

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17H01815

研究課題名（和文）医療ARシステム高度化のための手術室および臓器を対象とした3D位置検出法

研究課題名（英文）3D Positioning Method for Operating Room and Organs for Advanced Medical AR System

研究代表者

田野 俊一（Tano, Shun'ichi）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：50282918

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,600,000円

研究成果の概要（和文）：「単一カメラによる協調的3D位置検出手法（UbiC3D）」を精度保証、特徴量の多様化、全周カメラ対応の3点において高度化し、建築、医療という全く異なる応用分野において実用的拡張現実システムを実現し評価することにより有効性を実証し、さらに、共通ツールとして汎用化した。これにより、多様な領域において実用的な拡張現実システムを実現可能とする基盤技術を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

協調的3D位置検出手法（UbiC3D）の基本原則および高速処理方法はすでに論文発表を行っている。本研究のテーマA：協調的3D位置検出手法の高度化で実施する精度保証、特徴量の多様化は、問題自体が新しく、新規性の高い手法の提案になる。加えて、テーマB：実用的拡張現実システムによる実証評価、C：協調的3D位置検出手法の汎用化の成果は、現在試用に留まっている仮想現実システムの実用が大きく進展する契機となりうる。

研究成果の概要（英文）：The effectiveness of UbiC3D was demonstrated through the realization and evaluation of practical augmented reality systems in the completely different application fields of architecture and medicine, and furthermore, it was generalized as a common tool. This has made it practical in a wide variety of fields. Through these efforts, we have established a fundamental technology that enables the realization of practical augmented reality systems in a variety of fields.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：医療情報 3D位置検出 拡張現実感 HMD

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究背景

情報通信技術(ICT: information communication technology)の急速な進歩に伴い、様々な分野で拡張現実感(AR: Augmented Reality)の活用が進められている。以下、我々の取り組みを例示する。

<例> : ユビキタスインフォーマル情報共有> インフォーマルコミュニケーション(本音の情報交換)を支援するため、実世界のいかなる時間・場所であっても(ユビキタスに)ユーザが思いついたふとしたアイデアを、生起を誘発したコンテキストに対応づけて保存でき、それを他のユーザと共有できるシステムを構築した。ユーザは図1に示すように、片眼シースルーHMD、カメラ、GPSなどの多様な位置センサを装着し、ふと思いついたアイデアを、周囲の状況である場所、もの、音、時間、方角などに対応させ残すことができる。残されたメモはサーバに記憶され、同様な状況にいる他のユーザのHMDに表示される。

<例> : 「実物大」+「実操作可能」3Dデザインシステム> 既存の発電所のコントロールルーム更新設計を対象に、デザイナーは目の前の実空間に実物大にスケッチを描画し、それがどのように動くかを指定し、そのスケッチを操作しながら使い勝手を評価し、再度スケッチを修正することで設計を進めるシステムを構築した。図2に示すように、シースルーHMDと3次元位置検出装置から実現されている。

<例> : 3D医療診断システム> 医師の頭部にHMDとカメラを装着し、医師の手元にある超音波プローブには視覚的なマーカーが貼付されている。超音波プローブの先にある患部に、超音波エコー画像を3D画像として、重畳して提示するシステムを構築した。図3に術中の様子を示す。



図1 インフォーマル情報

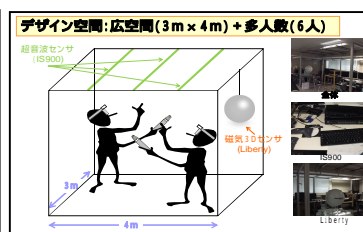


図2 3Dデザイン



図3 3D医療

(2) 問題点と課題

拡張現実感を用いたシステムにおいては、現実世界に情報を重畳表示することが基本になるため、現実世界の対象物やユーザの視線の3D位置を検出することが必須であり、3D位置検出が最も重要となる。しかし残念ながら、多くのシステムはこの3D位置検出が問題となり、限定された場面での実用化に留まっているのが現実である。我々のシステムも例外ではない。

例では、GPSだけでは対応できない位置精度、方向、および建物内などの屋内対応が要求される。例では、人体の内臓内の位置検出は磁気センサを用いて間接的に実現しているが、本来は、検査時に、治療に関するメモを胃壁や食道の病変位置に対応付けて保存し、手術時には、それを患部に直接重畳表示するなどの用法に対応できる3D位置検出手法が望まれている。

実用的な拡張現実システムの実現には、広領域(地球、建物、人体消化器内など)への対応、一般的な場所では、事前準備なく3D位置検出可能、特殊な場所(特定施設内外、施術室内)では、利用者により3D位置計測のためのデータ追加が可能、要求精度は機能、場面に応じて数ミリから数十センチ、数十メートルへ対応、の4つの要件を満たす3D位置検出法が望まれる。

(3) 我々のアプローチ

基本データとして、磁気や超音波やレーザなどの特別な信号ではなく、視覚的な信号(視覚的特徴量)を用いる。拡張現実システムでは、人間が通常活動している環境が対象であり、人間の3D位置知覚が前提とする視覚的特徴量に依存できる。視覚情報に依存する方式では、受動的なセンサのみで実現できるので、全世界に機器を設置する必要もなく、要件を満たす。さらに、近年、視覚情報だけを用いて、高速に視覚特徴点の3Dの位置関係を計算する手法(SLAM、PTAM)が提案され実用レベルに到達しており、要件を満たす。そこで、「単一カメラによる協調的3D位置検出手法(UbiC3D)」を提案した。以下の2ステップで構成される。

<Step1> 全体3Dマップ生成: 図4に示すように、単一カメラを移動しながら対象物を撮影し、そこに含まれる視覚特徴量の3Dマップを生成する。多くのユーザが、それぞれの地点で部分ごとに撮影し、それぞれから3Dマップを生成し、統合し、大規模な全体3Dマップを生成する。

<Step2> 3D位置検出: 特定の場所からカメラで撮影し、微小な部分3Dマップを生成し、それ

を全体 3D マップとマッチングさせ、カメラの撮影位置、即ち、3D 位置を算出する。

UbiC3D の技術的特徴は、()3D 位置検出を 3D マップ間マッチング処理のみに基づき定式化した(3 ~ 4 頁に詳説する)、および、()協調的な仕組みを組み入れた、の 2 点にある。

(4) 事前準備状況

図 5 に示すように視覚的特徴量は頻繁に消失・出現するため不安定である。そこで、ハッシュを用いた投票法による高速かつロバストな 3D 位置検出アルゴリズムを実装し、その結果図 6 に示すように、正しい特徴点の 9 倍の不安定点が発生しても正確な 3D 位置検出が可能となった。

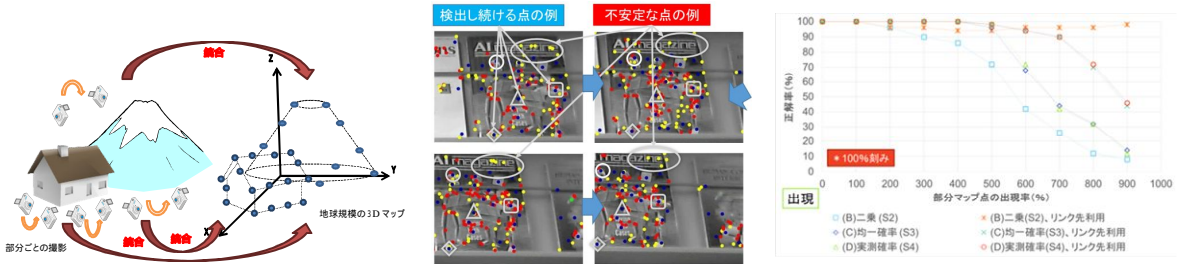


図 4 協調的 3D マップ生成 図 5 視覚的特徴点の安定性 図 6 消失・出現点への耐性

2 . 研究の目的

情報技術の発達に伴い、様々な分野で拡張現実感 (AR) の活用が進められている。我々もデザイナー、医師、ナレッジワーカーなどを対象に、拡張現実感を用いて人間の知的・創造的活動を支援する新たなメディアの研究を進めてきた。しかし、実用に耐える 3D 位置検出法が存在しないために、試作レベルに留まっているのが現状である。その解決法として「単一のカメラを用いて、環境を撮影することにより、視覚特徴点の 3D マップを生成し、さらに、多くの参加者が作成したマップを協調的に統合し、共用する UbiC3D (Ubiquitous and Collaborative 3D position sensing) アーキテクチャ」を提案し、実現可能性を実証できるレベルまで到達している。

そこで、本研究では、「単一カメラによる協調的 3D 位置検出手法 (UbiC3D)」を精度保証、特徴量の多様化、全周カメラ対応の 3 点において高度化し、建築、医療という全く異なる応用分野において実用的拡張現実システムを実現し評価することにより有効性を実証し、さらに、共通ツールとして汎用化し公開する。これにより、多様な領域において実用的な拡張現実システムを実現可能とする基盤技術を確立する。

3 . 研究の方法

本研究は、表 1 にまとめるように、大きく 3 つのフェーズで取り組む。まず、「研究テーマ A」として、基盤となる協調的 3D 位置検出手法 (UbiC3D) の高度化を行う。高度化は、精度推定・保障、特徴量の多様化、全周カメラ対応の 3 点を行う。次に、「研究テーマ B」として、有効性を確認するために、実用的な拡張現実感システムを実現し実証評価を行う。建築、医療という全く異なる分野を対象とする。最後に、「研究テーマ C」として、汎用化を行う。

3 つのフェーズは相互に関連しており、重なりを持って実施する。例えば、研究テーマ A の協調的 3D 位置検出手法 (UbiC3D) の高度化の検討結果であるアルゴリズムは、研究テーマ B の 2 つの応用領域である建築、医療の実データで評価され、その結果がフィードバックされ、研究テーマ A のアルゴリズムの改良がおこなわれる。また、最終の研究テーマ C は、テーマ B を実行中に、汎用ツールとしての要件を洗い出すことになる。

表 1 各年度の実施事項

	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度	H32年度
(A) 協調的3D位置検出手法 (UbiC3D) の高度化 a-1 精度推定・保障 a-2 特徴量の多様化 a-3 全周カメラ対応	設計・実装	改良			
	設計・実装	改良			
	設計・実装	改良			
(B) 実用的拡張現実システムによる実証評価 b-1 建築家を対象とした建物内拡張現実感システムによる実証評価 b-2 医師を対象とした消化器官拡張現実感システムによる実証評価		設計	実装	評価	
		実データ分析	実装	評価	
		設計	実装	評価	
		実データ分析			
(C) 協調的3D位置検出手法の汎用化 c-1 汎用ツール化				設計	汎用化・実装

4. 研究成果

(1) 研究テーマA：協調的 3D 位置検出手法の高度化

手術室内をカメラで撮影した画像には、建物、天井、壁に固定された機器など位置不変な特徴量（不動特徴点と呼ぶ）に加え、医師や看護師、移動可能な機器など、位置が変わる特徴量（動特徴点）が多く出現する。そこで、全体の 3D マップをリアルタイムに更新、各特徴点には、時間的安定性および位置的安定性の 2 つの属性を持たせ、この属性もリアルタイムで更新、2 つの属性を考慮に入れた 3D 位置検出処理などにより、動的特徴量に対応する基本方式を設計した。

臓器（例えば食道や胃）の場合、データは、カメラ画像が得られ、UbiC3D の方法で、特徴点の 3D マップが得られる。これに加え、MRI データから直接 3D マップが得られる場合、超音波エコー画像を処理して得られる場合もある。いずれにおいても、全体 3D マップを構成した時点と、微小な 3D マップ撮影時点では、臓器の形が変わっており、従来手法での特徴点間の距離、角度など絶対値に依存したマッチングでは対応できなかった。そこで、絶対値ではなく、相対値、順序値、トポロジーを表す値、特徴点付近のテクスチャ、色合いなどのデータなどにより、非剛体的な特徴量に対応する基本方式を設計した。また、絶対値でなく、相対値、順序値、トポロジー、テクスチャ、色合いを用いた場合の精度推定モデルを作成した。許容する非剛体性の程度を大きくすれば、精度が落ちることが予想されるが、テクスチャ、色合い情報の活用でどの程度、精度の低下が抑えられるかを検証した。その後、非剛体対応可能な特徴量、非剛体精度推定・保証を行うアルゴリズムの具体化を進め実装を行った。

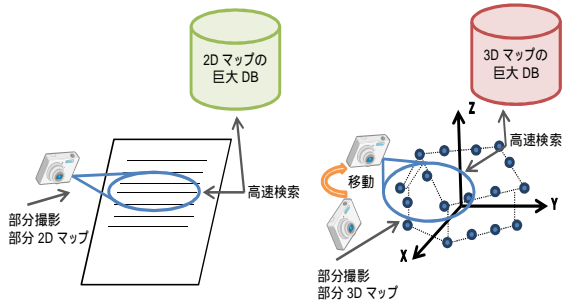


図7 3D-3D マッチングによる位置検出

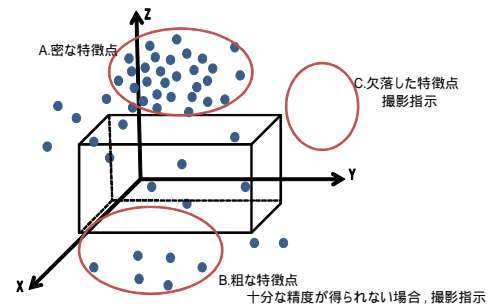


図8 精度推定・保障

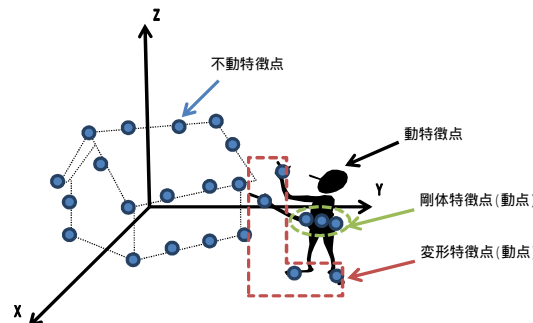


図9 特徴量の多様化

次に、具体化されたアルゴリズムを用いて、非剛体精度推定のシミュレーションによる検証、誤差分布解析、それを補完するアルゴリズムの検討を進めた。実際の医療場面に現れる非剛体臓器を対象にした評価を行い、方式の改良方式を検討した。

(2) 研究テーマB：実用的拡張現実システムによる実証評価

(1)で実現する3D位置検出アルゴリズムを用いて、手術室内利用可能な医療ARシステムを実現し実際の手術室での試用実験を行うための、手術室用医療ARシステムの実現に必要なHMDや画像処理装置などの要求スペックを分析し、ハードウェアなどのシステム設計を行った。

手術室は動的環境であるため、視覚情報による位置検出の統計的な誤差分布解析を行い、それを補完する磁気等を用いた手法について検討を行った。磁気を用いた手法は超音波機器等の影響に弱いことが判明したため、加えて、光学的な手法による位置検出を加え評価を進めた。

実際の医療場面での利用形態に基づき仕組みの利用しやすさの評価を行い、設計の改良方式を検討した。加えて、実際の医療現場での動的な位置変更を想定した評価を行い、手法の改良方式を検討した。

(3) 研究テーマC：協調的3D位置検出手法の汎用化

Society5.0、超スマート社会の構成要素として本システムを実現するために、多数の手術室間の連携を可能とすることを目的とし、各機能をWEB-APIベースで公開・連携できる新たな仕組みの基本設計を行った。

動的環境である手術室に対応可能な3D位置検出方法の汎用ソフト化の基本機能として組み込み方法を、加えて、非剛体的な臓器に対応可能な3D位置検出方法の汎用ソフト化の非剛体対応拡張機能として組み込み方法を検討した。

また、手術室用医療ARシステムの実装・評価と汎用化に関して、汎用ソフトとしての基本機能、拡張機能、連携機能の設計および検討を行い全体構成をまとめた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松本 紀子, 小坂 忠義, 中島 洋平, 櫻田 崇治, 田野 俊一	4. 巻 Vol.10, No.3
2. 論文標題 拡張現実技術を用いた物流ピッキング作業支援システムの開発とHMD表示画角の影響の分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム	6. 最初と最後の頁 11-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 大塚 康平, 田野 俊一, 橋山 智訓, 松本 紀子
2. 発表標題 VRを利用した光学シースルーHMDシミュレーションによる外界透過率と表示透過率の最適値導出について
3. 学会等名 ファジィシステムシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大塚 康平, 田野 俊一, 橋山 智訓, 松本 紀子
2. 発表標題 VRを利用した光学シースルー HMDシミュレータの実装および外界透過率と表示不透明度の視認性に対する影響調査
3. 学会等名 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本紀子, 小坂忠義, 中島洋平, 櫻田崇治, 尾崎友哉, 田野俊一
2. 発表標題 物流における拡張現実技術を用いたピッキング作業支援システムの開発
3. 学会等名 情報処理学会 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱治伴典, 田野俊一, 岩田満, 市野順子
2. 発表標題 シームレスな光学・ビデオスルー方式HMDにおけるAR情報提示技術実装の検討
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤卓, 田野俊一, 濱治伴典, 市野順子, 岩田満
2. 発表標題 HMDを用いた直感的な3次元視線入力システムの設計と実用性の検討
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiko Matsumoto, Tadayoshi Kosaka, Koji Ara, Issei Suemitsu, Tetsuhiro Horita, Shunichi Tano
2. 発表標題 Design of Presentation Method and Effects of Warehouse Visualization Tool using AR
3. 学会等名 SICE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiko Matsumoto, Tadayoshi Kosaka, Takaharu Sakurada, Yohei Nakajima, Shunichi Tano
2. 発表標題 Picking Work Using AR Instructions in Warehouse
3. 学会等名 IEEE GCCE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本紀子, 大塚康平, 田野俊一
2. 発表標題 物流ARピッキングシステムにおけるHMD表示画角の影響の分析
3. 学会等名 電子情報通信学会, MVE2019-82
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川 大純, 猪膝 孝之, 田野 俊一, 市野 順子, 岩田 満, 森 真吾, 井出 将弘
2. 発表標題 複数人で行うアイデア創出に対するAR環境の適用とその評価
3. 学会等名 ファジィシステムシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 有里佳, 田野 俊一, 橋山 智訓, 市野 順子
2. 発表標題 単一の味刺激に視覚刺激と触覚刺激を複数与えることによる疑似的な食体験再現システムの提案
3. 学会等名 ファジィシステムシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱治 伴典, 田野 俊一, 岩田 満, 市野 順子
2. 発表標題 シームレスな光学・ビデオスルー方式HMDの提案とAR情報提示制御の最適化
3. 学会等名 ファジィシステムシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川大純, 田野俊一, 市野順子, 森 真吾, 大島昇時
2. 発表標題 複数人で行うアイデア創出に対するAR環境の適用とその評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 (MVE)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本有里佳, 田野俊一, 橋山智訓, 市野順子
2. 発表標題 単一の味刺激に視覚刺激と触覚刺激を複数与えることによる擬似的な食体験再現システム
3. 学会等名 電子情報通信学会 ヒューマン情報処理研究会 (HIP)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 猪膝 孝之, 田野 俊一, 橋山 智訓, 丸谷 大樹
2. 発表標題 複数人で使用可能な3Dアイデアノートシステムの提案
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋口 大地, 田野 俊一, 橋山 智訓, 丸谷 大樹
2. 発表標題 3DスケッチシステムにおけるON/OFFインタラクションの検討
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 猪膝 孝之, 田野 俊一, 橋山 智訓, 丸谷 大樹, 市野 順子, 森 真吾, 井出 将弘
2. 発表標題 数人で使用可能な3Dアイデアノートシステムの提案と実装
3. 学会等名 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 口 大地, 田野 俊一, 橋山 智訓, 市野 順子, 丸谷 大樹
2. 発表標題 3DスケッチシステムにおけるON/OFFインタラクションの分析・提案・評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田野 俊一 (監修 暦本 純一)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 11
3. 書名 オーグメントッド・ヒューマン 第3編 第1章4節 医療用ARシステム	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	橋山 智則 (Hashiyama Tomonori) (70283405)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授 (12612)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	三木 健司 (Miki Kenji) (20386014)	日本大学・医学部・講師 (32665)	
連携研究者	岩田 満 (Iwata Mitsuru) (40323886)	東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・准教授 (52605)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関