

身体性基盤に基づく没入型VRシステムを用いた 幻肢痛リハビリシステムの構想

稲邑哲也 (NII/総研大) 大内田 裕 (東北大) 出江 紳一 (東北大)
浅間 一 (東大) 太田 順 (東大)

1. はじめに

人間の適切な運動の実現のためには、感覚を統合し運動への仲立ちとなる「脳内の身体表現」が存在し、それが我々の意図により適切に駆動されることが必要である。通常、我々はこの「脳内の身体表現」を意識することはないが、脳疾患によりこれが損なわれると、身体の動かし方がわからない、そもそも身体が自分のものであることがわからない、等の症状が生じる。また事故で四肢を突然失うと、あるはずの無い四肢の感覚が残像のように感じられ、幻肢痛という激痛を引き起こすことが知られている。幻肢痛の原因は詳細に解明されていないが、経験則的には鏡に正常な四肢を映し、それを患者が観測し、あたかも四肢が正常であるかのような映像を知覚することが効果的であると知られている。本稿では、このような幻肢痛を引き起こす脳内の身体表現（以下この働きを身体性基盤と呼ぶ）の計算モデルを社会的知能発生シミュレータSIGVerse[1]上にインプリメントし、幻肢痛患者の身体表現の状態を推定しながら、痛みを和らげるのに最適な四肢の映像を提示するリハビリテーションシステムの構想について述べる。

2. 没入型VRシステムのアバターを用いたリハビリシステムの提案

2.1 従来システムの現状とその比較

従来までの幻肢痛患者の治療法としては鏡療法と呼ばれる手法や、あらかじめ仮想空間上で健全な四肢を動かすアバターの映像を作成しておき、その映像に合わせて自身の幻肢を制御する手法などが知られていた。前者の鏡療法では、右手と左手は常に左右対称の動きとなるのは自明であり、左右で異なる運動を意図した状況には対応できない。また後者の手法では、自ら意図した自由な運動を対象とすることはできない。身体性基盤のコンセプトでは、自身の運動の意図が正しく自身の脳内身体表現に影響を及ぼすことができない点が痛みの根源であると考え、自らの意図に基づく運動をベースにした治療法の確立は重要である。

このために、仮想現実システムを活用したリハビリシステムもいくつか提案されてきている[2][3]。しかし、データグローブによる手先運動のみへのシステム設計になっている点や、左右の手を協調させて作業を行うような運動への適用は困難であるなどの点が存在した。そこで、本稿で目指すリハビリシステムの方向性として、(1) 足への鏡療法にも適用可能とすること、(2) 左右の手や左右の足の協調作業を実現可能とすることを目指すこととする。

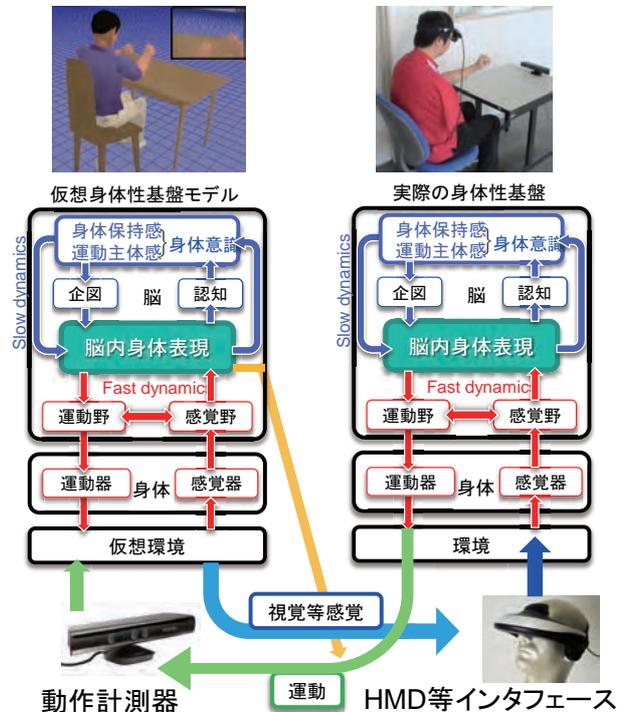


図1 本提案システムの全体構成図

2.2 身体性基盤の理解を目指したシステム構成

本構想は単にVR技術を用いた鏡療法を行うためのだけのシステム構築ではなく、身体性基盤の計算モデルとの運動を見据えたデザインになっている点が特徴点の一つである。本構想のシステム構成図を図1に示す。将来的な機能になるが、実際の被験者の脳内身体表現の状態を推定し、その状態を仮想空間上のアバターモデルの上で再現する。四肢を失ったことにより現実との乖離が生じてしまった脳内身体表現を修正するために最適な視覚等の感覚をリアルタイムに計算し、HMDに投影できるようにする。このような没入型のVRインタフェースを実現するため、稲邑らが開発したSIGVerse[1]を用いている。

3. 予備実験と評価

構築したリハビリ支援システムの基本性能の確認を行った。四肢の一部を失った患者を想定し、被験者に片手や片足を隠した状態を取ってもらい、仮想環境の中で物体を両手・両足で保持する動作を行ってもらった。その際の仮想環境の映像、および実際の被験者の様子を図2、図3に示す。

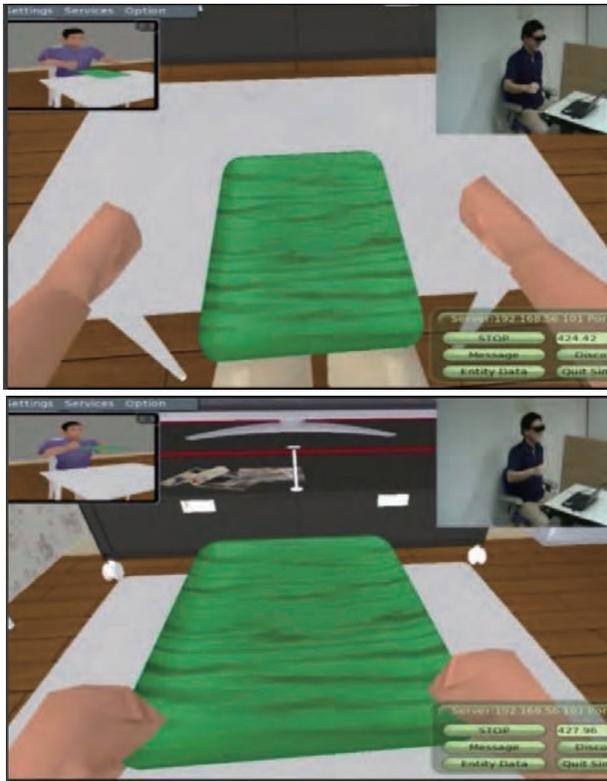


図2 片手を失っている状況を想定した物体把持実験．被験者は左手を隠した状態で右手のみでお盆を持ち上げる動作を行う．

図が示すように，被験者の動きはほぼそのまま仮想空間上のアバターに反映され，適切な仮想の四肢の映像が生成されていることが分かる．仮想映像の生成に用いた計算機は Core i7-2620M 2.7[GHz] のノートパソコンで，約 10[fps] で仮想映像を更新することが可能であった．難点としては，失われている四肢を無視する形で姿勢認識を実行するのが Kinect では困難である点があった．そのため，運動を行うことのできる範囲や，取り得る姿勢にかなり大きい制約が生じてしまうことが判明した．今後は Kinect のような簡易デバイスだけでなく，マーカーを積極的に用いたり，モーションキャプチャシステムを用いることも検討するべきであることが分かった．

4. おわりに

本稿では，幻肢痛のための新しいリハビリシステムとして，仮想空間上のアバターの視点に立って自らの四肢像を観察し，ユーザ自身の意図に基づく自由な動作を用いた鏡療法を実現可能とするシステム構成について述べた．従来システムとの差異としては，手だけではなく体幹や下半身を含む全身のリハビリに適用できるため，たとえば姿勢制御や歩行など，より複合的な対象に適用可能である点がある．また二点目として，現存する四肢と失った四肢に対応する仮想的な四肢を用いて，いわゆる「両手で持つ」というような動作を実現可能な点がある．特に後者は日常生活で頻出する自然な動作であり，かつ，実際に持っているという感



図3 片足を失っている状況を想定した物体把持実験．被験者は右足を隠した状態で左足のみでサッカーボールを挟んで持ち上げる動作を行う．

覚によるフィードバックがかりやすいため，効果的な治療が期待できる．今後は実証実験を通じて本システムの性能の評価を行って行く予定である．

参考文献

- [1] Tetsunari Inamura. Simulator platform that enables social interaction simulation –SIGVerse: SocioIntelligence simulator–. In *IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, pp. 212–217, 2010.
- [2] Kenji Sato et al. Nonimmersive virtual reality mirror visual feedback therapy and its application for the treatment of complex regional pain syndrome: An open-label pilot study. *Pain Medicine*, Vol. 11, pp. 622–629, 2010.
- [3] Craig D. Murray, Stephen Pettifer, Toby Howard, Emma Patchick, Fabrice Caillette, and Joanne Murray. *Virtual Solutions to Phantom Problems: Using Immersive Virtual Reality to Treat Phantom Limb Pain*, chapter 12, pp. 175–196. Springer, 2010.