

Virtual-ISU: 座位姿勢での擬似歩行運動による 歩行感覚提示インタフェース (第2報)

石原大貴^{†1} 柴田龍輝^{†1} 北野貴士^{†1} 大島登志一^{†1}

本論文では、両足を動かすことによる歩行運動感を高く維持したまま、座位姿勢での歩行感覚提示インタフェースを提案する。典型的なロコモーションインタフェースは、立位姿勢で可動床や滑走面上で実際に歩行動作をする形式である。このような形式のロコモーションインタフェースでは、実利用上、安全面の配慮が必要であり、設置場所の制約もある。本研究では、椅子型デバイス Virtual-ISU (バーチャルイス) を開発し、座った状態で、楽に安全に、バーチャル空間内の歩行を実現する。Virtual-ISU の座面に圧力センサを配置し、両足大腿部の上下運動と体幹の重心移動を検出することにより、方向や速度などの歩行状態を推定する。足に装置を装着したり、床にセンサ類を配置したりする必要もなく、子供からお年寄りまで、家庭でも安全かつロバストに使用することが可能である。

Virtual-ISU: A Locomotion Interface for Immersive VR Gaming in Seating Position (2)

HIROKI ISHIHARA^{†1} RYUKI SHIBATA^{†1} TAKASHI KITANO^{†1}
TOSHIKAZU OHSHIMA^{†1}

This paper describes a new locomotion interface which is suitable for immersive Virtual Reality (VR) gaming in seating position. Typical locomotion interfaces for VR experience are used in standing position, and a user actually walk on a sliding surface or moving floor. When the typical device is used, there needs consideration of safety and installation space. In our approach, a user can walk around in a virtual space while seating on a chair type device, Virtual-ISU. Virtual-ISU is equipped with pressure sensors on its seat surface. The sensors detect movement of legs and body of the user. Walking direction and speed are estimated from the movement of legs and body. It is not necessary to attach sensors to user's body or floor, and Virtual-ISU can be used for people of wide age at home.

1. はじめに

バーチャルリアリティ (Virtual Reality; VR) におけるロコモーションインタフェースでは、実際の歩行動作により、高い没入感でバーチャル空間を移動するものである。従来研究されているものは、立位姿勢両足で実際に歩く動作を行い、移動量を接地面の逆方向への移動や滑りによって相殺するものである (図 1 (a))。

VR の文脈では、感覚モダリティの整合性の観点から、このような実際の歩行動作を自然に行えることを重視している。一方、Oculus Rift などゲームなどのホビーユースを目的とした廉価な VR デバイスやインタフェースデバイスが市場で注目を集めており、家庭用ゲーム機で身体動作を自然なインタフェースとして利用する流れと共に、VR 体験の民生応用への普及が進みつつある。

本研究では、そのような背景において、HMD を装着した没入型の VR 体験を PC ゲームに導入することを前提に、これに適したロコモーションインタフェースを実現することを目的とする。両足を動かすことによる歩行運動感を高

く維持したまま、座位姿勢での歩行感覚提示インタフェース Virtual-ISU (バーチャルイス) を提案する (図 1 (b))。

本論文では、立位で実際に歩行動作をする形式のロコモーションインタフェースでは、実利用の上で、安全面の配慮と設置場所の制約がある。例えば、家庭用デバイスとしての普及を考えると難がある。本手法では、通常の椅子の座面及び背面に圧力センサなどを配置し、両足大腿部の上下運動と体幹の重心移動を検出することにより、自然な歩行動作を入力することを可能とする。



(a) 立位型

(b) 座位型

図 1 ロコモーションインタフェースの体験形式

Figure 1 Styles of locomotion interface usage

^{†1} 立命館大学 映像学部
College of Image Arts and Sciences, Ritsumeikan University

Virtual-ISU では、足や身体に装置を装着したり、床にセンサ類を配置したりする必要がない。また、座った楽な姿勢で体験でき、可動する機構がなく、子供からお年寄りまで、家庭でも安全に気軽に使用することが可能である。

2. 座位型ロコモーションインタフェース

ゲームという応用の観点では、没入感の高い体験を重視することを基盤としつつも、VR における立位型の従来方式をそのまま取り入れることが最適ではないケースも想定される。すなわち、家庭でも遊べるようなゲームに適用するためには、以下の3点が課題となると考えられる。

1) 装置類の設置・運用スペースの問題：本格的な装置では機構が複雑であったり、大掛かりであったりするために、装置と安全対策を含めて設置・運用のためのスペースが必要で、本研究が対象とする家庭などでの利用には適さない

2) HMD との併用における安全性の問題：KINECT などの身体動作入力装置を使い、足踏み動作で歩行を行うインタフェースでは機材設置の問題はないが、視野を覆う没入型 HMD と併用する観点では、立位での使用には転倒や周囲との接触などの安全性の課題がある。

3) 身体的疲労の問題：PC ゲームや家庭用ゲーム機では、1 時間以上の連続プレイが行われる状況も珍しくない。身体動作による疲労感も含めてリアリティの要素として考慮する元来の VR の文脈とは異なり、ゲーム用のインタフェースとしては、実際の運動よりも負荷の少ない動作による入力が望ましいと考えられる。

これらを鑑み、本研究では座位姿勢でのロコモーションインタフェースを提案するにいたった。試作したロコモーションインタフェース Virtual-ISU では、椅子の座面に圧力センサを備え、重心移動と大腿部の上下運動を検出し、バーチャル空間内での歩行動作を実現する。

3. 関連研究

自然な歩行動作を実現するためには、一般的に複雑で大掛かりな装置機構となる[1][2]。簡易な機構の事例として、一方向のトレッドミルにしても、一般には幅 1m、奥行き 2m 程度のスペースは必要である。代表的な研究事例としては、岩田らの Virtual Perambulator [3]や GaitMaster [4]、全方向に歩行平面が無限に循環するトーラストレッドミル [5] などがある。Virtual Perambulator およびその基本機構に基づいた民生用市販製品 Cyberith Virtualizer [6]や Virtuix Omni [7]では、足裏と歩行面の滑り摩擦を利用し、複雑な機構を排しているが、それでも 1.5m 四方のスペースは必要そうであるし、安全のためのハーネスなどを装着する。米 Sarcos 社の一輪車型の UniPORT [2]は、サドルに体重をあずけるといふ観点からは座位型に近く、HMD で視界を遮断されている状況でも安全性が担保される。

雨宮らが提案した足踏み式空間移動インタフェース (WARP)[8]では、股関節の角度を検出して足踏み運動から歩行速度の推定を行っている。これは本研究と同様の趣旨で大掛かりな機構なく、簡便に歩行に近い動作で移動できる方式を目指すものである。異なる点としては、WARP では従来の VR 的文脈での動作のリアリティを重視している一方で、本研究では自然な歩行動作ができることは重視しつつも、前述のような観点から、PC ゲームや家庭用ゲームなどでの利用に快適な方式を目指している点である。

4. 実験システム

4.1 システム構成と試作デバイス

Virtual-ISU は、図 2 に示すように、PC、ジャイロセンサ、HMD、マイクロコンピュータ Arduino、圧力センサから構成される。いすのクッション部分には圧力センサが配置される。ジャイロセンサは、後述のようにビューイング変換だけでなく旋回動作の算出にも利用する。

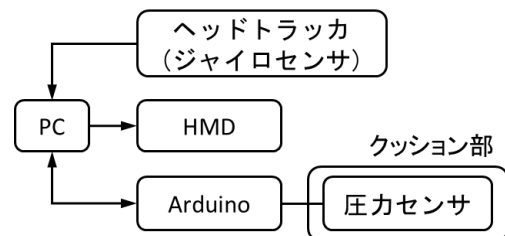
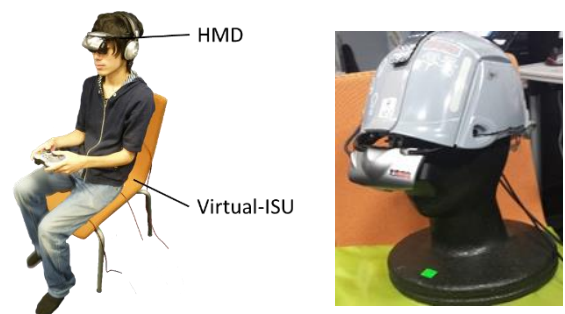


図 2 システム構成図

Figure 2 System Configuration



(a) 利用イメージ

(b) HMD

図 3 利用イメージと HMD

Figure 3 Appearance of the system

Virtual-ISU では、圧力センサを備えたクッション型のデバイスを椅子の座面に置いて使用する。図 3 つま先を床につけた体勢で脚を上下するときの圧力センサの値を分析し、ステップ運動 (足踏み運動) と左右重心移動を検出する。これらの状態に基づいて、ユーザの歩行動作を推定する。図 4 にデバイスの外観と内部の圧力センサの様子を示す。座面大腿部にそれぞれ左右 2 つずつの圧力センサを備える。圧力センサは低反発性のスポンジに挟んで設置しており、センサ本体に圧力が分散するように配慮している。



(a) デバイス外観 (b) 内部の圧力センサ

図 4 センサクッション
 Figure 4 Cushion device

4.2 歩行動作推定のアルゴリズム

図 5 に示すように、上半身の荷重が強くなる臀部直下を避けて、両足の大腿部の下に 2 個ずつ圧力センサを配置している。これらの 4 つの圧力センサの値から歩行状態を推定するアルゴリズムの基本的処理は下記の通りである。

- 1) 左右の大腿部膝側の圧力センサ(Front センサ)で検出した両大腿部の上下運動から、歩行速度・歩幅に変換する。
- 2) 大腿部中央側の圧力センサ(Rear センサ)により左右の重心移動を検出し、左右旋回動作と解釈する。
- 3) 左右旋回動作については、頭部に装着したジャイロセンサによる頭の向きも利用する。

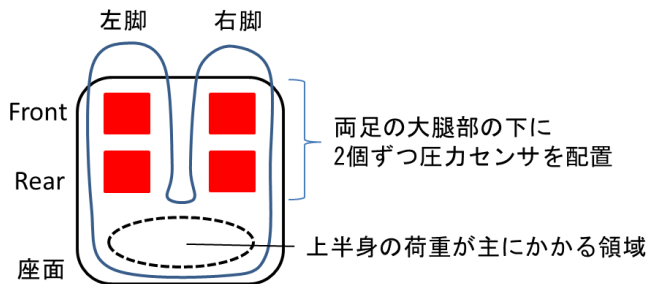


図 5 圧力センサのレイアウト
 Figure 5 Layout of pressure sensors

図 6 に運動状態と各圧力センサの変化との対応を示す。ユーザの動作によるセンサ値の定性的な変動を見ると、足の上下動に伴って、ひざ側の Front センサの値の変化は Rear センサよりも大きい。また、身体を左右に傾けたときには

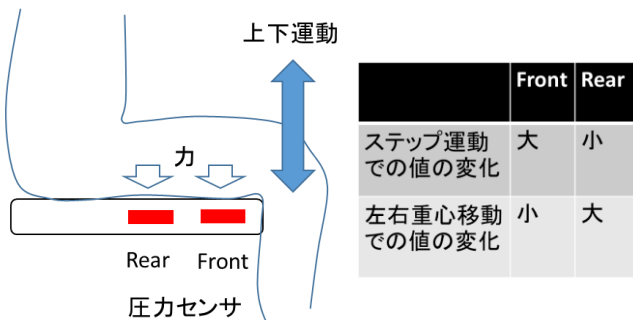


図 6 運動状態と圧力センサの値変化
 Figure 6 Leg movement and sensor output

Front センサよりも Rear センサのほうが値の変化が大きいが観測される。このような特性に基づき実装したアルゴリズムでの処理の流れを図 7 に示す。

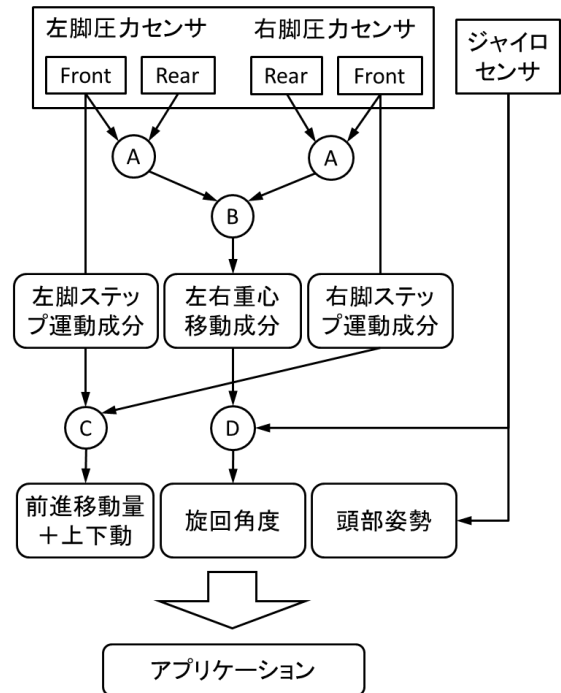


図 7 処理の流れ
 Figure 7 Flowchart

図 7 では A, B, C, D の 4 段階の処理を行う。

処理 A: Front センサ値を使って、Rear センサ値に含まれるステップ運動成分を除去する。

処理 B: 左右リアセンサ値から左右の重心バランスを算出する。

処理 C: 左右脚ステップ運動成分を用いて前進移動量と視点の上下動を求める。

処理 D: 重心バランスと頭部の方位角を用いて旋回角度を求める。

図 8 に圧力センサから求めた足の上下動の変化を示す。

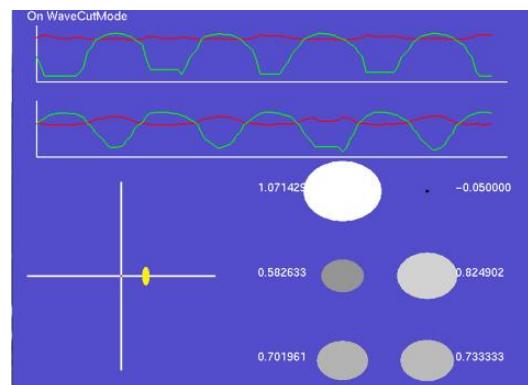


図 8 歩行運動状態のグラフ
 Figure 8 Monitor graph of

進む方向を変える旋回操作の推定処理について説明する。現実世界の歩行動作では、歩きながら周囲を見回すことが自然に行われる。すなわち、歩行動作と頭を動かして周りを見る動作とは独立した行動である。最初の試作システムでは、これを適用して、頭部動作とは分離して足と体幹の動作のみから歩行運動を推定することとし、左右に体を傾けて重心移動により向きを変える仕様とした。エンタテインメントコンピューティング・シンポジウム 2015 でのデモ展示実験などで明らかになったのは、想定した重心移動による旋回移動ではなく、移動したい方向に視線を向ける傾向が強いということであった。

そのための改良として、頭の向きも方向転換の要素に組み込むこととした。実際の運動と異なる課題は、頭部運動が歩きながら見回しているのか旋回の意図であるのかの識別である。今回採用した方式は、定性的には図 9 に示すように、頭部の方位角の変位が小さいときには、見直し動作を優先して旋回角速度を小さくし、頭部の方位角の変位が大きときには、旋回動作を優先して旋回角速度を大きくするとした。現在、正弦曲線で実装しているが、実験を重ねて数式とパラメータの調整を行う。

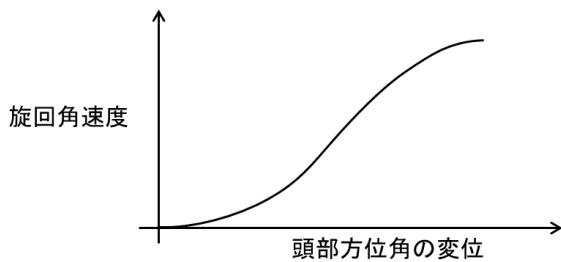


図 9 頭部の回転運動と旋回角速度
 Figure 9 Head rotation and angler speed of turn

4.3 実験用バーチャルテストコース

Virtual-ISU の機能を評価するために、下記のような観点から実験用バーチャルテストコースを制作した。様々な道路の形状を体系的に取り込んでいる自動車教習所のコースを参考として、図 10 のような多様な要素を盛り込んだコースとした。このコースには、周回・直線（走る）、クランク（急な方向転換）、8 の字（大曲率カーブの旋回）、S 字（左右の蛇行）、車庫入れ（後退）、幅寄せなどが含まれている。

また、コースの設計にあたっては、一般的な建物の廊下程度の幅を想定することとし、建築基準法施行令第 119 条「廊下の幅」に基づき、病院・共同住居の廊下の幅を参考とした。両側に居室がある場合の廊下の幅である 1.6m と、それ以外の廊下の幅である 1.2m をそれぞれ周回路とそれ以外の道幅として採用している。

体験内容としては、このコース上に順路を示すフラグをチェックポイントとして配置し、それらを取得しながらゴ

ールまで向かうものとする。主観視点映像を図 11 に示す。エンタテインメントコンピューティング・シンポジウム 2015 では、この実験用コンテンツを用いてユーザからのフィードバックを得て、前述のような方向転換に関するアルゴリズムの改善を行った。インタラクション 2016 においては、パラメータやキャリブレーションの改良を更に行ったうえで、Unity によるゲームコンテンツで改めて評価実験を行う予定である。

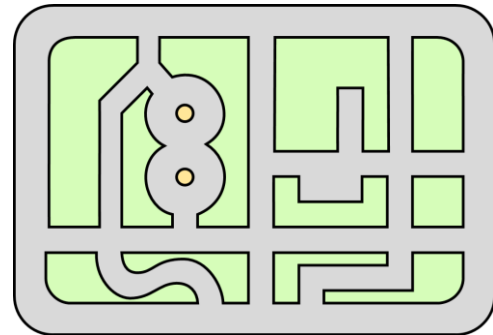


図 10 バーチャル歩行テストコース
 Figure 10 Virtual Walking Test Course

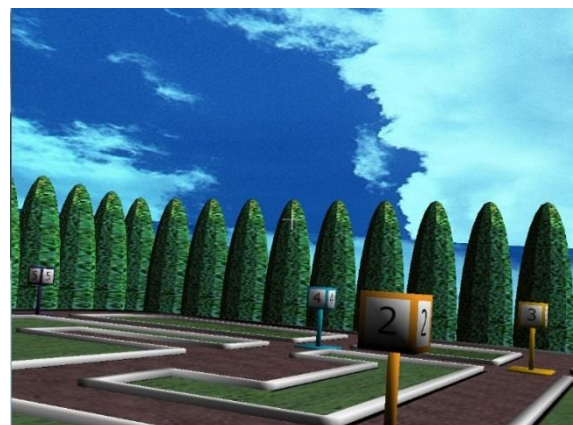


図 11 主観視点体験映像
 Figure 11 First-Person View

5. まとめと今後の予定

実際とは異なる体勢や運動でバーチャルな運動の効果を得ることは実験を重ねることが重要である。Virtual-ISU の実験と改良を重ねるとともに、エンターテインメント性のある VR システムの事例開発を行い、VRゲーミングにおける座位型ロコモーションインタフェースの有効性について検討を行う。

歩いて移動することの必然性を活かした事例案としては、制限時間内に閉じ込められている建物から抜け出すことをクリア条件とする脱出系ゲームが考えられる。タイムリミットによる焦燥感の中でも意識せずに移動操作ができるロコモーションインタフェースであることが問われ、その有効性が試されるものと期待される。これ以外にも多くのゲ

ームコンテンツと組み合わせられる可能性があり、試行を重ねて生きたい。

Virtual-ISU は、椅子に座って少しの大腿部の上げ下げができれば歩行操作が可能である。そのため、楽に安全に長時間の体験を実現する所期の目的以外にも、高齢やけがなどで歩行運動に支障のある人にとって、バーチャルな歩行体験の提供や、リハビリにも有効である可能性があると考えられる (図 12)。デバイスの完成度を上げることと併せて、発展的な応用を考えることとしたい。



図 12 車椅子での利用イメージ
Figure 12 A wheelchair with Virtual-ISU

謝辞 本プロジェクトでの開発および展示実験に協力いただいた立命館大学映像学部の大島研究室各位、特に本プロジェクトのサポートメンバー(櫻井清花氏、水野脩平氏、関根健太氏)ならびに望月茂徳准教授に謝意を表す。本研究の一部は、科学研究費基盤研究 (S)24220004. の補助により行われた。

参考文献

- 1) 野間春生: ロコモーションとバーチャルリアリティ, 計測と制御, Vol. 43, No. 2, pp. 133 - 138 (2004)
- 2) Harrison P. Crowell III, Jim A. Faughn, Phuong K. Tran, Patrick W. Wiley: Improvements in the omni-directional treadmill: summary report and recommendations for future development, Army Research Laboratory, ARL-TR-3958 (2006)
- 3) Hiroo Iwata: VIRTUAL PERAMBULATOR: A novel interface device for locomotion in virtual environment, Proc. of VRAIS'96, pp. 60 - 65 (1996)
- 4) 岩田洋夫: 全方向無限平面を用いたロコモーションインタフェース, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 5, No. 2, pp. 853 - 862 (2000)
- 5) 岩田洋夫, 中泉文孝: 凹凸面を呈示するロコモーションインタフェース GaitMaster, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 5, No. 2, pp. 863 - 866 (2000)
- 6) Cyberith 社製品紹介 URL, <http://cyberith.com/product/> (2015 年 7 月 29 日閲覧)
- 7) Virtuix 社 URL, <http://www.virtuix.com/> (2015 年 7 月 29 日閲覧)
- 8) 雨宮慎之介, 八木寿浩, 塩崎佐和子, 藤田欣也, 渡部富士夫: 足踏式空間移動インタフェース (WARP) の開発と評価, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 6, No. 3, pp. 221 - 228 (2001)