

サイバーフィジカル 3D 協調インタラクション環境の研究開発 (111702002)

Research and Development of Cyber Physical 3D Cooperative Interaction Environment

研究代表者

北村 喜文 東北大学 電気通信研究所

Yoshifumi Kitamura Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

研究分担者

栢修 一郎[†] 伊藤 雄一[†] 高嶋 和毅[†] 横山 ひとみ[†] 藪上 信[‡] 小澤 哲也[‡] 金高 弘恭[‡] 石山 和志[†]
Shuichiro Hashi Yuichi Itoh Kazuki Takashima Hitomi Yokoyama Shin Yabukami Tetsuya Ozawa Hiroyasu Kanetaka Kazushi Ishiyama
[†]東北大学 電気通信研究所 [‡]大阪大学 クリエイトユニット [‡]東北学院大学 工学部 [‡]東北大学 大学院医工学研究科

研究期間 平成 23 年度～平成 25 年度

概要

同一場所および遠隔地にいる複数の人が、3D 物体を含む作業空間を共有して、直感的かつ効率的な協調作業を行えるようにするために、実世界にあるフィジカルな物体をインタフェースに利用する「フィジカル 3D インタラクション」と、バーチャルな世界にある物体をサイバースペースで共有して協調作業を行う「サイバー 3D インタラクション」を実現した。また、そのために、これらの共通の基盤技術である「非接触・非拘束・小型 3D センサ」も開発した。

1. まえがき

同一場所にいる人だけではなく、遠隔地にいる人も交えて協調作業を行いたい場合があるが、手作業によって 3 次元物体の変形操作などを行う作業空間を共有し合うことは難しい。対象物体の完全な 3D 形状や手指の動きをリアルタイムに検出して遠隔地に正しく送ることができない上に、立体ディスプレイ等を用いたとしても、方向によって変わる 3D 物体の見え方の変化を正しく表示することができないからである。しかし、このような作業空間を共有することができれば、手作業で行う技能の伝承などを通して人と人が場所を越えて交流でき、新たな「知」や「価値」を産み出すことができる人に優しい情報通信システムを実現することができる。その実現のためには、次のような技術を確認する必要がある。

- (1) 複雑な形状の実物体の形状変化や手指の動きをリアルタイムに検出する技術
- (2) 方向によって変わる 3D 物体の見え方の変化を正しく表示し、しかも複数人でそれを共有することができる立体ディスプレイ技術
- (3) 実作業空間とバーチャル作業空間の双方の特徴を活かして、複数の人の複雑な手作業を支援するインタフェース技術
- (4) (3)のインタフェースを介して遠隔地の作業空間を共有させる技術

そこで本研究では、これら 4 つの技術を確認することにより、手作業による 3D 物体の操作を行う作業空間を、同一場所および遠隔地にいる複数の人と共有して直感的かつ効率的な協調作業を行えるようにすることを目指した。

2. 研究開発内容及び成果

2.1 非接触・非拘束・小型 3D センサ

本研究で開発した非接触・非拘束・小型 3D センサは、LC 共振型磁気マーカが発する誘導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磁気マーカの 3D 位置と方向を特定するという原理に基づいている。そのため、ワイヤレス駆動によるバッテリーレス化で小型軽量マーカ（重さ 0.7～1.1g、直径 3.5～4mm、長さ 15mm）を実現できた。また、カメラ等を用いたシステムで問題となるオクルージョン（光学的検出死角）が無く、12 個までの異なる LC 共振周波数を設定したマーカを、それぞれ区別して、1mm 程度の位置精度で同時検



(a) システム全景



(b) 各指先に付けた 10 個の LC 共振型磁気マーカ
図 1: 開発した非接触・非拘束・小型 3D センサ

出可能である。

図 1(a)に示す 3D センサシステムは、励磁コイル、検出コイル（センサ）アレイを一体化したコイル部と、計測・制御部から構成されている。コイル部において 32 個（32ch）の検出コイル（直径 25mm、40 回巻）を 60mm 間隔で格子状に配置してあり、また検出コイルを固定したボードの外周に励磁コイル（495×495mm、13 回巻）を配置した。計測部は 1 台あたり 4ch の入力端子を有し、高速サンプリング（4MS/秒）の AD コンバーター計 8 台（合計 32ch）による計測部と、マーカ励磁用の任意波形を生成するための任意波形発生器から構成されている。サンプリング性能より、マーカに設定できる共振周波数は

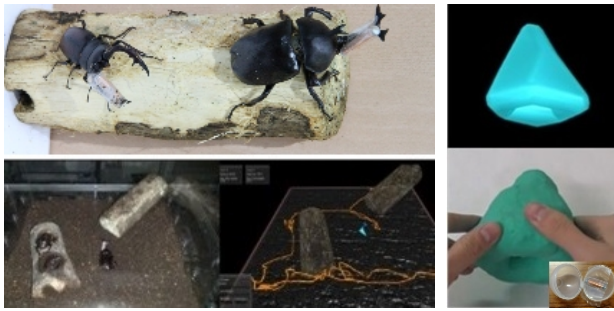


図 2: 左: 昆虫の行動計測と 右: 粘土の 3D 形状の実時間計測・可視化の例

500kHz 程度まで拡張され、12 個のマーカの同時検出を実現した。

磁気マーカの位置・方向算出のための逆問題計算はマルチコア CPU (16 個) を用いた並列計算により、大幅な高速化を実現した。検出速度は、マーカが 4 個までは 100Hz、10 個の場合 51Hz となり、10 本の指の動きをほぼ実時間で計測可能である。図 1(b)では 10 個のマーカを各指先に付加しているが、フェライト磁心に巻線 (100~600 回) を施しその両端にチップコンデンサが接続され LC 共振回路を構成している。共振周波数は各マーカを識別できるように 90kHz~500kHz の範囲で 30kHz 程度の周波数間隔で設定した。

小型で軽量、ワイヤレスでバッテリーレス、計測死角なく複数のマーカを区別して同時に 3D 位置と方向を計測できるという本システムの特徴を活かして、従来手法では不可能であった様々な応用が可能である。まず図 1 のように、手指の細かい運動を妨げることなく計測できる。その他の例を図 2 に示す。同図左は昆虫の行動計測の例であり、地中や木の二等を含め、昆虫の行動に制約を加えずに何日間でも連続して計測可能である。右は粘土の 3D 形状の実時間計測と可視化の例であり、カメラ等を用いたシステムでは困難な凹部も計測できていることがわかる。

2.2 サイバーフィジカル 3D 協調インタラクション環境

図 3 は、本研究で試作したサイバーフィジカル 3D 協調インタラクション環境の処理の流れを示す。まず、本研究で開発した非接触・非拘束・小型 3D センサのマーカを埋め込んだ粘土によるフィジカルインタラクションの過程で作られる 3D 形状を実時間計測する。その 3D 形状情報をネットワークにより遠隔地の協調作業場に転送し、多人数共有型立体ディスプレイ IllusionHole 上に表示する。ここでは複数の利用者は物体の 3D 形状を各視点位置から見た正しい立体像として観察できている。IllusionHole では、各利用者から見て同一の 3D 位置に物体が表示されるので、直接指示を利用した協調作業に最適であるという特徴を有している。そこで、利用者の指先の 3D 位置を計測し、マルチタッチインタフェースを実装した。図 3 の右下の 3 例は、これらの中から、2 点によるタッチ、縮小、回転操作の例を示している。ここで示した例では、サイバーインタラクションの作業結果はフィジカルな物体の変更に影響を及ぼせないが、今後、ロボット (マニピュレータ) などを導入するなどして双方向のインタラクション環境構築を目指したい。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

従来、手指の動きを精度よく計測しようとする場合にはグローブ型の手形状入力装置が利用されることが多かつ



図 3: 試作したサイバーフィジカル 3D 協調インタラクション環境

たが、グローブの着用は細かい器用な手作業を妨げていた。また、カメラ等を用いたシステムではオクルージョンの問題や、複数の手指をそれぞれ安定して区別して計測することが困難であった。本研究で開発した 3D センサはこれらの問題を解決しているため、医療手術や伝統工芸など、手作業で行う技能の伝承などに役立つと期待される。そのため、今回試作したサイバーフィジカル 3D 協調インタラクション環境のさらなる改善も必要であろう。

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分野で最も権威があり、毎年 2 万人を越える参加者がいる国際会議 SIGGRAPH で本研究成果を 5 日間査読付きデモ展示 (採択率約 25%) したところ、非常に多くの方々から高い評価を得ることができ、世界中の大学等を含む多くの機関の研究者その他から共同研究の申し入れも受けた。開発した 3D センサシステムは非常に汎用性が高いため、今後、工学分野だけではなく、医療や自然科学、または認知心理学の分野の研究者との連携も検討してゆきたいと考えている。

その他、マーカの作成は現在手作業であるため、これを自動化することも生産技術の観点から重要であり、高い工作技術を持つ企業との連携も模索してゆく必要もあろう。

4. むすび

3 年間取り組んだサイバーフィジカル 3D 協調インタラクション環境の研究開発の成果の概要を述べた。貴重なご意見・コメントをいただいた皆様に感謝いたします。

【主な誌上发表リスト】

- [1] Huang J, Takashima K, Hashi S, Kitamura Y: IM3D: Magnetic Motion Tracking System for Dexterous 3D Interactions, ACM SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies, Article No.: 12, Aug. 2014.
- [2] 三枝, 山口, 高嶋, レクイエール, 北村: 立体映像を用いた協調作業における対面型と分散型環境の比較と評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J97-D, No. 5, pp. 933-943, May 2014.
- [3] Ozacar K, Takashima K, Kitamura Y: Direct 3D Object Manipulation on a Collaborative Stereoscopic Display, Proc. of ACM Symposium on Spatial User Interaction (SUI), pp. 69-72, Jul. 2013.
- [4] Hashi S, Kuboki T, Ishiyama K, Yabukami S, Ozawa T, Takashima K, Kitamura Y, Itoh Y, Kanetaka H: Wireless Magnetic Position Sensing System Composed of Multi Channels Digitizer for Realtime Monitoring, European Conference on Magnetic Sensors and Actuator, Jul. 2012.

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.icd.riec.tohoku.ac.jp>