



直線歩行への誘導を用いたロコモーションインタフェース

西 綾花¹⁾, 星野 圭祐¹⁾, 梶本 裕之¹⁾

1) 電気通信大学 情報理工学研究所 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1)

概要 : VR 環境下において無限歩行空間を実現する手法は数多く提案されているが金銭的, 空間的コストの問題は解決されていない. 我々はこの問題の解決手法として VR 空間でのユーザの移動を HMD 内での視界の回転を用いて直線運動に導く方法を用いて, 1 次元運動をするトレッドミル上で 2 次元平面上の歩行を可能とするロコモーションインタフェースを提案してきた. 本稿では, 牽引によって直線運動への誘導を加える触覚的誘導について検討を行った.

キーワード : トレッドミル, 無限歩行, バーチャルリアリティ, ロコモーションインタフェース

1. はじめに

VR 空間中の歩行移動をよりリアルに体感させる方法について数多くの研究が行われている. 実際の歩行を用いる手法としては, 2 次元トレッドミルを用いたものや, 視覚による誘導を用いた *Redirected Walking* などが挙げられる. しかし, 前者は高コストであり, 後者は広いスペースが必要になるという問題点が存在する.

これらの問題に対して我々は, 比較的安価な直線運動の 1 次元トレッドミルと, HMD による直線への歩行誘導とを組み合わせたロコモーションインタフェースの構築と検証を行ってきた.

本稿ではさらに安定した直線運動への誘導を行うために, 身体への牽引力を用いる手法を提案, 実装する.

2. 関連研究

VR 空間での歩行移動方法をよりリアルに体感させる方法について, 数多くの研究が行われている. 雨宮ら[1]は, 足踏みを利用した VR 空間の移動手法を提案している. この方法はコストが低く現実的な解であるが歩行ではなく足踏みであるため, 脚にかかる力や足裏の感覚などが実際に脚を踏み出す感覚とは異なると考えられる. 同一の場所にとどまりながら実際にユーザが脚を踏み出すものとして, 米 *Virtuix* 社による *Virtuix Omni* [2]が挙げられる. これはすり鉢状の台の上で足を滑らせることにより VR 空間の移動を行う歩行型 VR デバイスである. しかし足を滑らせる感覚と歩行の感覚は異なるため, 新たに技能

を獲得する必要があると考えられる.

VR 空間での歩行感覚を提示するには, 実際に歩行することが最も効果的であるといえる. 実際に歩行を用いて VR 空間の移動を可能にしている研究として, 2 次元トレッドミルを用いた手法が提案されている[3][4]. これらは理想的な形ではあるが, 2 次元トレッドミルという特殊な装置が必要となるため, 多大なコストがかかり一般に普及させるのは現在のところ困難であると考えられる.

大掛かりな装置を用いずに低コストで VR 空間の歩行を可能にするには, VR 空間に合わせて現実空間を実際に歩行するのが最も効果的だと考えられる. しかし VR 空間に合わせて現実空間を実際に歩行するには, VR 空間と同等の広さの空間が現実世界に必要となってしまう. VR 空間の広い世界を現実の狭い空間で再現する研究として *Redirected Walking*[5]が挙げられる. これは視知覚の優位性を利用して, HMD を被った被験者の視界を回転やスケールの変更をすることで歩行経路を少しずつ変更し, 歩行の誘導を行うものである. しかし, 無限の直線歩行を実現するために少なくとも 22m の半径というある程度広い範囲が必要になってしまう[6]. この問題を解決する手法として, *Redirected Walking* と共に, 曲がった壁による触覚を利用してユーザにより大きく曲がった経路を直線と誤認させる手法が提案されている[7]. ただし現在の所, 壁をつたって歩くというコンテンツ上の制約を課すことになる.

我々は前報[8]において, *Redirected Walking* に用いられる視知覚の優位性を利用して, 被験者の歩行を直線に誘導す

る手法を提案した。この手法と1次元トレッドミル（一般的なトレッドミル）とを組み合わせることで、1次元トレッドミルのみで主観的には2次元平面上の歩行が可能となると考えられる。実験の結果、被験者の歩行を直線状に誘導できること、またその際のアルゴリズムとしてPD制御が望ましいことを見出した。しかしトレッドミル上をHMD装着状態で歩くという安全上の懸念と、比較的幅広のトレッドミルが必要になるという課題があった。

3. 提案手法

今回我々は、実際の1次元トレッドミルを用いるとともに、機械的牽引によって直線方向への誘導の確実性を高め、以って安全性も高める手法の検討を行った。

3.1 ユーザの姿勢検出精度の向上

前報では、モーションキャプチャ装置としてMicrosoft製Kinect v2を用い、ユーザの頭部位置を取得した。ユーザが直線上からずれた場合（トレッドミルから離れた場合）、HMDで提示されているVR空間を視覚的に回転させることで身体の回転運動を誘発させ、結果としてユーザの位置を元の直線上に保った。しかし頭部位置のみでは体幹の向き、すなわち進行方向がわからないという問題があった。この問題点の解決策として、肩と腰の角度に以下で記載するフィルタを適用し進行方向を検出した。

肩と腰の角度を求める際の大きな問題として、歩行時に生じる身体の回転運動の影響を受けることが挙げられる。この身体の回転運動は30度程度と非常に大きく、進行方向を推定するうえで無視できないノイズとなる。しかしこのノイズは歩行周期と同程度の低い周波数成分を持つため、例えばローパスフィルタによって除去しようとするとうと5秒程度の長い時間幅が必要となり、致命的な時間遅延を生じる。

この問題を解決するため、次のアイデアに基づいた動的なフィルタリングを行った。ここで問題となっている歩行時の身体回転運動は歩行周期と一致した正弦波状の運動となる。このため歩行周期と同じ時間幅で平均を取れば、身体回転運動の成分は正負がキャンセルされるので取り除くことが出来る。つまり、動的に歩行周期を推定することができれば、簡易な平均フィルタによってノイズを除去することが可能となる。

歩行周期の推定は次のように行った。まず肩腰の角度デ

ータから高周波ノイズを除くための平滑化処理を行った後、微分を行い速度を求める。次に速度に対して1ステップごとの符号反転を観察することでゼロクロス点を見つける。このゼロクロス点の発生頻度が歩行周期の2倍に相当する。発生頻度を平滑化することで歩行周期を求め、歩行周期分のデータを平均した。これにより歩行動作に起因する身体の回転運動のノイズを除去し、進行方向を検出した。

得られた進行方向に対して、進行方向の角度が一定値以上ある場合、提示映像を回転させることにより、体が直線上から離れることを制限する処理を加えた。なお前報で行った中心位置からのずれに対する誘導自体は行っている。

3.2 機械的牽引力の提示

視覚的誘導に加えてユーザの位置をトレッドミル中央に誘導する手法として、機械的牽引力を用いる手法を提案する。プロトタイプの様子を図1に、実際の実験の様子を図2に示す。トレッドミルの外部の三か所にボールを立て、ユーザの腰部との間にゴムひもを張る。これによってユーザは、トレッドミルの中心に前方向に立つ時には外力を感じる事無く、離れた位置に移動するにつれて並進力を、また前方以外を向いた時に回転力を受けることになる。この機械的牽引により、ユーザは初期位置・姿勢に戻る強制力を受ける。ただし単純に腰部を固定する場合と比べある程度の移動は可能となっている。

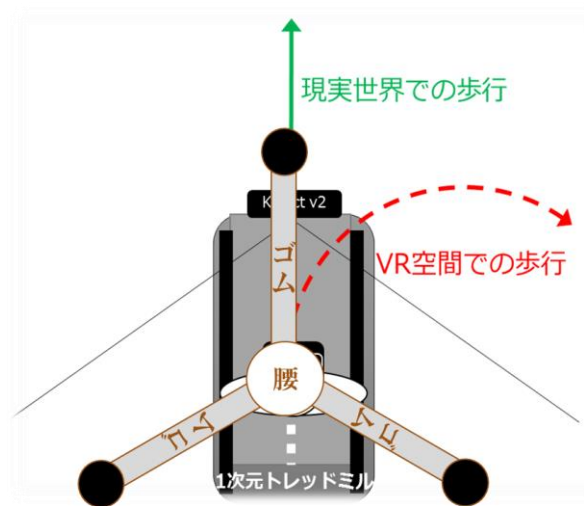


図1: プロトタイプの構図



図 2：実際の実験の様子

4. プロトタイプ

幅 50 cm のトレッドミル, Kinectv2, Oculus 社 Oculus Rift を用いてデバイスを作成(図 3), 実際に歩行を行った. その結果 1 次元トレッドミル上において, 図 4 に示すような VR 空間の移動に対してトレッドミル上の位置としてはほぼ静止した状態で歩行を行うことができた. なお x 軸はトレッドミルの横方向, y 軸はそれと直交する方向を示している.



図 3：デバイス構成

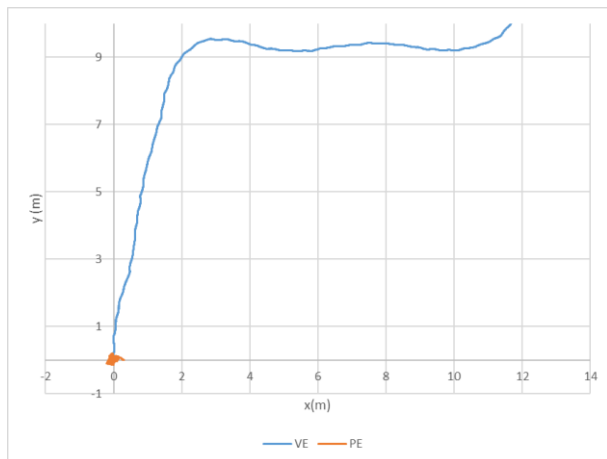


図 4：現実の歩行軌跡と VR 空間の移動

機械的牽引力の提示によりユーザの体が自然にトレッドミル上の中心付近に保たれるため, 機械的牽引力のない場合に比べより安心して歩行を行うことができた.

5. まとめ

本稿ではユーザの位置をトレッドミル中央に誘導する手法として視覚的誘導に加え, 機械的牽引力を用いる手法を提案し, 1 次元トレッドミルを用いたロコモーションインタフェースの検討を行った.

今回の検討ではトレッドミル側の速度を一定値に固定していたため, トレッドミル上でのユーザの前後の動きが確認された. 今後はユーザのトレッドミル上での位置および速度に応じたトレッドミルの速度の制御を行うとともに, **Redirected Walking** で利用されているように HMD で出力される映像中の移動距離のスケール調整を行うことでユーザの歩行速度自体を制御する手法も組み入れることで安全性をより高めたい. また今回のプロトタイプは弱いゴムひもを用いており, ユーザの転倒を完全に防止する強さは持たないため, ばねや牽引力をモータによって制御できる装置を使う等の対策が必要だと考えられる.

さらに今後は実験によって本装置の有効性を, 違和感や, 没入感などの主観量によって確認していく.

謝辞 本研究は JST-ACCEL 「身体性メディア」プロジェクトの一環として行われた.

参考文献

- [1] 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 の開発と評価”. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.6, No.3, pp.221-228, 2001.
- [2] Virtuix Omni, <http://www.virtuix.com/>
- [3] Hiroo Iwata, “The Torus Treadmill: Realizing Locomotion in VEs.” Computer Graphics and Applications, IEEE, Volume:19, no.6, pages30-35, 1999
- [4] Jimmy Chim, Rynson W. H. Lau, Hong Va Leong, and Antonio Si, Member, IEEE, “CyberWalk: A Web-Based Distributed Virtual Walkthrough Environment” IEEE

Trans. On Multimedia, Vol. 5, no.6, page 504, 2003

- [5] Sharif Razzaque, Zachariah Kohn, Mary C. “Redirected Walking.” In Proceeding of Eurographics 2001.
- [6] Frank Steinicke, Gerd Bruder, Jason Jerald, Harald Frenz and Markus Lappe. “Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques” IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 2010, vol.16, no.1, pp. 17–27.
- [7] Yuki Ban, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose. “Curvature manipulation techniques in redirection using haptic cues.” 2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI), page 105 - 108
- [8] 西 綾花, 星野 圭祐, 梶本 裕之, “頭部搭載型ディスプレイを用いた直線歩行への誘導方法の検証” 情報処理学会 インタラクシオン 2016