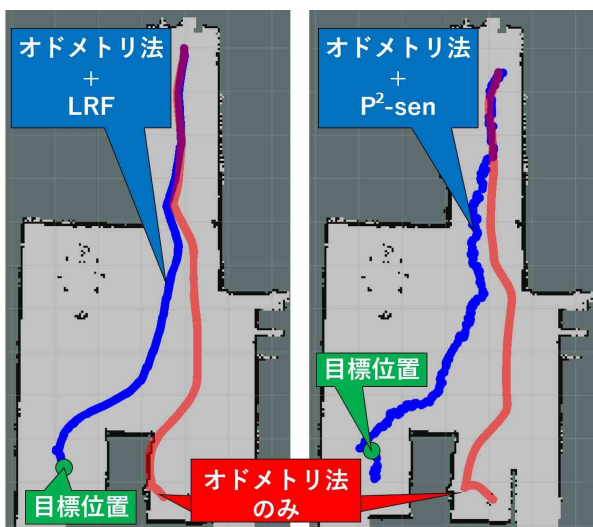


Fig.11 Trajectories of Intelligent Ninebot



Fig.13 Trajectory of Intelligent ChairBot



Fig.14 Experiment in Huis Ten Bosch

5 知能化 ChairBot の誘導実験

5.1 屋外実験空間での知能化 ChairBot の誘導実験

屋外の広場にて知能化 ChairBot を障害物を回避しつつ、目標位置まで誘導する実験を行った。広場には RTK-GPS の基準局を設置し、基準局と移動局が近距離にある環境を用意した。本実験では、実際の実験空間には壁が存在しない部分に試験用に壁を設けた、仮想的な環境地図を使用した。まず初期位置では広場の中央に設置した障害物は検出されておらず、最短距離で目標位置へ到達する目標経路が生成されている (図 12 ①)。実世界の写真には環境地図で壁になっている部分を赤い線で示した。自律移動を開始すると、やがてポータブルに搭載した LRF によって障害物が検出されて、回避できるように目標経路が更新され (図 12 ②)、最終的に目標位置、目標姿勢に達した (図 12 ③)。本実験の最終的な経路を図 13 に示す。

5.2 テーマパークでの知能化 ChairBot の誘導実験

次に上記の知能化 ChairBot の実験と同様のシステムを、長崎県佐世保市にあるハウステンボスに取り入れて同様の実験を行った (図 14)。実験はハウステンボス園内において複数回行ったが、実験中 RTK-GPS の Fix 解を安定して保てず、知能化 ChairBot を誘導できなかった。Fix 解を保てない原因としては、天候や時間帯の条件が合わず補足可能な衛星数が少なかったことや、周囲の建物によるマルチパスの影響を受けたことが考えられる。

6 まとめと今後の予定

本稿では汎用的に PMV を知能化できる小型センサ端末と、知能化した PMV の誘導制御システムを提案した。また実験により、提案システムで PMV を汎用的に知能化し、柔軟に構成を入れ替えて誘導制御を行えることを確認した。今後は知能化 ChairBot の自己位置推定法を中心に、よりシステムの汎用性を高められるよう改良を行う。

謝辞

本研究の実施にあたりご協力いただきました (株) hapi-robot ならびにハウステンボス (株) に感謝いたします。本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構の研究成果展開事業センター・オブ・イノベーション (COI) プログラムの助成を受けたものである。また一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A) (課題番号 JP26249029) の支援を受けた。

参考文献

- [1] 高橋良至. 歩行による移動を補助するためのパーソナルモビリティビークルの開発. p. G1800404, 2016.
- [2] 渡邊裕太, 重兼聡夫, 河村晃宏, 倉川亮. 情報構造化空間を拡張する群ロボットシステムの開発. 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, Vol. 7, pp. 1A1-06, 2016.
- [3] 倉川亮, ピョコンソク, 辻徳生, 河村晃宏. 情報構造化環境プラットフォーム ROS-TMS と Big Sensor Box の提案. 日本ロボット学会誌, Vol. 35, No. 4, pp. 346-357, 2017.
- [4] 高野茂, 後藤孝行, 辻徳生, 倉川亮, 内田誠一, 森岡道雄, 谷口倫一郎, 村上和彰. 地理情報システム上で活用できる人流・交通流ビッグデータ分析基盤の開発. 全国共同利用研究発表大会「CSIS DAYS」, 2015.