

第5世代移動通信システムを用いたテーマパークにおける 案内・共体験ロボットシステムの開発

Development of Tour-Guide and Co-Experience Robot System at a Theme Park
using 5th Generation Mobile Communication System

○学 松本耕平 (九大) 学 今井将人 (九大) 正 山田弘幸 (九大)
正 河村晃宏 (九大) 川内康裕 ((株) リビングロボット) 中村珠幾 ((株) リビングロボット)
正 倉爪 亮 (九大)

Kohei MATSUMOTO, Kyushu University, matsumoto@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp

Masato IMAI, Kyushu University

Hiroyuki YAMADA, Kyushu University

Akihiro KAWAMURA, Kyushu University

Yasuhiro KAWAUCHI, Living Robot Inc.

Tamaki NAKAMURA, Living Robot Inc.

Ryo KURAZUME, Kyushu University

3D jobs (dangerous, dirty, demanding) are expected to be replaced by autonomous robots. At a theme park, surveillance, cleaning, and guiding tasks can be regarded as 3D jobs. This paper aims to develop an autonomous tour guide robot system and co-experience system at a large theme park. One of the characteristics of the tour guide robot we developed is the use of QZSS (quasi-zenith satellite system) and CLAS (centimeter-level augmentation service), which realizes the centimeter-level positioning for autonomous service robots. On the other hand, co-experience realizes the sharing of experience through the robot utilizing the 5th generation mobile communication system. Experimental results at the theme park showed that the tour-guide experiment was successfully carried out and the co-experience system can provide sharing of the experience of the robot to the user.

Key Words: Tour-Guide Robot, Quasi-Zenith Satellite System, Co-Experience, 5th Generation Mobile Communication System, Service Robot

1 緒言

近年、少子高齢化や地方の過疎化などの社会問題に対して、IoT、ロボット、人工知能、ビッグデータ等の新たな技術を導入して、解決を図る取り組みに注目が集まっている。特に、ロボティクス分野においては、自律ロボットによる運搬、警備、介護などの3Kタスクの代替が期待されている。我々もこれまでに、屋外テーマパーク環境において自律ロボットにより人間の作業を代替するサービスの実現を目指し、テーマパークと共同で研究を行ってきた [1, 2, 3, 4]。テーマパークは広大な敷地に様々なアトラクションを有しており、清掃業務、警備業務、移動支援業務、案内業務などの様々な3Kタスクが存在している。

本研究では、これまでに開発を行ってきた、屋外テーマパーク環境における案内ロボットシステム [4] と第5世代移動通信システム (5G) を組み合わせて、新たな案内ロボットを開発した。このロボットは位置同定に2018年11月より運用されているQZSS (準天頂衛星測位システム) のCLAS (センチメートル級測位補強サービス) を利用しており、単一モジュールによるGNSS測位によって高精度な位置推定が可能である。さらに、今回ロボット外装を刷新し、新たに音声認識機能と5Gを用いた360度4K動画転送による「共体験システム」の機能を追加した。開発したシステムを用いてテーマパーク環境において実験を行ったのでその結果を報告する。

2 案内システム

図1に新たに開発した案内ロボットを示す。本ロボットは、センサとしてQZSS、2D LiDAR、360度カメラを使用しており、他にも、小型PC、バッテリー、スピーカ・マイク等を搭載している。次節より開発した案内ロボットのシステム構成の詳細について説明する。

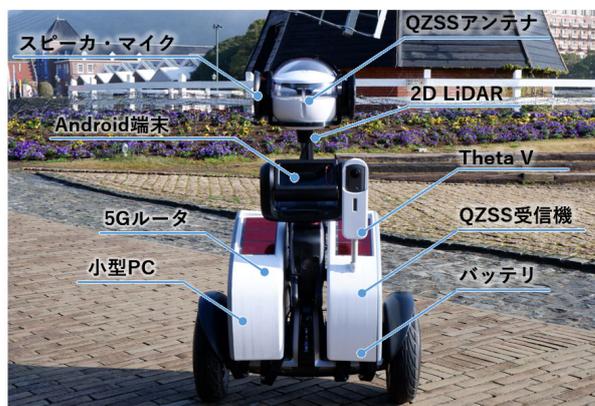


Fig.1 開発した案内ロボットの外観

2.1 ハードウェア構成

2.1.1 Loomo

本システムではロボットプラットフォームとして、2輪型移動ロボット Loomo (Segway Inc.) を利用した。Loomo は HD カメラ、デブスカメラ、超音波センサ、赤外線距離センサ、タッチセンサ、エンコーダ、IMU などのセンサや音声スピーカ、Android 端末を搭載している。また、専用の SDK も提供されており、搭載されたセンサ群を用いて様々なアプリケーションを開発することが可能である。また、立ち乗り型ロボットとして搭乗できるだけでなく、外部と通信し、遠隔で操作することも可能である。



Fig.2 Loomo

2.1.2 2D LiDAR

本システムで使用した全周レーザ距離センサは TiM581 (SICK Inc.) (図 3) であり、ロボットの周囲の障害物を検知するために用いる。計測可能距離は 0.05m ~ 25m であり、開口角は水平 270° である。



Fig.3 SICK TiM581 [5]

2.1.3 準天頂衛星測位システム

QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) は 2018 年 11 月より運用されている、準天頂軌道の衛星を用いた GNSS (Global Navigation Satellite System) である。準天頂軌道衛星を用いることで受信機側から観測できる衛星数が増加し、さらに準天頂軌道の衛星は日本付近に長くとどまるため、安定した衛星測位を行うことができる。また、QZSS は日本国内に密に設置されている電子基準点での観測データを用いて誤差補正信号を生成し、それを衛星を通じてユーザ端末に送信することで、通常の GNSS 測位に含まれる誤差を補正することができる。この補正手法は CLAS (Centimeter Level Augmentation Service) [6] と呼ばれ、日本周辺で準天頂軌道衛星が観測できる環境であればセンチメートル級の測位を実現できる。本システムで使用しているモジュールは図 4, 5 に示す、MJ-3021-GM4-QZS-EVK (マゼランシステムズジャパン (株)) である。



Fig.4 QZSS アンテナ



Fig.5 MJ-3021-GM4-QZS-EVK

2.2 ソフトウェア構成

本節では自律移動案内ロボットシステムのソフトウェア構成について説明する。ソフトウェアは大きく分けて自律移動ソフトウェアと案内アプリケーションがあり、このうち自律移動ソフト

ウェアは、自己位置推定、経路生成、障害物検知から構成される。ソフトウェアの構成を図 6 に示す。

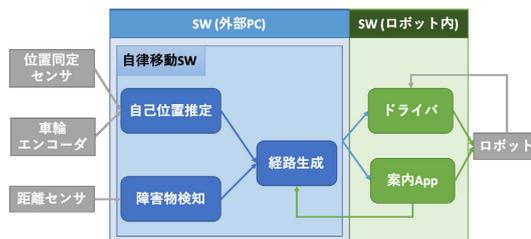


Fig.6 ソフトウェアの構成

2.2.1 自律移動ソフトウェア

- 自己位置推定 … QZSS からの計測値とホイールエンコーダで取得した速度情報を拡張カルマンフィルタで統合し位置情報を得る。
- 衝突回避 … 2D LiDAR の計測データを用いて、一定範囲以内に歩行者を検出した場合にロボットを停止させる。
- 経路生成 … ダイクストラ法を用いて目的地までの最短経路 (グローバルパス) を作成し、グローバルパスに沿って、Dynamic Window Approach [7] で最適な経路 (ローカルパス) を生成する。

2.2.2 案内アプリケーション

案内アプリケーションは、図 7 に示すように、ユーザからのリクエストに応じて、自律移動ソフトウェアに目標位置情報を送り、移動中のステータスを受信する。このステータスには、ロボットが目標位置に到着したかどうか、障害物を検出しているかどうかの情報などが含まれており、ステータスに応じて、音声によるアトラクションの解説などを行う。

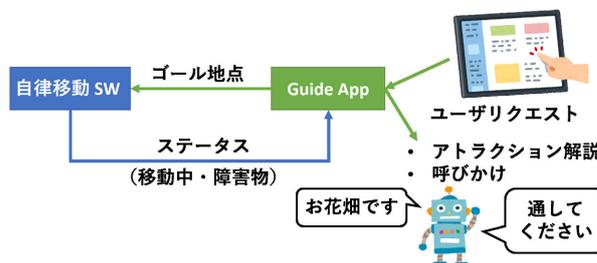


Fig.7 案内アプリケーション

2.2.3 音声認識システム

音声認識システムはドコモ AI エージェント API [8] を用いて実装されており、図 8 に示すように、決められたシナリオに沿って会話を行うことができる。案内ロボットシステムではこの音声認識システムを用いて、ユーザリクエストの受付や質問への受け答えを行っている。

3 共体験システム

共体験システムはユーザがネットワークを介してロボットと「体験」を「共有する」システムである。特にテーマパーク環境において、このシステムを用いることで遠隔地からロボットを介してテーマパークを観光することが可能になる。次節より、本システムの詳細について述べる。

3.1 ハードウェア構成

3.1.1 360 度カメラ

本システムではロボットの視界を取得するために 360 度カメラを用いている。使用している 360 度カメラは図 9 に示す Theta V (株式会社リコー) であり、360 度動画を 4K 画質で取得することができる。

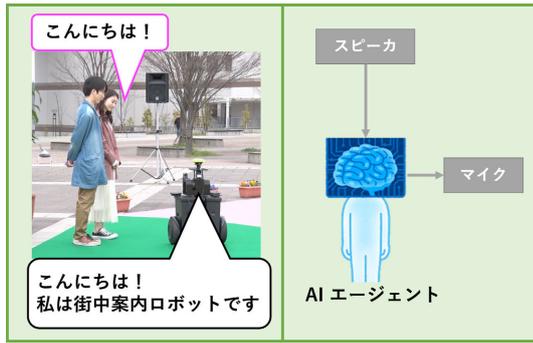


Fig.8 音声認識システムの概念図



Fig.9 Theta V



Fig.10 Oculus Rift

3.1.2 VR ヘッドマウントディスプレイ

本システムでは取得したロボットの視界を VR ヘッドマウントディスプレイを用いてユーザに提示する。360 度カメラで取得された動画を VR ヘッドマウントディスプレイで見ることによって、ロボットの周囲をあたかも自分の視界かのように観測することができる。本システムで使用している VR ヘッドマウントディスプレイは図 10 に示す Oculus Rift (Oculus VR Inc.) である

3.2 ソフトウェア構成

図 11 に共体験システムのソフトウェア構成を示す。本システムはロボット側とユーザ側の通信をリアルタイムで行うために WebRTC [9] を採用している。WebRTC システムは JavaScript API を用いて Web ブラウザ上で動くアプリケーションとして実装しており、ロボット側の Web サーバにアクセスすることで、ネットワークを介してアプリケーションにアクセスすることができる。また、Oculus Rift を用いた VR アプリケーションを実現するために A-Frame [10] を採用している。A-Frame を用いることで Web ブラウザ上で VR アプリケーションを実装することができる。この VR アプリケーションもロボット側の Web サーバ上のアプリケーションに組み込まれている。

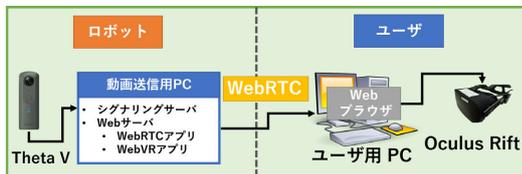


Fig.11 共体験システムのソフトウェア構成図

4 ネットワーク構成

本研究では、テーマパーク、ハウステンボス内に (株) NTT ドコモにより整備された 5G 環境を用いて、システムの運用実験を行った。本研究で用いたネットワークの構成を図 12 に示す。ロボット制御 PC とロボットシステムのサーバはそれぞれ 5G ルータに接続しており、そこから VPN サーバを介して dOIC(docomo Open Innovation Cloud) を経由し相互通信を行う。また、ロボット内の Android 端末はリバーステザリング (RT) を用いてロボッ

ト制御 PC と同一のネットワークに接続している。予備実験を行った結果、今回の構成でおおよそ 20~40Mbps 程度での無線通信が可能であった。

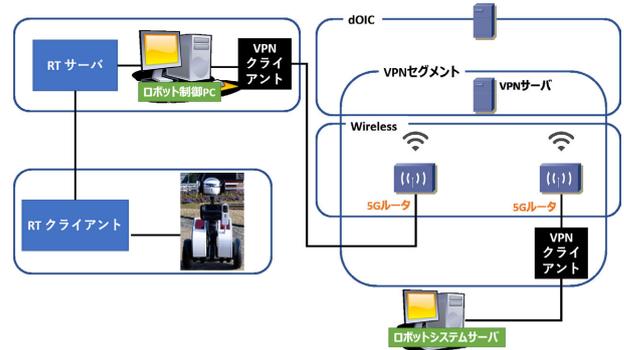


Fig.12 5G ネットワークの構成

5 実験

本研究では実際のテーマパーク環境において案内実験と共体験実験の 2 つの実験を行った。

5.1 案内実験

開発したシステムを用いて、ハウステンボスの 1 区間で実際に案内タスクを実行できるかを確認した。本実験における実験環境と案内作業を図 13 に示す。ロボットはポイント①~⑤を自律

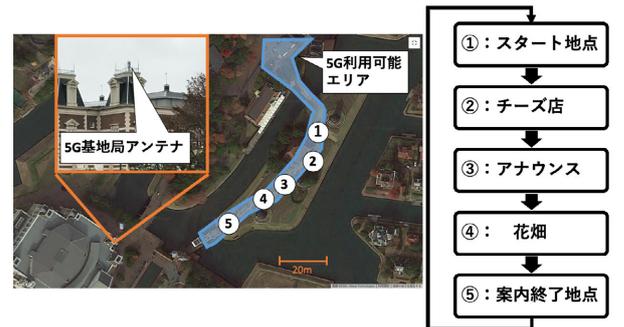


Fig.13 実験環境と案内作業の流れ (地図画像は Google Maps Platform [11] を用いて作成したプログラムにて取得)

移動し、各ポイントで音声による解説を行う。総移動距離は片道 130m 程度であり、ポイント⑤到達後は自動でスタート地点まで戻る。また、今回実験を行う環境は 2 つの基地局によって 5G 利用可能エリアが構成されている。そのうち 1 つの基地局のアンテナは図中の左下の建物の屋上部分に設置されており、図中の水色で塗られたエリアが 5G 利用可能エリアになっている。本実験の結果を図 14 に示す。

図 14: ①では案内開始位置から移動を開始している。図 14: ②ではロボットは 1 つ目の目標地点であるチーズ店に到着し、チーズ店に関して説明を行っている。図 14: ③は 1 つ目の目標地点から 2 つ目の目標地点に移動している最中であり、ハウステンボスについての解説を行っている。図 14: ④では、2 つ目の目標地点である、花畑に到着し、花の種類等について解説を行っている。図 14: ⑤では、案内終了地点に到着し、案内終了のアナウンスを行っている。図 14: ⑥は、案内終了後、スタート地点に戻っている様子である。この実験により開発したシステムが屋外テーマパーク環境内で案内タスクを実行できることを確認した。

5.2 共体験実験

開発したシステムを用いて、ハウステンボス内の 5G ネットワーク区間で実際に共体験システムの動作を確認した。ユーザは



初期位置でアナウンスを行っている



チーズ店に到着し説明



ハウステンボスの説明を行っている



花畑に到着し説明



案内終了地点に到着し、終了アナウンス



案内終了後、スタート地点に戻る

Fig.14 自動案内実験

図 15 のように VR ヘッドマウントディスプレイを装着しロボットの視界を共体験し、図 16 に示すような映像を見ることができた。この実験によって開発したシステムを用いて遠隔地からロボットの体験を共有することができることを確認した。



Fig.15 共体験システム ユーザのユーザ Fig.16 共体験システムによって提示される視界

6 まとめ

本研究では、5G ネットワークを活用した屋外テーマパーク環境における自律案内ロボットシステムと、共体験ロボットシステムの開発を行った。案内ロボットシステムに関しては、ハウステンボスにおいて案内実験を行い、開発したシステムが屋外テーマパーク環境における案内作業を実行可能であることを確認した。

また、共体験ロボットシステムに関しては、ハウステンボスの5G ネットワーク区間において映像伝送実験を行い、開発したシステムを用いて遠隔地からロボットの体験を共有することができることを確認した。

謝辞

本研究の一部は、内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期 / フィジカル空間デジタルデータ処理基礎」(管理法人: NEDO) によって実施されています。また 5G ネットワーク、5G ルータの利用にあたっては、(株) NTT ドコモに御協力いただきました。

参考文献

- [1] Hiroyuki Yamada, Tomoki Hiramatsu, Masato Imai, Akihiro Kawamura, and Ryo Kurazume. Sensor terminal "Portable" for intelligent navigation of personal mobility robots in informationally structured environment. In *IEEE/SICE International Symposium on System Integrations (SII)*, 2019.
- [2] 松本耕平, 今井将人, 山田弘幸, 河村晃宏, 倉爪亮. テーマパークにおける自律案内ロボットの開発. 第 19 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 SI2018, pp. 2051-2054, 2018.12.13-15.
- [3] 松本耕平, 今井将人, 山田弘幸, 河村晃宏, 川内康裕, 中村珠幾, 倉爪亮. 準天頂衛星測位システムを用いたテーマパークにおける案内ロボットシステムの開発. 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2019, Jun 2019.
- [4] Kohei Matsumoto, Hiroyuki Yamada, Masato Imai, Akihiro Kawamura, Yasuhiro Kawachi, Tamaki Nakamura, and Ryo Kurazume. Quasi-Zenith Satellite System-based Tour Guide Robot at a Theme Park. In *2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, Jan. 2020.
- [5] TiM581-2050101. <https://www.sick.com/jp/ja/detection-and-ranging-solutions/2d-lidar/tim5xx/tim581-2050101/p/p619344>, February 2020.
- [6] Cabinet Office (Japan). Quasi-Zenith Satellite System Interface Specification Centimeter Level Augmentation Service Cabinet Office. Technical report, 2018.
- [7] Fox Dieter, Burgard Wolfram, and Thrun Sebastian. The dynamic window approach to collision avoidance. *IEEE Robotics Automation Magazine*, Vol. 4, No. 1, pp. 23-33, 1997.
- [8] ドコモ AI エージェント API. <https://docs.sebastien.ai/>, February 2020.
- [9] WebRTC. <https://webrtc.org/>.
- [10] A-Frame: Hello WebVR. <https://aframe.io/>.
- [11] 位置情報 API | Google Maps Platform | Google Cloud. <https://cloud.google.com/maps-platform/?hl=ja>.