

平成 30 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H01697

研究課題名(和文)人の細かい手作業計測のための3次元6自由度モーションセンサシステムの実現と応用

研究課題名(英文)Development of 6DOF Motion Sensing System for Dexterous Hand Motion

研究代表者

北村 喜文 (Kitamura, Yoshifumi)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：80294023

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,700,000円

研究成果の概要(和文)：人の細かい手作業計測のための3次元6自由度モーションセンサシステムIM6Dを提案した。それは、ワイヤレスでバッテリーレスの小型軽量マーカを15個まで区別して、それぞれの3次元位置と方向の計測を、十分な速度と精度で行うことができる。オクルージョンの問題もなく、複雑な運動や手作業などのインタラクティブな場面で利用できる。
本研究成果は、コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術のトップコンファレンスであるSIGGRAPH Asia に採択され発表した。その論文は、ACM Transactions on Graphics誌に掲載され、またSIGGRAPHの注目論文として選ばれた。

研究成果の概要(英文)：We proposed IM6D, a novel real-time magnetic motion-tracking system using multiple identifiable, tiny, lightweight, wireless and occlusion-free markers. It provides reasonable accuracy and update rates and an appropriate working space for dexterous 3D interaction. Our system follows a novel electromagnetic induction principle to externally excite wireless LC coils and we apply this principle to design a practical motion-tracking system using multiple markers with 6-DOF and to achieve reliable tracking with reasonable speed. We also solved the principle's inherent dead-angle problem. We implemented an actual system and applied a parallel computation structure to increase the tracking speed. We also built some examples to show how well our system works for actual situations.
The paper of this project was accepted by a top conference in this field, SIGGRAPH Asia, and appeared in the ACM Transactions on Graphics. It also won honor to be selected as an ACM Digital Library Selection.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：モーションキャプチャ 3次元ユーザインタフェース

1. 研究開始当初の背景

伝統工芸や医療手術などの中で見られる、細かい手作業を伴う技能の伝承やアーカイブを目的とした場合、作業中の人の手指の運動を詳細に計測して記録することが必須であるが、その目的を達成するために妥当な3次元モーションセンサシステムはこれまでなかった。カメラや距離画像入力装置を用いた光学式的手法では、隠れ(オクルージョン)のために計測できない死角があり、また複数の指をそれぞれ区別して安定的に計測することは難しかった。バーチャルリアリティの分野などでは曲げ角度センサを縫い込んだグローブ型手形状入力デバイスを用いることもあるが、そもそもグローブを装着しては細かい手作業はできない。その他にも、交流磁気式の3次元センサも幅広く利用されているが、電源供給や通信のために一般にセンサは有線接続されているため、細かい手作業には邪魔になり、これを回避しようと無線通信やバッテリーを搭載すると、センサ自体が大きく重くなって、やはり細かい手作業を阻害していた。

2. 研究の目的

従来は計測できなかった人の細かい手作業中の手指の運動を計測するための3次元6自由度モーションセンサシステムを実現し、さらにその特徴を活かした3次元ユーザインタフェース応用を図るため、本研究では次の課題に取り組む。

- (1) 機械学習を用いた安定な3次元位置・方向データ算出
- (2) 3次元6自由度のモーションデータ計測の実現
- (3) 十分な数の計測点数の確保と計算の効率化・高速化
- (4) 人の細かい手作業の予測認識インタフェースの実現

3. 研究の方法

作業空間中で安定な3次元6自由度モーションセンサシステムを実現して、人の細かい手作業のモーション計測とその応用を図るため、本研究では次の課題に取り組む。

- (1) 機械学習を用いた安定な3次元位置・方向データ算出
機械学習を用いた手法で、観測値を用いてマーカの3次元位置・方向を計算する逆問題を解く関数を、非線形回帰により求める手法を確立する。
- (2) 3次元6自由度のモーションデータ計測の実現
5自由度計測可能なマーカを3個一組で利用することにより、方向についても3自由度の計6自由度の計測が可能にする。ただし単純に組み合わせるだけでは手指に装着するマーカセットのサイズが

大きくなり細かい手作業を阻害する恐れがあるので、最適な構成を検討する。

- (3) 十分な数の計測点数の確保と計算の効率化・高速化
システムで利用できる最大のマーカ数は、90kHz~500kHzの範囲で各マーカを識別できるように共振周波数を30kHz程度の周波数間隔で設定しているところから決まっているが、AD変換の帯域幅を見直し、15個程度のマーカを識別できるようにする。そして、GPUを利用して2000スレッド程度の並列計算を行わせることで、計算の効率化・高速化を図る。
- (4) 人の細かい手作業の予測認識インタフェースの実現
自由度が高い指先の細かい手の動きを本試作システムで計測・入力し、動的モデルによって手指の動きと操作物体の動きを予測・認識する方法を確立し、それを用いた操作インタフェースを実現する。

4. 研究成果

複雑な3Dインタラクションとモーションのための6自由度パッシブマーカによる磁気式トラッキングシステムIM6Dを提案した。これは、ワイヤレスでバッテリーレスの小型軽量マーカを用いた新しい磁気式リアルタイムモーショントラッキングシステムである。複数のマーカを区別して各マーカの3次元位置と方向の6自由度の計測を、十分な速度と精度で行うことができる。オクルージョンの問題もなく、複雑な運動や手作業などのインタラクティブなアプリケーションに利用できる。LC共振型コイルによるマーカが発する誘電磁界を複数の磁界センサで検出し、それらの計測データを基に逆問題を解いて位置と方向を特定するという原理に基づいている。ただしそのままでは5自由度の計測に留まっていた。また本計測原理は、位置と方向を計測できないLC共振型コイルの姿勢があるというdead-angleの問題があった。

そこで、まず、15個のLC共振型コイルを同時計測できるようにし、さらに、これらを3つつ組み合わせることで、上記の問題を解決し、あらゆる姿勢で安定して6自由度の計測をできるようにした。加えて、GPUを用いた並列計算で計算の高速化を図り、実用的なシステムとして図1のように実装した。

本研究成果は、コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術のトップコンファレンスであるSIGGRAPH Asia 2015に採択され発表された[1]。その論文は、ACM Transactions on Graphics誌(Impact Factor = 4.09)に掲載され、また、注目論文として選ばれ、ACM SIGGRAPHのwebsiteのフロントページにも掲載された(2016年4月)。さらに、



図 1: 開発した 3 次元 6 自由度モーションセンサシステムによる計測例



図 2: さまざまなマーカのデザイン

情報処理学会グラフィックスと CAD 研究会で招待講演を行う機会も得た[4].

ここで、3 次元 6 自由度の計測をするために、LC 共振型コイルを 3 つずつ組み合わせて利用していたが、マーカをできる限り小さくし、かつ互いの相互干渉の発生を抑えつつ dead-angle を無くすために、マーカのデザインについて検討し、図 2 に示すさまざまなマーカを試作して、実験によって効果を計測した[2][5].

さらに、これまで、センサからのデータを逆問題で解いて 3 次元情報を計算してきたが、そのためには初期値が必要であった。しかし、信頼度の高い初期値がしばしば得られないことがあるという問題があった。この問題に対して、機械学習の 1 つであるランダムフォレストを用いて解決を試みた[6].

また、新しい 3 次元ユーザインタフェースへの応用として、バーチャルリアリティでのより良い操作ユーザインタフェースを探るために、3 人称視点でキャラクタを操作する手法を提案し、実装を行った[3].

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- [1] Jiawei Huang, Tsuyoshi Mori, Kazuki Takashima, Shuichiro Hashi, and Yoshifumi Kitamura: “IM6D: magnetic tracking system with 6-DOF passive markers for dexterous 3D interaction and motion,” ACM Transactions on Graphics (TOG), Volume 34, Issue 6 (Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia), pp. 217:1-217:10, November 2015. (Impact Factor: 4.09) (査読有)

※ ACM SIGGRAPH の注目論文として選ばれ、同サイトの website のフロントページに掲載された (2016 年 4 月)

[学会発表] (計 6 件)

◎国際会議における査読付き口頭発表

上記論文[1]は、ACM SIGGRAPH Asia 2015 の Technical Papers のプログラムで採択され、口頭発表を行った (Kobe, Japan).

- [2] Jiawei Huang, Tsuyoshi Mori, Kazuki Takashima, Shuichiro Hashi and Yoshifumi Kitamura: 6-DOF Computation and Marker Design for Magnetic 3D Dexterous Motion-Tracking System, Proceedings of ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST), 211-217, November 2016 (Munich, Germany) (査読有).

◎国際会議における査読付きデモ発表

- [3] Clinton Anderson, Jiawei Huang, Kazuki Takashima, and Yoshifumi Kitamura: “Light-tracing: Ray-Casted Movement for Improved Character Control in Platform Virtual Reality Gaming”. In SIGGRAPH Asia VR Showcase, ACM, Article 7, 2 pages. Demonstration, 2017 (Bangkok, Thailand) (査読有).

◎ 国内会議招待講演

- [4] 黄 佳維, 森 健, 高嶋 和毅, 柵 修一郎, 北村 喜文: 「複雑な 3D インタラクションとモーションのための 6 自由度パッシブマーカによる磁気式トラッキングシステム」, 情報処理学会グラフィックスと CAD 研究会(GCAD)とコンピュータビジョンとイメージメディア研究会(CVIM)の合同研究会, 2015 年 11 月 6 日 (神戸市).

◎ その他の国内会議発表

- [5] 菅原 諒, 黄 佳維, 高嶋 和毅, 幸村 琢, 北村 喜文: 「最適解計算に基づく 3 次元モーションセンサのためのランダムフォレストを用いた初期値推定法」, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3F1-03, 2017 年 9 月. 論文 4 ページ, 口頭発表 (徳島) (査読無).

- [6] 黄 佳維, 森 健, 高嶋 和毅, 柵 修一郎, 北村 喜文: 磁気式 3 次元トラッキングシステムにおける LC コイル・マーカの設計と評価, 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 21B-06, 2016 年 9 月. 論文 4 ページ, 口頭発表 (つくば) (査読無)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

Magnetic Tracking System for Dexterous 3D
Interaction and Motion

[http://www.icd.riec.tohoku.ac.jp/
project/displays-and-interface/IMxD/](http://www.icd.riec.tohoku.ac.jp/project/displays-and-interface/IMxD/)

6. 研究組織

(1)研究代表者

北村 喜文 (KITAMURA, Yoshifumi)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号： 80294023

(2)研究分担者

栢 修一郎 (HASHI, Shuichiro)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号： 90324285

高嶋 和毅 (TAKASHIMA, Kazuki)

東北大学・電気通信研究所・助教

研究者番号： 60533461

(3)研究協力者

幸村 琢 (KOMURA, Taku)

英国・エジンバラ大学・Reader

黄 佳維 (HUANG, Jiawei)

東北大学・東北大学電気通信研究所・

博士後期課程学生