

令和元年6月10日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03070

研究課題名(和文) 携帯端末を用いた実世界協調センシングによる創造的学習支援環境の構築と評価

研究課題名(英文) A Learning Environment that Enhances Creativity through Real-world Collaborative Sensing using Mobile Devices

研究代表者

杉本 雅則 (Sugimoto, Masanori)

北海道大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：90280560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：携帯端末を入力デバイスとし、各学習者の協調的な実世界センシングにより学習素材を収集、統合できるシステムを構築した。本研究の成果は以下の通りである。(1)提案システムの開発：照明を用いたスマートフォンの高精度時刻同期、および音響信号を用いたスマートフォンの3次元高精度位置認識、各スマートフォンから得られる映像情報を用いた3次元再構築とモーションキャプチャシステムを実装した。(2)評価および成果発表：提案システムの性能比較実験およびユーザスタディを実施した。各要素技術、その統合システムを用いた応用、評価等、各トピックに関する研究成果についての報告を、学会発表や雑誌論文等で実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

積極的な学習者(active learner)としての活動を強化するため、自身が学習素材を取得し、互いに協調しつつそれを編集することで、学習コンテンツを作成できる創造的学習支援環境の構築である。スマートフォン等の個人向け携帯端末で実現できる点で有用性は高いと言える。さらに、携帯端末間の高精度時刻同期技術、屋内での3次元位置認識技術、それらの技術に統合することによる3次元形状復元およびモーションキャプチャシステムは、技術的難易度が高く挑戦的な研究である。他分野への応用も考えられ学術的な意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：A system that allows users to collaboratively collect and create learning materials through real-world sensing technologies using mobile devices. Achievements of the project are summarized as follows:

1. System development: A highly-precise time-synchronization technique between smartphones using illuminations and that for 3D localization of smartphones using acoustic signals are investigated. By using these techniques, a 3D reconstruction and motion-capture system by integrating multiple smartphone built-in cameras are implemented.
2. System evaluation and research outcomes presentation: The performance evaluations of the proposed system and user studies were conducted. Research outcomes were presented in academic meetings and published in a journal paper.

研究分野：情報工学

キーワード：モバイル協調学習支援 携帯端末 実世界センシング

1. 研究開始当初の背景

平成 23 年 4 月改訂(小学校)の新学習指導要領では、“「生きる力」を育むという理念のもと、知識や技能の習得とともに思考力・判断力・表現力などの育成を重視”することを謳っている。(http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/index.htm)。申請者らは、これまでの科研費研究(H25-27 基盤 B、H22-24 基盤 B、H21-22 萌芽)において、協調的なストーリー作成支援システムとその評価を実施した。そして、実世界での他者や人工物との身体的なインタラクションによる学習体験の強化と学習者自身による学習コンテンツ作成が、論理的思考や表現力の向上に効果的であることを示した([1]など)。

2. 研究の目的

本申請では、爆発的に社会に普及したスマートフォンやタブレット PC(以下では、携帯端末と称する)をセンシングデバイスとして用いて素材を収集し、学習者が協調的に学習コンテンツをデザインする活動を支援するシステムを構築する。これまでの科研費研究の課題を踏まえ、使用機材の可搬性や usability に配慮するとともに、実世界や他者との身体的なインタラクションによる学習体験の効果を維持、強化することを目指すこととした。携帯端末、特にスマートフォンは短期間でその性能が急速に向上している。また常時携帯されるため、ユーザの多様なニーズや状況に対応できるよう、いくつかのセンサが搭載されている。携帯端末を複数台連携させセンサアレイとして実世界センシングを行う試みは、計算機科学の分野で近年注目されている研究の 1 つである[2,3]。申請者らもスマートフォンを対象とした 3 次元音響測位[4]、複数デバイスの高速度高精度時刻同期[5]等の研究を行い、世界最高レベルの性能を実現するとともに特許出願している[6]。さらに、本科研で構築するシステムに要求される 3 次元形状認識[7]、キャラクターアニメーションの生成・編集技術[8,9,10]等を独自に開発している。本申請では、申請者らが有する上記の基盤技術を拡張、統合することにより、3 次元再構成やモーションキャプチャシステムへと統合することで、創造的学習支援環境研究の展開、深化を目指す。

3. 研究の方法

本研究はシステム開発とその評価の 2 つに分かれる。以下では 3 次元再構成およびモーションキャプチャシステムの開発を中心に述べる。本システムは屋内設置の照明および音響装置、スマートフォン搭載のマイクロフォンおよびカメラで実現することで、設置コストを極力抑え、教育現場での実装ならびに運用を容易にする。提案システムに求められる基盤技術は、A)各スマートフォンの高精度 3 次元位置推定、および B)複数スマートフォン間の高精度時刻同期、である。

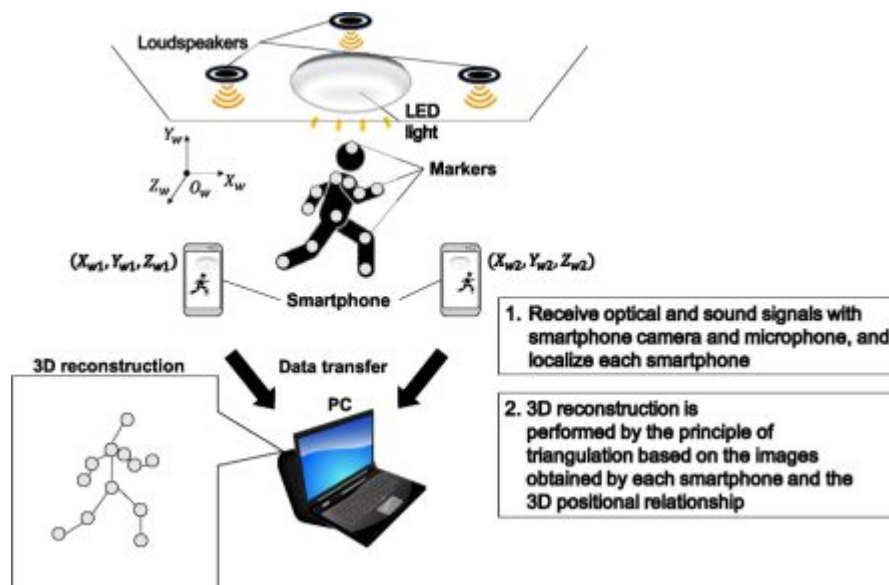


図 1 モーションキャプチャシステムの概要

A) スマートフォン高精度 3 次元測位

スマートフォンの測位には、次に述べる光信号と音響信号を使用した ToA(Time-of-Arrival)測位手法を使用する。この手法では、スマートフォンと送信機との間で同期を行うために光信号を用い、光信号と時刻同期が取れた音響信号がスピーカより送信される。これらの信号はスマートフォンに搭載されたカメラとマイクロフォンでそれぞれ受信される。図 1 に示すように、送信機は 1 つの LED 照明と 3 つのスピーカで構成されている。ここで、光信号の周波数はカメ

ラのフレームレートの3分の1に設定されている。光信号の位相は申請者らが考案した独自手法[11]により検出され、送信機とスマートフォン間の時刻同期の基準点として使用される。各スピーカから送信される音響信号は、周波数が異なる2つの正弦波を重畳させた信号となっており、FDM-PAM[13]と呼ばれる独自手法を用いることでその受信時刻を検出し、スピーカとスマートフォンとの間の距離を推定する。3つのスピーカを用いたToA 三辺測量により、スマートフォンの3次元位置を特定することができる。

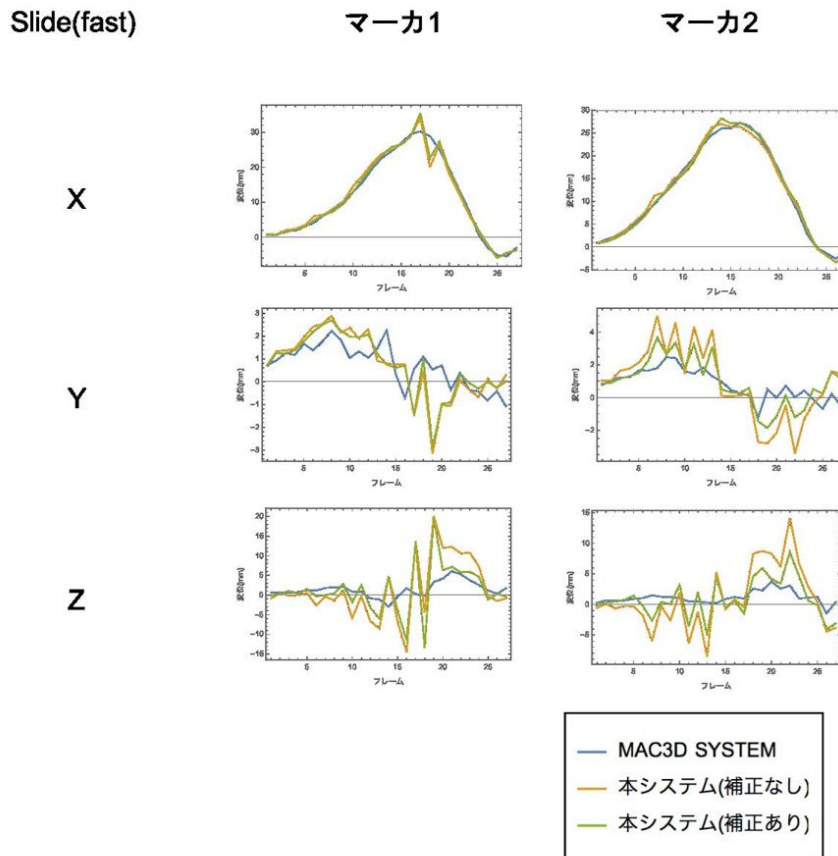


図2 提案システムと市販システムの比較

B) 屋内照明とカメラを用いた時刻同期手法

音響信号の伝搬時間を求めるためには音響信号のスピーカからの送信時刻を求める必要がある。音速の100万倍の速度で伝搬する電磁波無線信号をトリガとする時刻同期手法が無線センサネットワークで用いられるが、実時間0Sを実装していないスマートフォンでは受信時の割り込み処理に遅延が発生するため、送信時刻の正確な推定はほぼ不可能である。

そこで、本研究ではスピーカと同期されたLED照明から送信される光信号により送信時刻を求める。具体的には、まずLED照明からカメラ周期の3分の1の周波数(例えば60fpsカメラの場合20Hz)の矩形波を送信する。スマートフォン搭載のカメラでは取得された3枚の画像を基に仮想正弦波を構成し、その位相を得る。ここでの位相は送信時刻とカメラシャッタータイミングのずれを示す。したがって、スマートフォンカメラでビデオ録画された画像および音声信号を基に、音響信号の伝搬時間を求めることができる。提案手法の技術的な詳細は、[12]に記載されている。

C) 3次元再構築およびモーションキャプチャシステム

上記A)およびB)により、複数スマートフォンの3次元位置(加速度センサや磁気センサ等を使用することによりポーズ推定も可能)および撮影画像のシャッタータイミングを取得できる。よって、コンピュータビジョン分野での既存手法を用いた複数視点カメラからの3次元再構築が可能となる。一方、移動物体を対象としたモーションキャプチャの場合、シャッタータイミングのずれが問題となる。そこで、本研究では、複数カメラ間のシャッタータイミングのずれを線形補間により補正することで、各時点でのトラッキング対象の位置を推定した。

2つのマーカのモーショントラッキング結果を市販の高精度モーションキャプチャシステム(6台の高速カメラで構成、リファレンスとして利用)および提案システムとで比較したのが図2である。市販システムとのずれは、ほぼ10mm以下に抑えられていること、補正により推定性能

が向上していることが分かる。

4 . 研究成果

具体的な本研究の成果は以下の通りである。

- ・創造的学習支援環境実現のための基盤技術の開発：複数のスマートフォンを連携させることによる実世界 3 次元センシングは技術的には世界でもまだ実現されていない挑戦的な研究課題である。本科研費研究では、照明を用いたスマートフォンの高精度時刻同期、および音響信号を用いたスマートフォンの 3 次元高精度位置認識の技術を確立した。次に、各スマートフォンから得られる映像情報を用いた 3 次元再構築とモーションキャプチャシステムを実装した。
- ・提案システムの評価：上記の要素技術の性能評価を実施した。次に、各技術の統合により構築されたシステムの評価のため、高機能モーションキャプチャシステムをリファレンスシステムとして導入し、性能比較実験を行った。さらに、学校教育現場での利用のため、提案システムのユーザスタディを実施した。
- ・研究成果発表：各要素技術、その統合システムを用いた応用、評価等、各トピックに関する研究成果についての報告を、学会発表や雑誌論文等で実施した。

<参考文献>

- [1] Sugimoto, M.: A Mobile Mixed Reality Environment for Children's Storytelling using a Handheld Projector and a Robot, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(3), pp.249-260 (2011).
- [2] Sur, S., Wei, T., Zhang, X.: Autodirective Audio Capturing Through a Synchronized Smartphone Array, In *Proc. of ACM MobiSys 2014*, Bretton Woods, NH, pp. 28-41 (2014).
- [3] Latimer, R., Holloway, J., Veeraraghavan, A., Sabharwal, A.: SocialSync: Sub-Frame Synchronization in a Smartphone Camera Network, In *Proc. of ECCV'14 Workshop on Light Fields for Computer Vision*, pp. 561-575 (2014).
- [4] Nakamura, M., Akiyama, T., Sugimoto, M., Hashizume, H.: 3D FDM-PAM: Rapid and Precise Indoor 3D Localization using Acoustic Signal for Smartphone, In *Proc. of UbiComp 2014*, pp.123-126 (2014).
- [5] Kumaki, H., Sugimoto, M., Saito, T., Akiyama, T., Hashizume, H.: A Rapid and Accurate Time-synchronization Technique for Acoustic Localization Using Modulated Illumination, In *Proc. of IEEE IPIN2015*, DOI:10.1109/IPIN.2015.7346963 (2015).
- [6] 橋爪, 杉本, 秋山: 同期タイミング検出システム及び検出方法、測距システム及び測位システム, 特許出願 2014-216549 (2014 年 10 月 25 日), 国内, 出願中.
- [7] Dao, V.N., Sugimoto, M.: A Dynamic Geometry Reconstruction Technique for Mobile Devices Using Adaptive Checkerboard Recognition and Epipolar Geometry, *IEICE Trans. on Info. & Syss*, E94-D(2), pp.336-348 (2011).
- [8] Pantuwong, N., Sugimoto, M.: A Novel Template-Based Automatic Rigging Algorithm for Articulated-Character Animation, *Computer Animation and Virtual Worlds*, Vol. 23, Issues 2, pp.125-141 (2012)
- [9] Pantuwong, N., Takahara, K., Sugimoto, M A Rapid Motion Retrieval Technique using Simple and Discrete Representation of Motion Data, In *Proc. of IEEE ICITEE 2015*, Chiang Mai, Thailand, pp.70-75 (2015).
- [10] Takahara, K., Pantuwong, N., Yoshikawa, T., Nonaka, H., Sugimoto, M.: An Iterative Motion Retrieval and Synthesis Technique Using a Multi-Touch Device, In *Proc. of Motion in Games 2013*, Dublin, Ireland (2013).
- [11] 中村, 秋山, 杉本, 橋爪: 音響信号を用いたスマートフォンの高速・高精度屋内 3 次元位置認識手法, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.11, pp. 2489 - 2500 (2016) .
- [12] Akiyama, T., Sugimoto, M., Hashizume, H. :Time-of-arrival-based Indoor Smartphone Localization Using Light-synchronized Acoustic Waves, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol.E100-A, No.9, pp.2001-2012 (2017).

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

1. 嶋田, 橋爪, 杉本: CMOS イメージセンサを用いた OFDM 高速可視光通信, 電子情報通信学会論文誌 (2019, 印刷中, 査読あり).
2. Akiyama, T., Sugimoto, M., Hashizume, H. :Time-of-arrival-based Indoor Smartphone Localization Using Light-synchronized Acoustic Waves, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol.E100-A, No.9, pp.2001-2012 (2017, 査読あり).
3. Sugimoto, M., Kumaki, H., Akiyama, T., Hashizume, H.: Optimally Modulated Illumination for Rapid and Accurate Time Synchronization, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.65, No.2, pp.505-516 (2017, 査読あり).
4. 中村, 秋山, 杉本, 橋爪: 音響信号を用いたスマートフォンの高速・高精度屋内 3 次元位

置認識手法, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.11, pp. 2489 - 2500 (2016, 査読あり) .

5. 中村, 秋山, 杉本, 橋爪: 可聴周波数帯域を用いることによるスポット制御可能な情報伝送手法, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.11, pp. 2501 - 2514 (2016, 査読あり) .

〔学会発表〕(計17件)

1. Uno, K., Hirano, A., Hashizume, H., Sugimoto, M.: Illegal Photograph Detection under Modulated LED Illumination, In *Proceedings of IEEE PerCom 2019*, Kyoto, Japan, 2019.
2. 宇野, 平野, 橋爪, 杉本: 変調光 LED 照明下における違法撮影画像の検出手法の提案, 情報処理北海道シンポジウム 2018, 北見, 北海道, 2018年10月 .
3. Shimada, S., Hashizume, H., Sugimoto, M.: Indoor Positioning Using Reflected Light and a Video Camera, In *Proceedings of IEEE IPIN 2018*, Nantes, France, pp. 1-8, 2018.
4. Murakami, H., Nakamura, M., Yamasaki, S., Hashizume, H., Sugimoto, M.: Smartphone Localization using Active--Passive Acoustic Sensing, In *Proceedings of IEEE IPIN 2018*, Nantes, France, pp. 1-8, 2018.
5. Murakami, H., Hashizume, H., Sugimoto, M.: Smartphone Inertial Sensor-based Indoor Localization using Acoustic Signal, In *Proceedings of IEEE IPIN 2017*, Sapporo, Japan (2017).
6. Kamada, M., Hashizume, H., Sugimoto, M.: GPS Signal Generation Platform for Seamless Localization, In *Proceedings of IEEE IPIN 2017*, Sapporo, Japan (2017).
7. Akiyama, T., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Time-of-arrival-based Smartphone Localization Using Visible Light Communication, In *Proceedings of IEEE IPIN 2017*, Sapporo, Japan (2017).
8. Kudo, K., Akiyama, T., Hashizume, M., Sugimoto, M.: Multicamera Synchronization for Smartphones using Optimally Modulated Illuminations, In *Proceedings of ACM MobiSys2017*, Niagara Falls, NY, p.148 (2017).
9. (招待講演) 杉本, 橋爪: Augmented Indoors: Another AI Technology for Our Life, 情報処理学会第168回コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会, 北海道大学, 札幌, 2017年11月.
10. 村上, 橋爪, 杉本: 音響信号を用いた頑健かつ高精度な PDR, 情報処理北海道シンポジウム 2017, 札幌 (2017年10月) .
11. 寺本, 橋爪, 杉本: LED 照明を用いた複数スマートフォンカメラ間時刻同期の検討, 情報処理北海道シンポジウム 2017, 札幌 (2017年10月) .
12. (招待講演) 杉本, 橋爪: 音響信号を用いることによる屋内測位技術, DICOMO 2017 シンポジウム, 定山溪, 札幌, 2017年6月
13. Nakamura, M., Akiyama, T., Hashizume, M., Sugimoto, M.: A Spot-controllable Data Transfer Technique Using COTS Speakers, In *Proceedings of IEEE IPIN2016*, Madrid, Spain, 1-8, DOI: 10.1109/IPIN.2016.7743651 (2016).
14. Kumaki, H., Akiyama, T., Hashizume, M., Sugimoto, M.: 3D Indoor Positioning and Rapid Data Transfer Technique using Modulated Illumination, In *Proceedings of IEEE IPIN2016*, Madrid, Spain (2016).
15. 熊木, 秋山, 橋爪, 杉本: 汎用カメラと LED 照明を用いた高速データ通信・屋内 3次元測位システム, 情報処理北海道シンポジウム 2016, 釧路 (2016年10月) .
16. 熊木, 秋山, 橋爪, 杉本: 変調光を用いた高速データ通信と屋内 3次元測位, 電子情報通信学会ソサイエティ大会後援論文集, 札幌, 北海道 (2016年9月) .
17. 嶋田, 秋山, 橋爪, 杉本: 汎用動画カメラを用いたフリッカレス高速可視光通信, 電子情報通信学会ソサイエティ大会後援論文集, 札幌, 北海道 (2016年9月) .

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計1件)

名称: 情報送信装置、情報受信装置、情報伝送システム及びプログラム

発明者: 橋爪、杉本、秋山、熊木、嶋田

権利者: 橋爪、杉本、秋山、熊木、嶋田

種類: 特許

番号: 2017-135654

出願年: 2017

国内外の別: 国内

取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：稲垣 成哲

ローマ字氏名：INAGAKI, Shigenori

所属研究機関名：神戸大学

部局名：大学院人間発達環境学研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：70176387

(2)研究協力者

研究協力者氏名：橋爪 宏達

ローマ字氏名：HASHIZUME, Hiromichi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。