

遠隔リハビリテーションのための 3 次元動作解析システムの開発 Development of Cloud-based 3D Motion Analysis System for Telerehabilitation

伊藤 芳也[†] プリマ オキ ディッキー アルディアンシャー[†] 大野 祐汰[†] 伊藤 久祥[†]
Yoshiya Ito Oky Dicky Ardiansyah Prima Yuta Ono Hisayoshi Ito

1. はじめに

高齢化社会の進行により、医療またはリハビリテーション（以下リハビリ）サービスの充実化・効率化が求められている。通院が困難な患者には、訪問リハビリが実施されているが、医療従事者への負担になっている。客観評価をもとに ADL やリハビリの効果を自己診断できれば、持続的な健康管理や医療従事者の負担が軽減できる。これまで Microsoft Kinect のようなモーションキャプチャを利用したリハビリの評価手法や遠隔リハビリのシステムが提案されてきた¹⁾²⁾が、当該システムは患者にとって使いやすいとはいえない。本研究では、患者が投稿した身体映像を自動的に解析し、その解析結果をフィードバックするクラウド型 3 次元動作解析システムの構築を試みる。フィードバックの内容には、身体映像から推定した 3 次元姿勢の情報や関節可動域が含まれており、これらを利用してユーザは自身のリハビリテーション状況を把握できることで遠隔でリハビリテーションサービス従事者に効果的に相談できる。

2. 既存の動作解析システムについて

映像をもとにした動作解析システムでは、解析対象の部位に対してアノテーションし、当該部位の地点の変化を計測することで移動距離や各部位のなす角度を解析する動画解析ソフト Kinovea が存在する³⁾。ただし、深層学習の発展により、映像から自動的に関節の位置を推定することが可能になることで、前述のアノテーション作業が自動化される場合が多い。しかしながら、撮影角度によって解析結果が異なるため、人物の 3 次元姿勢推定による動作解析が求められる。身体映像から人体の 3 次元姿勢を推定する研究は行われてきているが、多くの計算資源を要するため、低コスト化が求められる。

3. 提案する 3 次元動作解析システム

本システムは次のような特徴をもつ。まず、患者がスマートフォン（以下スマホ）のようなインターネット通信可能な携帯端末で自身の身体映像をサーバに送信し、サーバから当該映像から推定された 3 次元姿勢の情報を受け取ることができる。次に、医療従事者は、サーバから患者が蓄積した 3 次元姿勢の情報を閲覧し、患者が遂行しているリハビリテーションの評価を行う。この評価結果をサーバに記録し、患者にフィードバックすることができる。このように、患者の動作解析がサーバで行われるため、従来のシステムよりも低コストで運用できる。さらに患者および医療従事者は、通信可能な端末のみでリハビリテーションサービスを行うことができるため、本システムが使いやすい

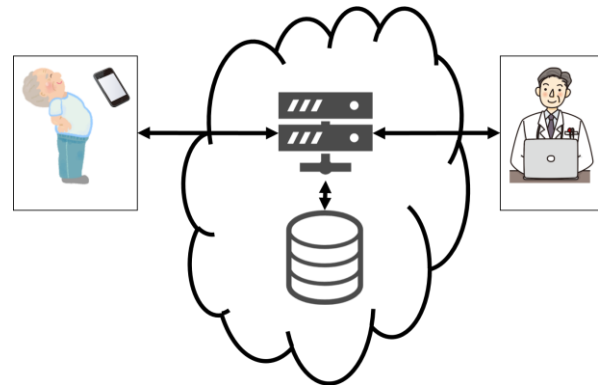


図 1 システム概略図

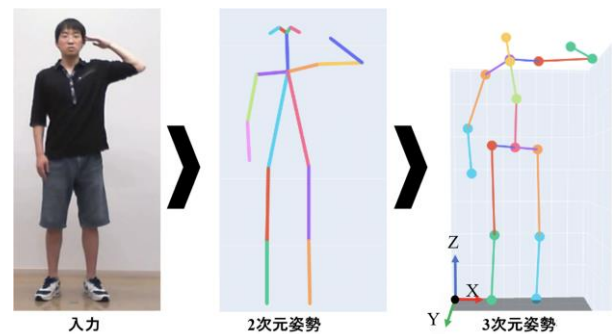


図 2 単一画像からの 3 次元姿勢推定

ものだと見える。図 1 に、本システムの概略図を示す。以下、本システムを詳細に述べる。

3.1 3 次元姿勢の推定

図 2 に提案システムでの 3 次元姿勢推定方法の流れを示す。この推定は、二段階に分けて行われている。第一段階では、OpenPose ライブラリ⁴⁾を利用して身体映像から関節の座標点を特定し、その 2 次元座標を記録する。第二段階では、3D-Pose-Baseline ライブラリ⁵⁾を利用して、これらの 2 次元座標群を Human3.6M の 3 次元姿勢データを教師データとした学習結果と照合し、各関節の 3 次元座標を推定する。また、身体部位が隠れているなどで OpenPose が検出できなかった箇所は線形で補完される。

3.2 Django による Web アプリケーションシステム

本システムでは、3 次元姿勢推定を Python のプログラムで行うことから、Python 言語で実装された Web アプリケーションフレームワーク、Django を採用した。これによって、身体映像から 3 次元姿勢情報の抽出やこれらの情報の可視化を容易に Python で実装できるようになる。

[†] 岩手県立大学 ソフトウェア情報学研究科

Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University, JAPAN

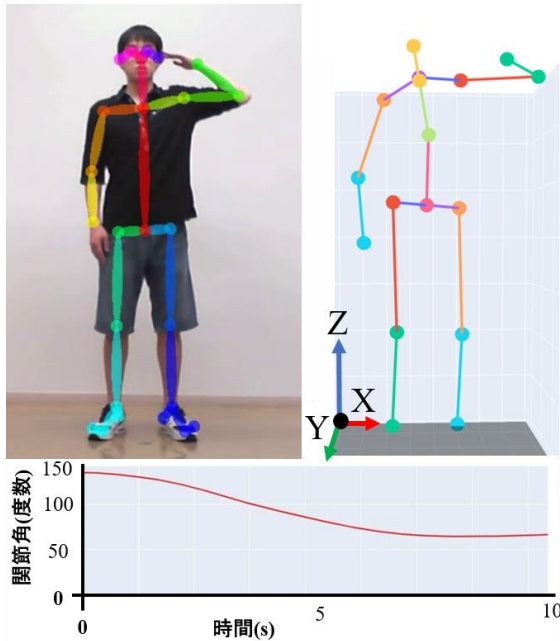


図 3 肘の屈曲の動作をタブレット端末に表示した様子

3.3 動作解析

前述の処理によって得られた 3 次元姿勢データを元に、関節角度を求め、その角度の変化とともに地点の変位を可視化する。ここで、関節角度は当該関節地点と連結する 2 つのベクトルの内積によって求められる。なお、可視化には Plotly ライブラリ⁶⁾を採用した。

4. 実験

提案システムのユーザビリティを次のように評価する。まず、左肘の屈曲の動作を行なっている被験者 10 名 (21～27 歳まで) を撮影し、その映像をサーバに送信する。次に、携帯端末を通じて各々の被験者にサーバからの解析結果を閲覧させ、屈曲動作時の肘関節角の変化 (アニメーションおよびグラフ) を時系列に確認してもらう。最後に、使用した携帯端末のインタフェースについての評価 (表 1) とその所見を行った後、一連の実験が終了する。なお、本実験で使用した携帯端末は、6.4 インチのスマートフォンと 8 インチのタブレット端末である。図 3 は、左肘の屈曲の動作をタブレット端末に表示した様子を示す。

5. 結果

表 2 は、実験によって得られた MOS (Mean Opinion Score)⁷⁾を示す。すべての評価項目において、スマートフォンよりもタブレット端末を利用した場合の MOS が高いとみられるが、その差は有意ではなかった。一方、実験終了後の所見から、提案システムのインタフェースが直感的ではない点と関節を 3 次元的に閲覧する際の操作が難しい点などの指摘があり、今後、これらの点について改善する予定である。

表 1 アンケート項目

項目	アンケート項目	評価
1	トップ画面の見やすさ	1 2 3 4 5
2	トップ画面の操作しやすさ	1 2 3 4 5
3	アップロード画面の見やすさ	1 2 3 4 5
4	アップロード画面の操作しやすさ	1 2 3 4 5
5	解析結果画面の見やすさ	1 2 3 4 5
6	解析結果画面の操作しやすさ	1 2 3 4 5

表 2 ユーザビリティの評価の結果

項目	デバイス		p 値
	スマートフォン	タブレット	
1	2.4 (0.843)	2.9 (0.994)	0.240
2	2.8 (0.788)	3.2 (0.632)	0.226
3	2.9 (0.737)	3.2 (0.788)	0.216
4	2.6 (0.966)	3.0 (0.942)	0.361
5	2.5 (0.527)	2.6 (0.843)	0.754
6	2.2 (0.918)	2.5 (0.971)	0.487

† $p < .10$ * $p < .05$ ** $p < .01$

6. 結論

本研究では、リハビリ患者がスマホなどのインターネットに接続できる端末を用いてリハビリテーション動作を撮影・アップロードし、その解析結果をフィードバックするクラウド型 3 次元動作解析システムを開発した。実験の結果、解析画面で被験者に自身の限界関節角度を示すことに成功した。今後は、実験で明らかになった課題を修正し、ユーザテストを繰り返してシステムを改良していく。また、本システムが遠隔リハビリテーションにおいて効果があるのかの検証も理学療法士の協力を得ながら行っていく。

参考文献

- [1] 坂井希, 川北あすみ, 神谷直希. "K-025 骨格トラッキングを用いた作業療法士のための関節可動域計測システムの開発 (K 分野: 教育工学・福祉工学・マルチメディア応用, 一般論文)." 情報科学技術フォーラム講演論文集 12.3 (2013): 601-607.
- [2] 鈴木昂太郎, 村田嘉利, 鈴木彰真, 佐藤永欣, "Kinect を用いた遠隔リハビリテーションシステムの研究", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2016) シンポジウム, (2016)
- [3] "Kinovea", <https://www.kinovea.org/> (retrieved, June, 2020)
- [4] CAO, Z., et al. OpenPose: Realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields. arXiv 2018. arXiv preprint arXiv:1812.08008, 1812.
- [5] MARTINEZ, Julieta, et al. A simple yet effective baseline for 3d human pose estimation. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. 2017. p. 2640-2649.
- [6] "Plotly", <https://plotly.com/python/> (retrieved June 2020)
- [7] ITU-T Rec. P.800.1 (07/2016) Mean opinion score (MOS) terminology