



サドル型歩行デバイスを用いた 移動ロボットの遠隔操作に関する研究

坂口正道¹⁾, 久米俊輔²⁾

- 1) 名古屋工業大学 大学院工学研究科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町, sakaguchi.masamichi@nitech.ac.jp)
 2) 名古屋工業大学 大学院工学研究科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町, s.kume.272@stn.nitech.ac.jp)

概要: 我々は、サドルに座り体重を免荷しながら実際の歩行と同様の動作が可能なサドル型歩行デバイスを開発した。本研究では、サドル型歩行デバイスを用いた歩行動作による移動ロボットの遠隔操作を行った。本発表では、開発したシステムの概要や制御アルゴリズムについて発表する。

キーワード: 遠隔操作, 移動ロボット, サドル型デバイス, ロコモーションインタフェース

1. はじめに

近年, 多くの研究者が HRI (Human-Robot Interaction) の分野におけるユーザビリティを探究している。HRI の領域で, 通常ロボットはキーボードやジョイスティックのような古典的なインタフェースを経由して操作される。しかしながら, これらのインタフェースの中には, スムーズな操作が可能になるまでに時間を要するものもある。

これに対し, より容易な操作を目指すため, 身体動作を操作入力として移動ロボットを遠隔操作する研究が行われている[1]。そこで筆者らは, 身体動作の中でも生得的な歩行動作に着目した。また, 歩行動作を行う際にサドルに座った状態で体重を免荷しながら実際の歩行と同様の動作が可能なサドル型歩行デバイス[2] [3]を使用した。サドル型歩行デバイスの外観を図 1 に示す。幅 800 mm, 長さ 1,200 mm, 高さ 1,150mm で, サドルにはスポーツタイプの自転車用サドルを使用し, 上体支持部は, 一般的なデスクチェアの背もたれを用いている。サドルの高さは, 使用者に合わせて調整可能である。

本論文では, サドル型歩行デバイスの使用による安全で安定した歩行動作を操作入力とした, 移動ロボットの遠隔操作について報告する。



図 1 : サドル型歩行デバイス

2. 実験システム構成

本論文で構成するシステムの全体像は大きく「操作部」と「ロボット部」の二つに分割することができる。

2.1 操作部

操作部は, 操作者によるサドル型歩行デバイス上での歩行動作を操作入力として, 遠隔地に存在するロボット部の移動ロボットに対し操作コマンドを送信する。我々はこの処理を実行可能にするために, VIVE Tracker を用いた身体動作のトラッキングを行い, SteamVR をインストールしたコンピュータを経由して操作者の動作と対応した操作コマンドを移動ロボットへ送信する。

2.2 ロボット部

ロボット部には, 操作部から送信される操作コマンド通りに遠隔操作可能な移動ロボットを用いた。本論文で使用する移動ロボットの必要条件として, VIVE Tracker によってトラッキングした操作者の動作と移動ロボットの挙動を連動可能にすること, 遠隔操作を行う上で移動ロボットの移動を無線で行うことの二点が重要となる。

そこで筆者らは, 移動ロボットのプラットフォームとして, SunFounder 社製の PiCar-V Kit V2.0 for Raspberry Pi を採用した。移動ロボットの外観を図 2 に示す。この移動ロボットは, 幅 135 mm, 長さ 300 mm, 高さ 140 mm で, Raspberry Pi を搭載したプログラマブルロボットであり, プログラミング言語として Python を媒介して操作部から送信される操作コマンドの受信及び操作コマンドに応じて前進や停止といった動作を行う。2 輪駆動でステアリング操作可能な 4 輪ロボットで, 2 自由度の姿勢制御可能な USB カメラを搭載しており, 映像を操作者の HMD にフィードバック可能である。ロボットの位置計測のために, VIVE Tracker をロボット上に装着した。

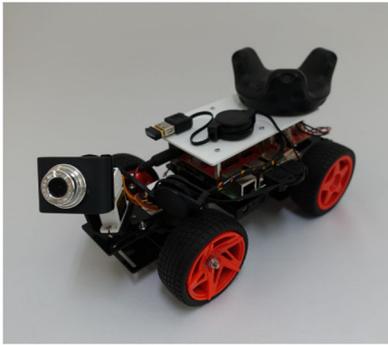


図 2 : SunFounder, PiCar-V Kit V2.0 for Raspberry Pi

3. 制御アルゴリズム

歩行動作による移動ロボットの遠隔操作を行う上で、移動ロボットを操作するためのアルゴリズムは、移動ロボットの挙動を決定づけるため非常に重要である。本論文では移動ロボットを遠隔操作する際に、サドル型歩行デバイスに乗った状態で前進あるいは停止の操作コマンドを移動ロボットに送信する。このとき、操作者によって歩行動作が行われている間は移動ロボットが前進し続け、歩行動作を止めたら移動ロボットも停止するように、移動ロボットの前進と停止を操作者の足の動きから区別する必要がある。

そこで、我々は操作者の片足に VIVE Tracker を取り付け、VIVE Tracker によって検出される足の移動速度から、移動ロボットの前進と停止の区別を行うことを考える。我々は、前進と停止の操作コマンドを区別するにあたり、片足に取り付けた VIVE Tracker の速さ 0.3 m/s を閾値とし、 0.3 m/s を超えると移動ロボットは前進し、そうでなければ停止するように設定した。

次に、通常の歩行時における足の動きから、本論文で導入するアルゴリズムについて考える。普段我々が日常的に経験する歩行は、おおよそ一定の歩行周期で連続的に足を対称的に交互運動することによって行われる。このとき、足が前後に交互運動している以上、足の進行方向の向きが変化することに注意しなければならない。足の進行方向の向きが変化するという事は、足に取り付けた VIVE Tracker が検出する速度の符号も周期的に変化することになる。このことは、操作者が連続的に歩行動作を行っていても、定期的に足の速さが 0 になる、すなわち足の動きが停止する瞬間が存在していることを示している。したがって、移動ロボットは VIVE Tracker の速さが 0.3 m/s を下回る度に一停止してしまい、操作者の連続的な足の動きに対して移動ロボットは断続的に前進してしまう。そこで、我々は移動ロボットも連続的に前進させるため、足に取り付けた VIVE Tracker の速度の検出を二段階で実施することを考える。そのときのアルゴリズムを図 3 に示す。

図 3 から確認することができるように、図 3 中のフローチャート中の右半分の領域で足に取り付けた VIVE Tracker の速度を二段階で検出している。このような処理

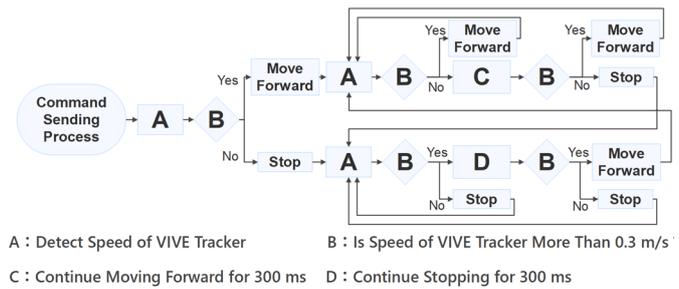


図 3 : 移動ロボットの前進アルゴリズム

を行うことで、仮に歩行中で一度 VIVE Tracker によって検出された速さが 0.3 m/s を下回ったとしても、一定期間後に再検出された速さが 0.3 m/s を超過した場合、周期的な歩行動作の途中段階であると判断し、移動ロボットは前進を続行する。逆に、再検出された速さが移動ロボットの前進中に 0.3 m/s を下回った場合、操作者が完全に歩行動作を中止したと判断し、移動ロボットも停止する。さらに、移動ロボットが前進している状態から停止する場合と同様にして、移動ロボットが停止している状態から前進を行う際にも、このような速さの二重検出を行い、二段階目を最終的な操作コマンドとして送信することで、移動ロボットの前進と停止が区別可能になる。なお、このアルゴリズムにおける一定期間は、実験的に 0.3 秒として設定した。

4. 移動軌跡計測実験

本章では、移動ロボットの移動軌跡の計測について説明する。計測実験は、前章で提案したアルゴリズムの有用性について検証するために実施する。

アルゴリズムの有用性を検証するため、前章で我々が提案したアルゴリズムの適用の有無それぞれの場合において、同一条件で計測した際の移動ロボットの移動軌跡の差異をグラフによって視覚化する。

移動ロボットの移動軌跡を計測するにあたり、移動ロボットにも操作者の足に取り付ける VIVE Tracker とは別にもう一つの VIVE Tracker を搭載し、その VIVE Tracker によって移動ロボットの位置座標の取得を行う。また、移動ロボットの移動と対応させるため、我々は操作者の片足に取り付けた VIVE Tracker によって検出される位置座標および速度の検出も行う。

具体的な計測方法としては、計測に参加する操作者は 20 代男性 1 名で、サドル型歩行デバイス上にて 60BPM のペースで歩行動作を行い、移動ロボットの遠隔操作を行った。

5. 移動軌跡計測結果

本章では、前章で説明した移動ロボットの移動軌跡の計測結果を示す。計測結果から、アルゴリズムが適応されていない場合、適応されている場合の二つのグラフを得ることができた。二つのグラフに共通して、横軸は経過時間、縦軸はサドル型歩行デバイスの前後方向に設定した位置

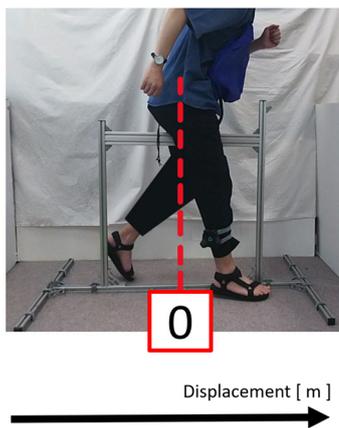


図 4：縦軸および縦軸の原点について

座標軸とし、VIVE Tracker を装着した操作者の片足および移動ロボットの変位を示す。また、第二縦軸は足に取り付けた VIVE Tracker の速度軸とした。なお、サドル型歩行デバイスに乗った状態で足が後ろから前に移動する方向を変位、速度共に正の方向とし、縦主軸の原点はサドル型歩行デバイスの中央部に設定した（図 4 参照）。

最初に、提案するアルゴリズムを適用していない場合の実験結果を図 5 に示す。提案するアルゴリズムを適用しない場合には、周期的な歩行動作の過程において、足の進行方向が入れ替わる瞬間に速度 0 が検出され、その都度停止コマンドが送信され、移動ロボットが停止している。このように、提案するアルゴリズムを適用しない場合では、操作者が連続的に歩行動作を行っていても、移動ロボットが途切れ途切れに前進する断続的な移動となっている。

次にアルゴリズムを適用した場合の実験結果を図 6 に示す。図 5 とは異なり、歩行動作の過程で足の進行方向が前後に変化する瞬間であっても、足の速度を二段階で検出することで、提案するアルゴリズムが機能し、移動ロボットの前進と停止が正しく判断されている。そして、周期的な歩行動作に対して、移動ロボットは途切れ途切れに前進する断続的な移動を行うことなく、連続的な移動を実現している。

提案するアルゴリズムの適用によって、操作者の意図する操作通りに、歩行動作によって移動ロボットの遠隔操作を実現した。

6. おわりに

本研究では、移動ロボットの遠隔操作を行う上で、身体動作の中でも歩行動作に着目した。我々は移動ロボットを歩行動作によって遠隔操作するためのアルゴリズムを考案し、移動ロボットおよび操作者の片足の移動軌跡の計測を行った。その結果、提案したアルゴリズムを適用し、移動ロボットに送信する前進コマンドと停止コマンドの区

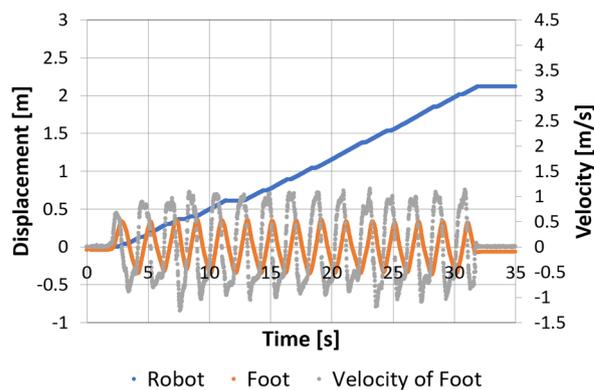


図 5：アルゴリズムを適用しない場合

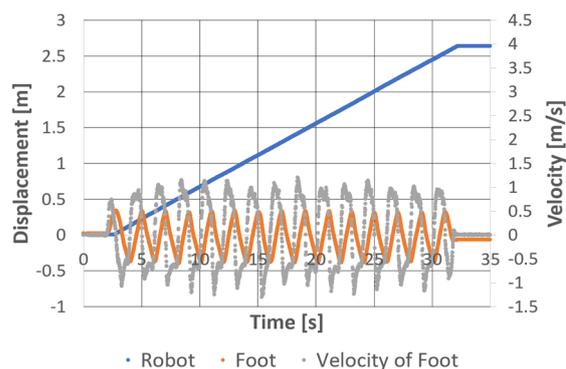


図 6：アルゴリズムを適用した場合

別を明確化することによって、操作者の意図する通りに移動ロボットの遠隔操作を実行することができた。また、これに伴い、我々はサドル型歩行デバイスを用いた身体運動による最も基礎的で直感的な操作を実現することができた。

今後の展望としては、コマンドを送信する際に生じる遅延時間を短縮することを通じて、より高いユーザビリティを提供することや様々な歩行速度に合わせて移動ロボットの速度を変化させることを実現していきたい。

参考文献

- [1] Bandeira, G.M., Carmo, M., Ximenes, B., Kelner, J.: Using Gesture-Based Interfaces to Control Robots. In: M. Kurosu (Ed.): Human-Computer Interaction, Part II, HCII 2015, LNCS, vol. 9170, pp.3-12, 2015.
- [2] 高瀬仁翔, 坂口正道: 全力疾走可能なサドル型歩行インタフェースの提案, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 32C-5, 2018.
- [3] 高瀬仁翔, 坂口正道: 体重免荷に着目したサドル型 VR 運動デバイスの提案, 計測自動制御学会第 20 回システムインテグレーション部門講演会予稿集, 1712-1715, 2019.