HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	3次元立体視とクラウドサービスを活用したVirtual Reality遠隔リハビリテーションシステムの開発［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	加藤, 士雄
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第12363号
Issue Date	2016-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/62458
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Norio_Kato_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（情報科学）　　氏名　加藤 士雄

学　位　論　文　題　名

3 次元立体視とクラウドサービスを活用した Virtual Reality 遠隔リハビリテーションシステムの開発

（Development of a new telerehabilitation system based on Virtual Reality using 3D binocular stereopsis and cloud services）

高齢化率の上昇が続く日本では, 在宅リハビリテーションの充実化が必要不可欠である. しかし, 在宅リハビリテーション施設数に地域差があり, 全地域をカバーできる状況にはない. こういった現状に対し, 通信インフラが整っている日本では, 遠隔リハビリテーションが在宅リハビリテーションの代替手段となりえる.

遠隔リハビリテーションに関する研究は主に欧米で行われており, その有効性を報告している. しかし, システム運用の実用性という観点からとらえると, 課題は利用者 (患者・介護者, 医療関係者) の負担 (経済的負担, 身体的負担) が大きいことである. そこで本研究では, 利用者の負担が少ない, シンプルなシステム構成を目指した. なおかつ, 効果的なリハビリテーションが可能となるよう, 視覚に対するフィードバックに着目して, 新たな遠隔リハビリテーションシステムの開発を行った.

1)　VR 遠隔リハビリテーションシステムの概要

本研究では VR (Virtual Reality) 空間内でハビリテーションが可能な, 遠隔リハビリテーションシステムを開発した. 過去の研究で, ネットワーク遅延によるトラブルが複数報告されている. 遠隔リハビリテーションを行う上で, ネットワーク遅延はリスク管理という点でも問題である. 本研究で作成したシステムではデータ通信端末 (LTE) でも十分なリアルタイム性を確保した.

インターネットに接続した端末間のコネクション確立, およびデータストリーミングには BaaS (Backend as a Service) の一つ「PubNub」を用いた. BaaS はクラウド上でサーバシステムおよび機能 (インフラ, OS, ライブラリ, サーバサイドアプリケーションなど) を提供している. BaaS を用いることで, 端末間の接続は Peer to Peer 方式よりも容易となった. また, 実際にサーバを設置して運用する場合に比べ, コストやマンパワーを要することが無くなった. さらに, 医療機関側のネットワークセキュリティ設定を変更することなく運用が可能なため, 実用性は高まった. また, データファイルの送信に関しては, クラウドストレージサービスの「Dropbox」を用いた. Dropbox を用いることで, 双方の端末がオンラインとなっていなくても, データの送受信が可能となる. 患者が自主的に行ったリハビリテーションのデータを, セラピストはいつでも入手し, その状況を把握することができる.

動作解析機器には Kinect を用いた. Kinect は非接触型の動作計測機器であり, 容易に扱うことが可能である. さらに, 低コストでの導入が可能というメリットもある. 一方で, 計測精度についてはマーカを使用するタイプの動作計測機器に比べると低くなるというデメリットもある. 本研究においては, 利用者の負担を少なくすること, またシンプルなシステム構成を目標としたため, Kinect を選定した. システム導入に当たり, Kinect の計測精度に関する検証を行った. その結果, 画角を考慮に入れた範囲の運動に関しては, 計測精度が高いことを確認した.

VR リハビリテーションソフトウェアでは, セラピストが患者の身体機能に併せて, 課題を設定することができる. また難易度の調整なども容易となっている. 遠隔リハビリテーション運用中は, 本ソフトウェアを介して仮想空間内での運動がリアルタイムで再現される. 本システムにおいては, 患者は両眼視差を用いた 3 次元画像を用いてリハビリテーションを行う. 3 次元画像の作成には TriDef 3D を用い, 2 次元画像データを偏光ディスプレイで投影可能な状態に変換した. 両眼視差による奥行き情報を与えることで, より素早く滑らかな運動を促すことが可能となる (後述).

コミュニケーションツールには「Skype」を用いた. Skype は Firewall 透過性が高いという特徴を持つ. また, ビデオ通話中の遅延時間について検証を行ったところ, リアルタイム性が高いことがわかった.

運動学習効果を高める感覚フィードバックデバイスとして, 振動刺激を呈示可能な装置を開発した. 本システムでは振動子として偏心モータを採用した. 振動刺激の有無は VR リハビリテーションソフトウェアで選択することが可能となっている.

2) 仮想空間における両眼視差による奥行き情報が運動に与える影響の検証

脳卒中患者に対する VR リハビリテーション時の視覚フィードバックの有効性について, 脳卒中患者は VR 空間内での運動時に視覚情報に依存して運動に関する情報を入手していること, 運動学効果が視覚情報の正確性に依存していることが報告されている. 近年, 3 次元立体視が可能なディスプレイが市販されていることから, 3 次元立体視がより身近なものとなった. しかし, VR を 2 次元画像と 3 次元画像で呈示した場合, 運動にどのような影響が生じるかを検証している研究はない. そこで本研究では, 通常のディスプレイに表示した 2 次元画像と両眼視差による立体視が可能な偏光ディスプレイに表示した 3 次元画像を用いて, 上肢運動に与える影響を検証した. その結果, 運動の速度および滑らかさは 3 次元画像を用いたほうがより高いパフォーマンスが得られた. このような結果が得られた理由として, 3 次元画像は両眼視差による立体視が可能なため, より現実に近い条件で運動課題を表示できるということが考えられる.

3) VR 遠隔リハビリテーションシステムの臨床効果検証

脳卒中患者 3 名に対し, 本システムを用いた VR リハビリテーションを実施した. リハビリテーションの内容は, 麻痺則上肢の運動機能改善を目的としたリーチ動作で構成されている. なお,2 名は病院に入院されている患者で, システムが設置された病院内で VR リハビリテーションの効果性について検証を行った. 残り 1 名は在宅リハビリテーションを利用しており, VR リハビリテーションの効果性と併せて, 遠隔リハビリテーションの運用試験を行った.

その結果, VR リハビリテーション課題の遂行時間, 運動の滑らかさ, 関節可動域の改善が認められた. ビデオ映像による動作分析から体幹の代償動作も軽減している様子が伺えた. 遠隔リハビリテーション運用時には, ネットワーク遅延, ハード・ソフトウェアトラブルもなく, 円滑なリハビリテーションを行うことが可能であった. いずれの症例についても, モチベーションを高く保つことができた.

以上, 本研究では 3 次元立体視とクラウドサービスを活用した VR 遠隔リハビリテーションシステムを開発し, 脳卒中患者に対する Pilot Study を行った. その結果, システムの実用性・運用性が確認でき, VR リハビリテーションの効果性を示す結果が得られた.