

氏名	Gunawardena K. S. Lasith
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	総博甲第107号
学位授与年月日	平成28年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
文部科学省報告番号	甲第572号
専攻名	電子機能システム工学専攻
学位論文題目	Foot-based static gesture interaction in water (水中における足を使った静的ジェスチャインタラクション)
論文審査委員	主査 島根大学教授 平川 正人 島根大学教授 岡本 覚 島根大学教授 會澤 邦夫 島根大学准教授 廣富 哲也

論文内容の要旨

This dissertation investigates how human foot gestures performed in a water medium can be detected using a computer. The feet play a significant role in the human gait cycle. Foot operated pedals are ubiquitous in vehicles and found in musical devices. As an interaction body part, it has received minimal attention in the study of gesture recognition. This is probably because foot movements are considered less accurate when compared to the hand.

In the sphere of computing, gesture recognition has recently been a topic of interest to many researchers, with many detection devices in the market. In the absolute majority of research and devices, the interaction takes place within the air medium. Further, there has been a recent trend to investigate interaction in public locations and natural mediums. Water is one of the closely associated mediums with day to day human life. The sensation provided by water has a relaxing effect on the human body. Consequently, it is opportune to investigate foot gestures in a natural liquid such as water. The scope of the research limits to detecting static gestures, where the gesture performed at a single instance of time is analyzed. Static gestures can also be referred to as poses when considering the human body.

The research initially attempted to review the literature and existing technologies to get a firm understanding of existing techniques and technologies for object detection, and to study the practicality with relation to water. One observation from existing research was that most gesture movements focused on the hand, finger, and full body movement and less significance was on the feet. Another was that only a few researchers have investigated immersive interaction within a three-dimensional volume of water. Further study of previous research examined the software process for gesture detection, which included the protocols, toolkits, and machine learning algorithms.

On the completion of the literature survey, experiments with existing gesture recognition devices revealed their detection abilities deteriorated during water interaction. This deterioration was due to the low-intensity energy used, as well as using dispersive beams. Using vision-based configurations contribute to increasing in system setup space. Experiments which used laser technology in water were promising and required less space. Similarly, phototransistors suited the requirement to detect laser beams. An acrylic tank mounted on top of a display was used as the primary interaction space that contained water. 78 laser-phototransistor pairs are used and connected to an Arduino Uno Microcontroller via a multiplexer. The temperature of the tank is read using a thermistor. A heating element is connected to increase the temperature of the tank when necessary. A water faucet connects to the tank using a water pump for demonstration purposes. Using a touch frame above the water surface improves object detection. The hardware framework developed as part of this research is called SensorTank and is one of a kind in its detection approach. It constitutes a significant contribution of this research. Its functionality and robustness were tested under different test conditions including murky water, temperature, light level, as well as examining the effect of ripples and air bubbles. This framework is a principal contribution of this research. The literature survey did not find a device that was capable of detecting locations of immersed object in limited spaces such as a foot interaction tank.

The software framework was developed using Processing language. This program interfaces with applications in MaxMSP, Adobe Flash, to provide audio and visual output. Open Sound Control and Tangible User Interface Objects protocols are used to communicate

with applications and hardware. Point cloud data about the object is filtered to detect foot sized objects using the Connected Component Labelling Algorithm. An experiment conducted revealed seven gestures that are suitable for feet movement in the water. Finally, a gesture recognition analysis was performed using 11,036 samples to evaluate the machine learning algorithm that recognized the gestures with a high level of precision. Overall recognition rates over 90% were achieved, with the best recognition suitable for real-time usage provided by the Adaboost algorithm at 96.64%. The gesture analysis uses the open sourced Gesture Recognition Toolkit. Identification of the gestures is significant as it permits application developers the opportunity to develop applications based on the identified gestures.

The prototype applications built as part of this research focus on foot bath (Ashiyu) environments, home relaxation, and automation. This research study contributes not only to the sphere of human-computer interaction; its applications extend to rehabilitative medicine as well as entertainment in public spaces.

論文審査結果の要旨

コンピュータという機械に人間が歩み寄るのではなく、人間はコンピュータの存在を意識することなく普段通りの行動をするだけで、人間が期待する働きをコンピュータが行うような対話型操作環境の構築が強く求められている。そのためのひとつのアプローチとしてジェスチャインタフェースがある。30年以上の長きに渡ってユーザインタフェースの主役を務めてきたグラフィカルユーザインタフェース（GUI）に取って代わろうとする挑戦的な試みである。対象とされるジェスチャとしては手指あるいは上肢の動作に中心的な関心が向けられてきた。Leap Motion や Kinect といった高性能なデバイスの出現がこれらを後押ししている。

一方、足の動作に注目するジェスチャ研究はほとんど見受けられない。手指に比べて緻密な動きを足に期待することは難しいが、二足歩行はヒトの特徴のひとつであり、また自動車やピアノなどの身近な道具／機器の操作にあたっては足が有効に用いられていることを考えれば、足を使ったジェスチャを取得することは十分に価値がある。

加えて、これまでは空中でのジェスチャに関する試みがほとんどである。我々の生活の中で水は切っても切れない存在であり、水中でのジェスチャを取得・利用することができれば、新たなコンピュータ応用を切り拓くことにつながるに違いない。事実、空中でのジェスチャにあっては空を切るだけであって、他の技術を組み合わせない限り、適切なフィードバックが利用者に提供されることはない。水を媒体とする場合、操作時には触力覚が提示されることになる。また、温度感覚の提示も可能であるという特徴がある。

本論文は水中における足を使った静的ジェスチャの取得と利用に関する新たなアイデアを提案するものである。静的ジェスチャは身体部位（本研究にあっては足部）の形あるいはポーズとして表現されるジェスチャである。そのような用途に見合うインタフェース装置は存在せず、そのためアクリル水槽と 78 組のセンシングデバイス、それに情報提示用ディスプレイを組み合わせたハードウェア装置を新規に実装している。その上で、水を張った水槽の中に挿入された足の位置及びボリュームを検出するためのソフトウェアを実装している。水平方向だけでなく深さ方向まで含めた 3 次元物体位置・形状を取得できることが大きな特徴となっている。また、望ましい足ジェスチャについて検討した結果、7つのジェスチャが有望であることを示し、それらの検出を機械学習によって実現する手法を説明している。複数の機械学習アルゴリズムの違いによる足ジェスチャ識別評価実験の結果に加えて、水が濁った場合の頑健性、温度や泡の発生が与える影響などについても検討している。更に、音楽演奏やホームオートメーション、足湯などへの具体的な応用についても言及している。このように、ハードウェアからソフトウェア、応用シナリオまで含めたひとつのまとまったシステムを実際に構築し、評価を通してその妥当性・有用性を確かめている。

本論文はピアレビュー制度の整った英文ジャーナル誌に掲載された 2 編の関連論文の上にまとめられている。その他に 2 編の参考論文も発表されている。

以上述べたように、本論文は水を媒体にした領域内での足動作をジェスチャとして用いるという新たな研究領域を切り拓くものであり、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション分野に与える貢献は極めて大きい。博士（工学）の学位授与にふさわしい内容と判断される。