移動支援のための自動走行パーソナルモビリティビークルの開発

○今井 将人（九州大学），河村 晃宏（九州大学），倉爪 亮（九州大学）

Development of Automated Driving Personal Mobility Vehicle

○ Masato IMAI (Kyushu Univ.), Akihiro KAWAMURA (Kyushu Univ.),
and Ryo KURAZUME (Kyushu Univ.)

Abstract : In this paper, we propose an automated driving personal mobility vehicle aiming to provide a new transportation system for elderly or disabled persons. The proposed personal mobility vehicle is equipped with advanced sensor systems including RTK-GPS and omni-directional laser scanner. We show the mechanism of the automated driving personal mobility vehicle and the demonstration experiment.

1. 緒言

近年，少子高齢化の進行に伴う労働力不足が大きな問題となっており，ロボットや AI などの技術を利用した労働力の補完・代替に対する期待が高まっている．特にロボット分野では，日常生活環境で人間にサービスを提供するサービスロボットへの期待が大きく，その中でも，セグウェイや電動車椅子などに代表されるパーソナルモビリティビークル (PMV) は，ラストワンマイルのクリーンな次世代の移動手段として注目を集めている．PMV はそのコンパクトさから歩行者との親和性が高く，空港やショッピングモールといった屋内から歩道などの屋外まで，様々な環境で搭乗者に自由な移動手段を提供する．

こうした背景のもと，我々は現在，搭乗者の移動支援を行うための自動走行 PMV の開発を行っている．本稿では，開発したシステムについて述べた後，これまでに行ってきた自動走行実験について報告する．

2. ハードウェア

本研究では通常，自動走行車両で用いられる RTK-GPS や全周センサといった高度なセンサシステムを搭載した，立ち乗り型の小型 PMV の開発を行っている．ここでは，自動走行 PMV を構成するハードウェアについて述べる．

2.1 ninebot mini Pro

ベースとなる PMV として，ninebot 社の ninebot mini Pro(以下，ninebot)(Fig. 1) を使用している．ninebot は立ち乗り型であるため，人間とほぼ同じ大きさで小回りが利くという利点がある．

ninebot を操縦する際，並進速度は搭乗者が前後に体重移動することで，回転速度は車体に取り付けられたバーを傾けることで指示する．一方，本研究では，自動走行を実現するために，バーの傾きを検出するポテンショメータの代わりに，外部から制御電圧を入力することで回転を制御している．なお，並進については，急発進による転倒といった危険を避けるため，搭乗者が制御することとしている．

ninebot には，制御用の PC として Intel 社の NUC を搭載した．また，屋外において高精度測位が可能な RTK-GPS モジュール (MJ-2010-GL1, Magellan Systems Japan) と，高精度な環境認識が可能な 3D-LiDAR(VLP-16-HiRes, Velodyne) を，ninebot に取り付けた．更に，ninebot の速度を取得するために，車輪にロータリエンコーダ (UN-1000, 武藤工業) を取り付けている．

Fig. 1: ninebot

2.2 RTK-GPS

RTK-GPS とは，予め位置が分かっている点に Base(基地局) と呼ばれる GPS 受信機を，位置を求めたい点に Rover(移動局) と呼ばれる GPS 受信機を設置し，Base か

SY0010/19/0000 - 0141 © 2019 SICE

ら Rover へリアルタイムに補正情報を送信することで，センチメートル級の高精度な測位を行うシステムである．

RTK 法では，高精度な測位を行うために衛星-アンテナ間に搬送波の波数がいくつあるかを求める．波数の候補を絞り込む過程の解 (測位結果) を Float 解といい，精度は 20cm～ 数 m 程度である．一方，波数を決定した解を Fix 解といい，精度は数 cm となる．通常スマートフォンやカーナビなどで使用される単独測位法では，精度が 5～10m 程度の測位結果しか得ることが出来ないが，RTK 法を用いることでセンチメートル級の測位結果が得られ，ロボットの正確な自己位置推定が可能となる．

本研究で使用している RTK-GPS モジュール, MJ-2010-GL1(Fig. 3) は GPS の信号と，ロシアの測位衛星である GLONASS の信号を受信することができる．Fix 解の精度は，以下の式の通りである．

精度 = 5cm + 1ppm × 基線長 (Base − Rover 間の距離)

また，Base-Rover 間の通信には，920MHz 無線ユニット (TKU-T108, 立山科学ハイテクノロジーズ) を使用しており，この無線ユニットで通信可能な距離は 100m 弱である．

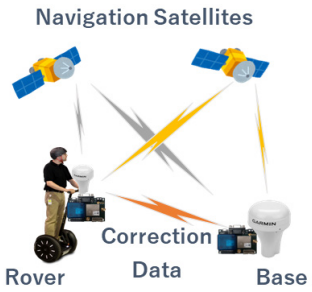

Fig. 2: RTK-GPS の概念図

2.3 3D-LiDAR

LiDAR とは，レーザ光をパルス状に照射し，反射光を検出することで物体までの距離や方向を測定し，高精度な環境認識を行うセンサである．

本研究で使用している 3D-LiDAR，VLP-16-HiRes(Fig. 4) の測距範囲は 1m ～ 100m であり，かつ全方位の環境認識が可能である．

2.4 ロータリエンコーダ

ロータリエンコーダとは，回転角度を計測するためのセンサである．これを車輪に取り付けることで，車輪の回転角を計測でき，ninebot の移動距離や速度を算出できる．

本研究で使用しているロータリエンコーダ, UN-1000(Fig. 5) の分解能は，車輪の移動距離に換算して約 0.2mm である．また，ninebot の車輪へロータリエンコーダを取り付けるための部品は，3D プリンタを用いて作成した．

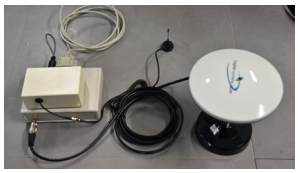

Fig. 3: MJ-2010-GL1

Fig. 4: VLP-16-HiRes

Fig. 5: UN-1000

3. ソフトウェア

ロボットの自動走行タスクは，主に自己位置推定，障害物検知，経路生成の 3 つから構成される．また，自動走行ソフトウェアには Robot Operating System(ROS) の Navigation Stack を利用している．ここでは，それぞれについて述べる．

3.1 自己位置推定

自己位置推定では，RTK-GPS などのセンサから得られた位置情報と，ninebot に取り付けたロータリエンコーダから得られる速度情報を，拡張カルマンフィルタによって統合することで，高精度な自己位置推定を行っている．

3.2 障害物検知

障害物検知では，LiDAR から得られた障害物の位置情報を，予めロボットが持っているコストマップに反映させている．

3.3 経路生成

経路生成では，まずユーザによって指示された目標位置までの最短経路 (グローバルパス) をダイクストラ法を用いて生成する．ダイクストラ法では，単純に最短の経路を

生成するため，ロボットが通れるかどうか考慮していない．そのため，Dynamic Window Approach[5] を用いて，グローバルパスに追従しつつ，障害物を回避しロボットが通れる経路 (ローカルパス) を通るための動作計画を行う．

4. 実験

九州大学伊都キャンパスの構内において，実際の道路に沿った自動走行実験を行った．本実験における走行経路は，立体駐車場からビッグどら (生活支援施設) までの約 200m とし，Base は経路の中間付近に設置した．(Fig. 6)．自動走行実験の様子を Fig.7 に示す．

Fig. 6: 実験環境

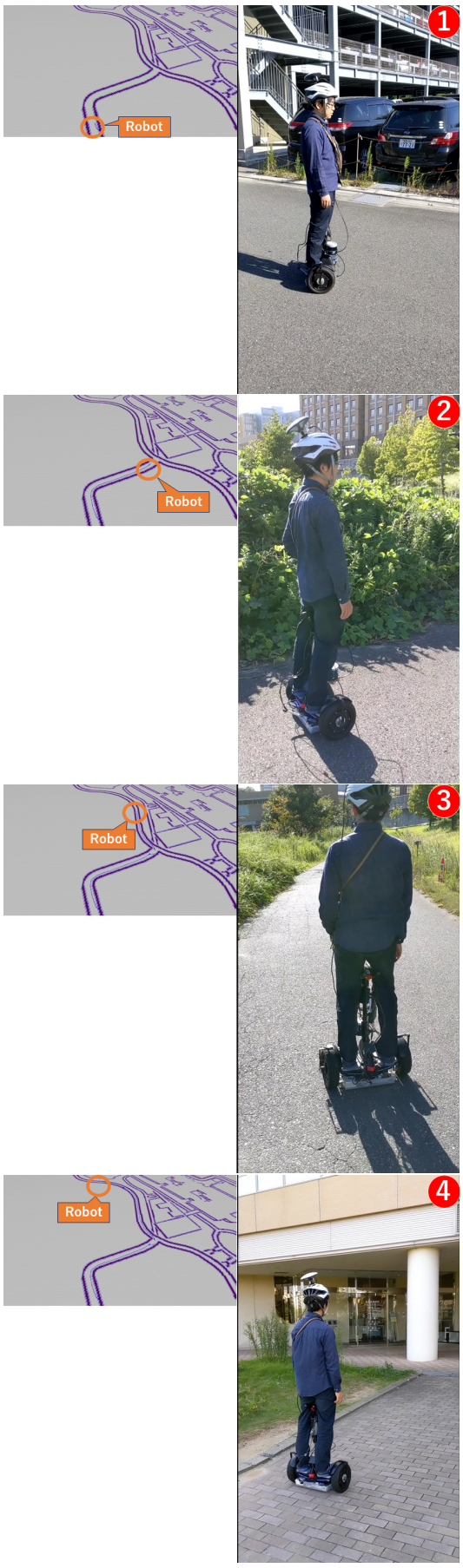

Fig. 7: 自動走行実験の様子

5. 結言

本稿では，現在開発している自動走行 PMV について紹介した．今後，屋外におけるより広範囲な自動走行の実現を目指すとともに，環境設置センサとの連携により，屋内外をシームレスに自動走行する PMV の実現を目指す．

参考文献

[1] H. Andersen, You Hong Eng, Wei Kang Leong, Chen Zhang, Hai Xun Kong, S. Pendleton, M. H. Ang, and D. Rus, “Autonomous personal mobility scooter for multi-class mobility-on-demand service”, *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp. 1753-1760, 2016

[2] Y. Watanabe, A. Shigekane, K. Matsumoto, A. Kawamura, and R. Kurazume, “Development of mobile sensor terminals ”Portable Go” for navigation in informationally structured and unstructured environments”, *ROBOMECH Journal*, 6, 6, 2019

[3] H. Yamada, T. Hiramatsu, M. Imai, A. Kawamura, and R. Kurazume, “Sensor terminal ”Portable” for intelligent navigation of personal mobility robots in informationally structured environment”, *2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integrations (SII)*, pp. 182-187, 2019

[4] 今井 将人, 平松 知樹, 山田 弘幸, 河村 晃宏, 倉爪 亮, “パーソナルモビリティのための情報構造化環境の構築とテーマパークでの誘導実験”, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 *2018*, pp.2A2-D07, 2018

[5] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, “The dynamic window approach to collision avoidance”, *IEEE Robotics Automation Magazine*, 4, 1, pp. 23-33, 1997