

屋外用ロボットのための RTK-GNSS 技術の調査

松原 龍樹^{*1} 井出 雄太^{*2} 鳴海 早久来^{*1} 何 梓遜^{*3} 辛 徳^{*4}

Survey of RTK-GNSS technology for outdoor robots

Ryuki Matsubara^{*1} Yuta Ide^{*2} Sakura Narumi^{*1} Zixun He^{*3} Duk Shin^{*4}

Abstract: In recent years, there are many patients with physical disabilities due to traffic accidents and the aftereffects of illnesses. Among them, the number of patients suffering from paraplegia is increasing. The percentage of patients with paraplegia is the highest among the disabled, accounting for about half, and is expected to increase further in the future. The most severe type of paraplegia is tetraplegia, in which it is almost impossible to move the limbs themselves. In this study, we develop a gaze interface using a VR device that can acquire gaze information. We also aim to develop and control an outdoor robot equipped with LiDAR and RTK-GNSS using this interface. As a preliminary experiment, we verified the accuracy of precise positioning information of an outdoor robot equipped with RTK-GNSS. As a result, the positioning error was small and accurate positioning was possible even when the outdoor robot was running, making it useful for outdoor robots.

1 序論

近年、交通事故や病気の後遺症などにより身体に障害を抱える患者が多く存在する。その中でも肢体麻痺の症状を患っている患者数は特に増えている。図1に厚生労働省によって令和4年におこなわれた身体障害手帳の所持者の内、肢体麻痺患者数の調査結果を示す[1]。身体障害者の内、肢体麻痺患者の割合が最も多く約半数を占めているような状況であり、今後も更に増加していくと考えられる。肢体麻痺の症状の中にもいくつか種類があり、最も重症なもので四肢を動かすこと自体がほぼ不可能である四肢麻痺が挙げられる。四肢麻痺患者は自力での生活が不可能なことから生活の質(以下 QOL)の低下が懸念されている。

肢体麻痺患者の QOL の向上をおこなうことを目的として、四肢を利用することなく操作することのできる遠隔操作ロボットが期待されており、数多くの研究がおこなわれている。松日楽らは、生活支援ロボットとして臨機応変な移動動作として人間に追従しながら、音声入力によって患者が指示を出すことのできるロボットの開発をおこなっている[2]。また、田中はブレインマシン・インタフェース(以下 BMI)を用いた脳波指令で動作する車椅子を開発している[3]。しかし、音声認識には個人の発音の差などによる誤認識や対応することのできる音源の種類や制約が存在することが問題点として挙げられる。また BMI には操作するために脳波計測器や計算機といった機器を患者の身体に取り付ける必要があり、患者に対して負担が大きくなってしまふことが問題点として挙げられる。そして、こ

れらの研究では屋外での利用を想定したものではない。

そこで、本研究では視線情報を取得できる VR 機器を用いた視線インターフェースの開発を行う。そして、これを用いて Light Detection And Ranging (以下 LiDAR)と Real Time Kinematic-Global Navigation Satellite System (以下 RTK-GNSS)を搭載した屋外用ロボットの開発と制御を目的とする。今回は予備実験として RTK-GNSS を搭載した屋外用ロボットの精密な位置情報の精度検証を行った。

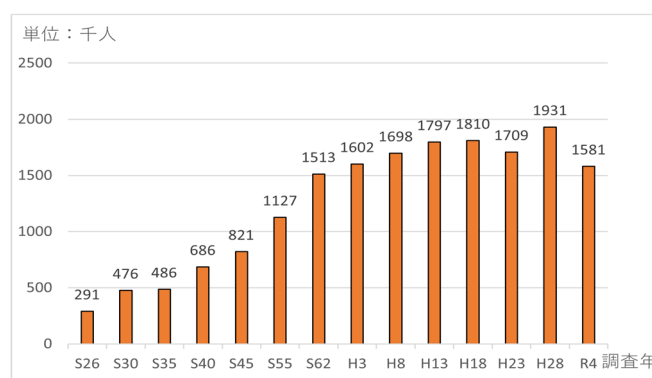


図1 障害手帳を所有している肢体麻痺患者数 (厚生労働省[1]より作成)

^{*1} 東京工芸大学 工学研究科 工学専攻 ^{*2} 東京工芸大学 工学部 工学科 機械コース

^{*3} 東京工芸大学 工学部 工学科 機械コース 非常勤講師 ^{*4} 東京工芸大学 工学部 工学科 機械コース 教授
2024年9月25日 受理

2 GNSS 測位について

2.1 衛星測位システム

衛星測位システムとは、人工衛星を利用して地上の現在位置を計測するシステムである。みちびき(日本)、GPS(アメリカ)、GLONASS(ロシア)、Galileo(EU)等のシステムがある。これらの衛星測位システムの総称を Global Navigation Satellite System と呼ばれ、その頭文字を取って「GNSS」と表記される[4]。以下に、今回使用した GNSS 測位方法について説明する。

2.1.1 相対測位

GNSS 衛星の位置を基準に、GNSS 衛星からの電波信号が各受信機に到達する時間差を測定し、2点間の相対的な位置関係を求める。この方法は相対測位と呼ばれる。2台以上の受信機を使用し、同時に4機以上のGNSS衛星を観測する。観測点での測定には、衛星の位置や信号送信時刻の誤差が含まれているが、2点の観測値の差を用いることで、これらの共通誤差を消去できる。また、大気の影響により衛星からの電波に遅延が生じるが、2つの観測点が比較的近い場合、同様の大気由来の誤差が発生するため、2点間の観測量の差を取ることで、その影響を大幅に軽減することが可能である。

測量には、単独測位で使用する信号よりもさらに精密に距離を観測できる信号(搬送波位相)を利用する。分解能の高い信号と共通誤差の消去により、100万分の1の精度で2点間の相対的な位置関係を把握することができる[5]。

2.1.2 RTK-GNSS

図2はRTK-GNSS測位方法を示したものである。RTK方式とは、相対測位の一つの手法であり、位置が既知の場所を基準局とし、測位したい場所を観測点として、同時にGNSS観測を行う。基準局で観測したデータを無線などで観測点へリアルタイムに送信し、基準局の位置情報を基に観測点の位置をリアルタイムで算出できる。このように、観測データを測位コンピュータへ送信し、位置の計算を行うことで、誤差が数センチメートル以内の精度で測位が可能である[6]。

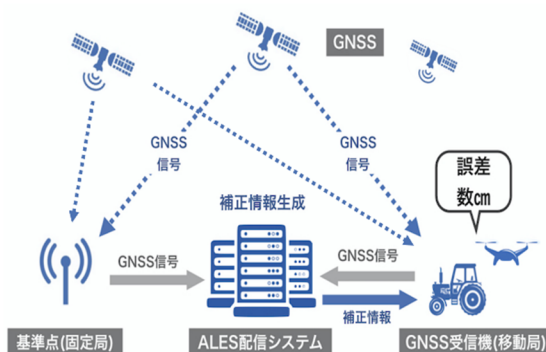


図2 RTK-GNSS 測位
(建築 IT ワールド[7]より)



図3 開発システム

3 提案システムの概要

図3は、提案するロボットシステムの概要を示している。操縦者は、視線計測が可能なVR機器(HMD; Head Mounted Display, VIVE Pro Eye, HTC社製)を頭部に装着する。HMDには、3D空間を表示するためのゲームエンジンの一つであるUnity(Unity Technologies社製)を用いて開発された視線インターフェースが実装されており、それを使って屋外用ロボットを操作する。また、屋外用ロボットに搭載されたカメラからの映像が操縦者側にリアルタイムで送信され、さらにRTK-GNSSからは屋外用ロボットの位置情報が提供される。この位置情報を活用して、屋外用ロボットは自動走行を行う。

3.1 Robot Operating System

Robot Operating System(以下ROS)は、ロボット用のソフトウェアプラットフォームであり、ロボットソフトウェアの研究開発を世界規模で推進することを目的としたミドルウェアである。ROSを使用することで、複雑になりやすい分散処理システムを容易に構築でき、ロボットの内部処理を軽量化することが可能である。また、データログの取得やセンサの可視化など、開発を進める上で有用なツールも多く提供されている[8]。今回、視線インターフェースと屋外用ロボットとの無線通信、屋外用ロボットのモータ制御に関するプログラムを作成した。

3.2 視線インターフェース

図4は、開発した視線インターフェースを示している。この視線インターフェースは、屋外用ロボットの映像を表示するスクリーンと、屋外用ロボットに命令を送る制御ボタンで構成されている。操縦者はVR機器を装着することで視線計測が可能となり、HMDに3D空間が表示される。スクリーンには、屋外用ロボットからの映像がリアルタイムで出力され、操縦者が上下左右の制御ボタンに視線を向けることで操作が入力されるようになっている。視線が上を向いた場合は前進、下を向いた場合は後退、左右を向いた場合は旋回するようにプログラムが設計されている。操縦者は映像を見ながら屋外用ロボットを操作する。無線通信にはROSを使用している。

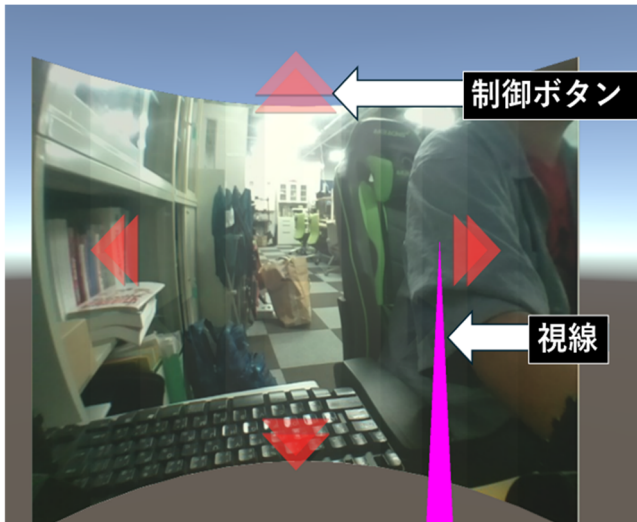


図4 視線インターフェース

3.3 屋外用ロボットの構成

図5は、本研究で開発した屋外用ロボットの構成を示している。①遠距離通信を可能にするため、アンテナが設置されており、内蔵された Wi-Fi アクセスポイントの電波を強化する。②GNSS レシーバ (DG-PRO1RW, BizStation 社製) は、RTK-GNSS 測位のための受信機で、測位した位置情報を操縦者に送信することで、屋外用ロボットの現在位置を把握できる。③360度 LiDAR センサ (RPLIDAR A2M8, Slamtec 社製) は、屋外用ロボットの死角を補うためのサポートデバイスであり、障害物を検知すると回避行動を行うよう設計されている。④モバイル Wi-Fi は、ネットワーク接続を提供する。⑤Mini PC (NUC, Intel 社製) は、GNSS レシーバの位置情報を記録するために使用される。⑥モバイルバッテリーは、GNSS レシーバと Mini PC に電力を供給し、大容量のため長時間の稼働が可能である。⑦移動ロボット (Leo Rover Developer Kit, Fictionlab 社製) は、防水仕様で屋外利用に適しており、オープンソースソフトウェア ROS を使用することで、視線インターフェースとの通信や 360度 LiDAR のプログラミング、モータの制御が容易にできる。

4 検証実験

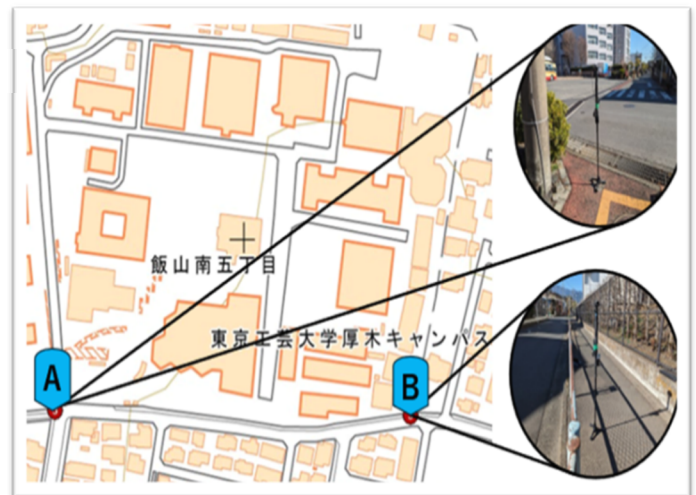
4.1 静止時誤差検証実験

4.1.1 実験方法

この実験では、東京工芸大学付近にある国土地理院が設定した2箇所の街区多角点にGNSSレシーバを設置し、各地点で10回の測位を行った。測位した位置情報と公開されている位置情報の誤差を算出し、その平均を求めることで静止時の精度を検証した。図6は今回使用した街区多角点を示しており、A地点とB地点それぞれにマーカーが設置



図5 屋外用ロボットの構成

図6 測位地点A,B
(国土地理院[9]より)

され、この上で測位を行った。

4.1.2 実験結果と考察

実験結果によると、地点Aの誤差平均は1.33cm、地点Bの誤差平均は3.87cmであった。測位誤差は、地点A、Bともに5cm未満であり、標準偏差の値も地点Aでは $\pm 0.24\text{cm}$ 、地点Bでは $\pm 0.09\text{cm}$ と小さい。この結果から、高精度な測位が安定して行えると考えられる。地点Aよりも地点Bで測位誤差が大きくなった原因として、地点Aは木々や大きな建物がなく、開けた空間であったため、測位に与える影響が少なく、誤差が小さかったと考えられる。一方、地点Bは住宅街に位置し、測位地点の上部に木々が生えていたため、これらの要因が測位誤差を大きくしたと考えられる。

4.2 走行時誤差検証実験

4.2.1 実験方法

この実験では、RTK-GNSSの走行時誤差を検証するため、

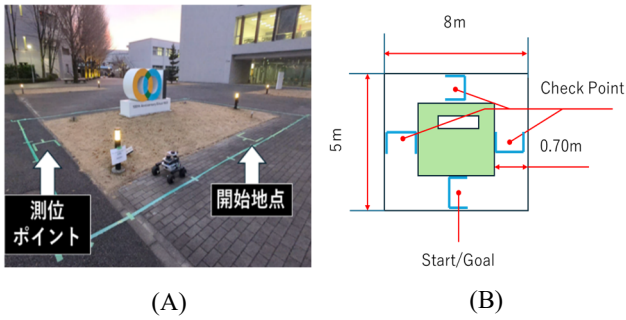


図7 走行コースと上面からの寸法

被験者 3 名が研究室から屋外用ロボットをキーボードで遠隔操作し、屋外に設置されたコース（図 7）を 3 周走行させる実験を行った。コースには事前に位置情報を測定したポイント A, B, C の 3 点があり、周回ごとに各ポイントで一時停止し、位置情報を記録し、実験の開始時および終了時の位置情報も記録した。また、同様のコースで位置情報の測位は行わず一周するのにかかる時間を計測した。

4.2.2 実験結果と考察

実験結果を表 1 に示す。被験者 A の各ポイントでの平均誤差は 5.6cm で、始点と終点の誤差は 1.8cm であった。また、被験者 B は各ポイントでの平均誤差は 11.5cm、始点と終点の誤差は 7.8cm であった。被験者 C では、各ポイントでの平均誤差が 3.9cm、始点と終点の誤差は 5.8cm であった。全体の平均誤差はおおよそ 7cm で、標準偏差はポイント A が $\pm 3.3\text{cm}$ 、ポイント B が $\pm 2.5\text{cm}$ 、ポイント C が $\pm 5.3\text{cm}$ であった。これらの結果から、数 cm の誤差で測位が可能であることが示された。

表 2 は各被験者の時間を計測したものである。各被験者一周時間に大きな差がなく標準偏差も小さいことから、安定して走行が行えていると考えられる。

図 8 は、各被験者の移動軌跡をプロットしたものである。各被験者の軌跡はコース内に収まり、重なっている部分を確認できる。特に被験者 C の軌跡に注目すると、曲がり切れずに大回りしたり、コースに復帰しようとする動きが見られた。これらの実験結果から、走行中でも測位が正確に行えると考えられる。

5 結論

本研究では、視線情報を取得できる VR 機器を用いた視線インターフェースの開発を行う。これを用いて、LiDAR および RTK-GNSS を搭載した屋外用ロボットの開発と制御を目指し、その予備実験として RTK-GNSS を搭載した屋外用ロボットの精密な位置情報の精度検証を実施した。その結果、測位時の誤差は小さく、ロボット走行中でも正確な測位が可能であることが確認され、屋外用ロボットでの利用が有用であることが分かった。しかし、木々や大き

表 1 各ポイントの平均誤差

誤差 (cm)	被験者 A	被験者 B	被験者 C
地点 A	7.6	12.5	5.5
地点 B	2.5	9.6	2.9
地点 C	7.9	13.6	2.7
全ポイントの平均誤差	5.6	11.5	3.9
始点と終点の誤差	1.8	7.8	5.8

表 2 各被験者のタイム

	被験者 A	被験者 B	被験者 C
1 周目 (s)	109.79	108.24	108.84
2 周目 (s)	117.72	109.18	109.10
3 周目 (s)	111.24	112.48	120.05
平均時間 (s)	112.92	109.97	112.66
標準偏差 (s)	± 3.4477	± 1.8182	± 5.2242

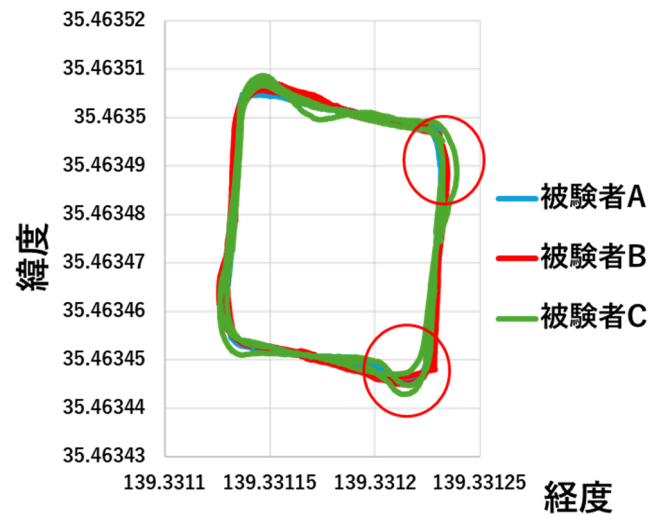


図 8 移動の軌跡

な建物などの障害物によって測位に影響が生じるため、この点を考慮して運用する必要があると考えられる。

今後の展望として、現在 LiDAR や視線インターフェースの単独での制御は可能であるため、これらを屋外用ロボットと統合し、ソフトウェア面での開発を進める。また、操縦者が地図上で目的地を指定した際の移動計画や、中断時に移動計画を再計算するためのソフトウェアの開発も行う予定である。

参考文献

- 1) 厚生労働省, “令和 4 年生活のしづらさなどに関する調査 (全国在宅障害児・者等実態調査) 結果の概要”
- 2) 松日楽 信人, 小川 秀樹, 吉見 卓, “人と共存するロボッ

- トシステム, 東芝レビュー”, 60号, p.112-115, 2005年
- 3) 田中 一男, “脳波指令で動く車いすの開発”, 精密工学会誌, 78巻 8号, p.662-665, 2012年
 - 4) 国土地理院, “衛星測位システムとは”
https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_aboutGNSS.html (参照 2024-10)
 - 5) 国土地理院, “相対測位”
https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_aboutGNSS.html (参照 2024-9)
 - 6) 国土地理院, “GNSS を使用した測量のいろいろ”
https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_aboutGNSS.html/ (参照 2024-9)
 - 7) 建築 IT ワールド, “スマホが基準局に?! ソフトバンクが個人向け RTK-GNSS サービス開始” 2020
<https://ken-it.world/it/2020/08/ales-rtk-gnss-service.html/>
(参照 2024-9)
 - 8) ROS : Home, “Why ROS” <https://www.ros.org/> (参照 2024-10)
 - 9) 国土地理院, “地理院地図”
<https://maps.gsi.go.jp/#18/35.462260/139.331658/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1> (参照 2024-10)