



# 歩行感覚呈示可能なトレイグジスタンスシステム

## A Telexistence System Enabling to Display the Walking Sensation

野村 柁貴<sup>1)</sup>, 脇田 航<sup>1)</sup>

Masaki NOMURA and Wataru WAKITA

1) 広島市立大学大学院情報科学研究科 (〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3-4-1, nomura@ics.info.hiroshima-cu.ac.jp)

**概要:** トレイグジスタンスシステムにおける従来研究では、視触覚呈示やモーションプラットフォームによる移動感覚の呈示がよく行われているが、歩行移動可能なものはあまり例がない。一方、VR 空間において歩行移動を実現するためには、歩行感覚を高臨場に呈示しつつ、歩行可能な空間の制約の問題やコストの問題を解消するための手法が必要となる。そこで本研究では、簡易歩行装置を用いて推定した操縦者の歩行動作から 2 輪駆動ロボットを移動操作することで、歩行感覚を呈示可能なトレイグジスタンスシステムを構築した。

**キーワード:** トレイグジスタンス, ユーザインタフェース, 歩行感覚, 歩行装置

### 1. はじめに

近年、人工現実感 (VR) 技術はますます発展しており、VR 技術をロボット技術や高速通信技術と組み合わせることによって、ロボットを介して遠隔地に存在しているかのような体験が可能なトレイグジスタンスシステムの実現が容易になりつつある。このようなトレイグジスタンス技術は、遠隔旅行、遠隔医療、遠隔就労などでの応用が期待されている。

従来のトレイグジスタンスシステムに関する研究では、遠隔ロボットの視力触覚や移動感覚等の呈示に関する研究が盛んに行われている。例えば筆者らのグループでは、ステレオカメラを取り付けたラジコンのショベルカー内の映像を HMD に伝送し、ラジコンに取り付けた慣性センサからモーションプラットフォームを用いてショベルカーの慣性力、振動、傾斜等の移動感覚を呈示し、さらに、ショベルカーのアームをハプティックデバイスと連動させることにより、アームにかかる力を呈示可能なトレイグジスタンスシステムを実装した[1]。一方で、人型ロボットの遠隔操作に関する研究もいくつかなされているが、2 足歩行可能なものは少なく、また、人型に限らず、操縦者の歩行動作によって歩行移動可能なものについてもあまり例がない。

歩行移動可能なトレイグジスタンスシステムとして、Higuchi らは人間の身体のように無人航空機 (UAV) を操作する“Flying Head”を提案している[2]。このシステムでは操縦者の頭部情報をもとに UAV を制御することによって、操縦者の実際に歩く動作やしやがむなどの人間の自

然な身体動作で UAV を自らの身体のように操作することができるようになっていく。また、コントローラで行う操作よりも歩行動作やしやがむなどの身体動作による操作のほうが優れた操作性があることを明らかにしている。

しかしながら、“Flying Head”では、操縦者の実際の歩行動作で UAV を操作することが可能だが、実際に実空間内を歩く必要があるため、移動範囲に限りがある。このような人間の歩行動作による空間の制約を気にせず、歩行運動を無限に行うためには歩行感覚呈示装置が必要となるが、歩行可能な空間の制約の問題やコストの問題を如何に解消するかが大きな課題となる。これらの問題に対し、筆者らのグループでは、ユーザの進行方向に大腿部を支持し、大腿部支持部に備えた荷重センサから体のもたれ具合や足の上がり具合 (歩行動作) を推定し、歩行動作に応じた映像呈示によって歩行感覚を錯覚させる手法を提案している[3]。本手法は構造が簡単なことから、歩行感覚をともなう高臨場なトレイグジスタンスシステムを低コストに実現できることが期待できる。

そこで本研究では、簡易歩行装置を用いて推定した操縦者の歩行動作から 2 輪駆動ロボットを移動操作することにより、歩行感覚を呈示可能なトレイグジスタンスシステムを提案する。

### 2. システム概要

本システムの概要を図 1 に示す。2 輪駆動ロボットには NVIDIA 社の Jetson Nano および Steeolabs 社の ZED Mini を搭載しており、ステレオカメラから取得した画像を LAN

内の遠隔操縦者側に送信し、HMD に呈示する。また、操縦者は歩行装置を用いて前進、旋回、停止する動作を行うことで、ロボット側にこれらの移動制御命令を伝送し、左右両タイヤのモータ制御を行う。これらの操縦者側とロボット間の通信は全て ROS を用いて行っている。

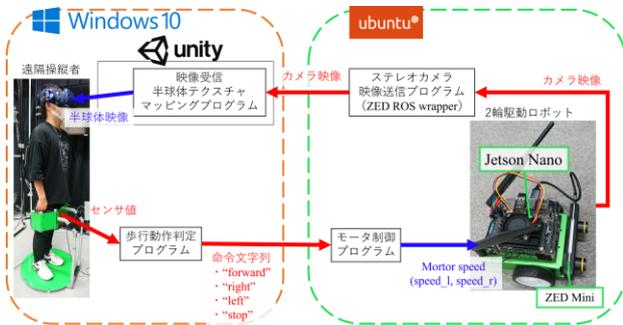
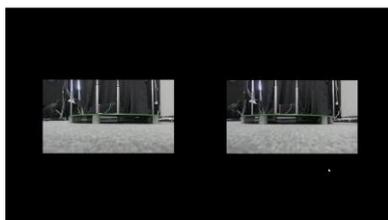


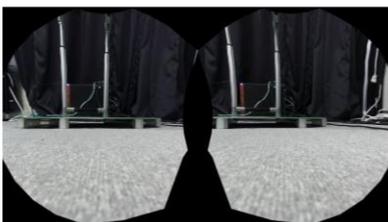
図 1: システム概要

2.1 ステレオカメラの映像呈示

2 輪駆動ロボットに搭載したステレオカメラから取得した映像を操縦者側に HMD で両眼立体視するために、物理エンジン Unity を用いて半球体オブジェクトを左右 2 つ用意し、受信した画像をテクスチャマッピングすることで、HMD に立体映像として表示する。ロボット側においてはステレオ映像を操縦者側に伝送するために Steleolabs 社が ROS 通信のために提供している ZED ROS wrapper を使用する。操縦者 (Unity) 側においてはステレオ映像を受信するために C#による ROS 通信が可能なアセット (ROS#) を使用する。このとき、左右のカメラ映像を同一スレッドで取得し、同一時間に映った左右の映像を取得できるようにする。また、ロボット側の ROS と操縦者側の ROS#との間で ROS 通信を行うため、ロボット側では rosbridge を使用する。



(a) ZED Plugin for Unity による立体視



(b) 半球オブジェクトによる立体視

図 2: ステレオカメラ映像の HMD への呈示

ステレオカメラから得られた映像を Unity 側で表示させる際、Steleolabs 社の ZED Plugin for Unity を利用することができるが、図 2(a)のように HMD の表示領域全体に表示されない仕様となっている。このため、本研究では没入感の向上のために図 2(b) のように HMD の表示領域全体に映像表示が行えるよう独自に実装を行う。具体的には、受信したステレオカメラからの映像を両目立体視用に用意した左右の半球オブジェクトそれぞれにテクスチャマッピングし、HMD の左右のレンズの表示領域限界まで映像が映るよう、仮想カメラとオブジェクトとの位置関係を調整する。

2.2 歩行動作によるロボット操作



図 3: 使用する歩行装置および荷重センサ取付位置

本研究で扱う歩行装置は図 3 のように大腿支持部に加重センサが①から⑧の配置で 8 つ取り付けられており、これらのセンサ値から図 4 の流れで前進と旋回の歩行動作の判定を行う。

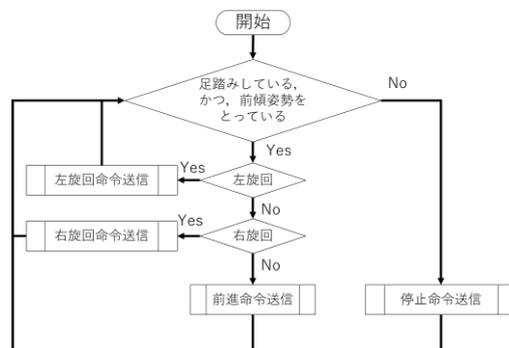


図 4: 歩行動作判定フローチャート

まず、歩行装置上で足踏みが行われており、かつ、前傾姿勢を一定以上とっている場合に前進または旋回の歩行動作が行われると判定し、この判定が得られなかった場合には歩行動作ではなく停止状態と判定される。歩行動作として判定された場合には、その歩行動作が左右どちらの方向への旋回動作かどうかの判定が行われ、判定された結果

に応じてロボット側に ROS 通信によって左もしくは右旋回の命令を送信する。旋回動作の判定に当てはまらなかった場合は、前進動作としてロボット側に前進の命令を送信する。

### 3. 実装結果

歩行装置を用いて推定した操縦者の歩行動作からロボットを移動操作可能なトレイグジスタンスシステムを構築し、停止、前進、右旋回+前進、左旋回の順に2輪駆動ロボットを操作した際の様子を図5に示す。

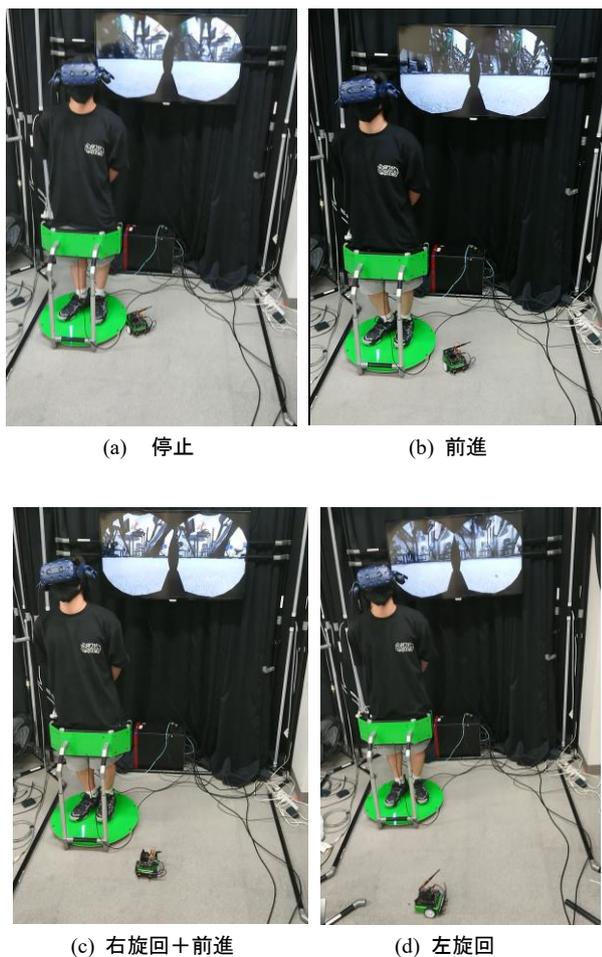


図 5: 実装結果

本研究で実装したトレイグジスタンスシステムでは、図5(b)のように操縦者が歩行装置の大腿部支持部に対して体を預けた状態で前方向に足踏みすると、ロボットも同様に前進し、図5(c)(d)のように操縦者が左右どちらかに体を預けた状態で足踏みするとロボットもその方向に旋回する

ようになっている。また、図5(a)のように操縦者が歩行動作を行わない場合や、操縦者が歩行装置にもたれかかっているだけで歩行動作を伴わない場合には、ロボットも動かないようになっている。

現状、現在のロボットの前進と旋回は一定値で動いているため、ロボットの操作性や臨場感の評価を行い、遠隔操縦者の歩行動作の強弱などに応じた前進速度と旋回速度を決定する必要がある。これについては今後の課題とする。また、現状、操縦者側はHMDを介してロボット側のステレオ映像を立体視することができるが、フレームレートを維持するために672×376の低解像度で映像を送信しているため、高解像度で満足できるフレームレートを得られるようにすることも今後の課題とする。

### 4. むすび

本研究では、簡易歩行装置を用いて定位置で歩行感覚を呈示しながら直感的な歩行動作で2輪駆動ロボットを遠隔操作可能なトレイグジスタンスシステムを構築した。

現状、ロボット側に取り付けられたステレオカメラからの映像を操縦者側に無線伝送し、HMDを介しての立体視が可能、また、歩行装置を用いて前進および旋回動作を行うとロボットも同様の動作を行うことが可能となっている。

今後の課題として、ロボットの操作性や臨場感の評価と、この評価をもとに遠隔操縦者の歩行動作の強弱などに応じた最適な前進速度と旋回速度の決定、また、操縦者側へ呈示する映像の高解像度化、高フレームレート化が挙げられる。

**謝辞** 本研究は、JSPS 科研費 JP19H04158 の助成を受けて実施されたものである。

### 参考文献

- [1] 早川達也, 齊藤充行, 小林康秀, 脇田 航: 高臨場かつ直観的な遠隔作業を可能とするショベルカーのトレイグジスタンスシステム, 日本バーチャルリアリティ学会第23回大会論文集, Vol. 23rd, pp. 11C-1, 2018.
- [2] K. Higuchi, K. Fujii, and J. Rekimoto, "Flying head: A head-synchronization mechanism for flying telepresence," 2013 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT), pp. 28-34, 2013.
- [3] 脇田 航: 簡易没入型全方位 VR 歩行プラットフォームの改良 (第二報), 知覚情報研究会, マルチモーダル応用及び一般, PI-19-16, 2019.