

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2012～2016

課題番号：24220004

研究課題名(和文)複合現実型情報空間の表現力基盤強化と体系化

研究課題名(英文)Systematizing and Consolidating a Technological Basis of Mixed and Diminished Reality Space

研究代表者

田村 秀行(Tamura, Hideyuki)

立命館大学・総合科学技術研究機構・教授

研究者番号：10367998

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 166,500,000円

研究成果の概要(和文)：現実と仮想を融合した複合現実(MR)型情報空間の表現力を増すため、2つのアプローチで技術基盤の強化と体系化を図った。1つは「視聴覚併用MR空間」の高度化で、独自の「音像プラネタリウム方式」を全天周映像&音像空間に導入し、複数音源の構築、移動音源や残響感の制御を可能にした。もう1つは、実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する「隠消現実感」の基盤構築で、体系的実験が可能な専用スタジオを設置し、複雑な背景や異なる日照条件にも適応できる基幹技術を開発した。また、複数手法を客観的に比較評価するための「共通データセット」を設計・開発し、一般公開した。

研究成果の概要(英文)：In two approaches, we studied on consolidation and systematization of technological basis of mixed reality (MR) space where real and virtual worlds are merged. The first approach is an advanced study of the audio-visual multi-modal MR space. We applied our original "Acoustic Planetarium Method" to dome-type theater for producing flexible 3D sound field. In this environment, the construction of multiple sound sources and the control of moving sound images and reverberations are accomplished. The second approach is to build a foundation for DR (Diminished Reality) which is a technology for visual removal and hiding of real objects in the scene. We constructed the DREAM studio dedicated to systematic DR experiments and developed core technology applicable to a scene with complex background and/or in various light conditions. Furthermore, we have designed, developed and made public the "common dataset" for comparative studies of many DR methods in the future.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：人工現実感 複合現実感 三次元音場 全天周映像 隠消現実感

1. 研究開始当初の背景

複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術は、人工現実感 (VR) の発展形であり、実世界を対象とした「新しい情報提示技術」である。拡張現実感 (Augmented Reality; AR) と呼ばれることもある。多方面から AR/MR への期待が高まる中で、限られた対象や環境下でしか威力を発揮できなかった従来技術の限界を打破し、かつ豊かな表現力をもつ MR 空間の構築方法が求められていた。

2. 研究の目的

安易な応用に走るよりも、技術基盤を強化し、発展性のある技術体系の構築に繋がることを第一義とし、大きく 2 つの方向からの発展を志向する。1 つは視覚的 MR と聴覚的 MR を同時に達成する視聴覚併用 MR 空間の表現力強化である。この研究を推進できる世界唯一の研究グループとして、高臨場感体験を可能にする抜本的な改良に挑戦する。

もう 1 つの研究方向は、現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去する「隠消現実感 (Diminished Reality; DR)」に取り組むことで、MR 技術自体の質的向上を図ることである。研究代表者らが提唱したこの概念を、当該分野の次世代挑戦課題と位置づけ、その嚆矢となる研究開発で世界を先導する。

3. 研究の方法

(1) テーマ (A) 「没入型映像 & 音響空間での高臨場感 MR 体験」: 独自の「音響プラネタリウム方式」による 3D 音響定位を発展させ、視聴覚併用 MR 空間での高臨場感体験を可能にする。全天周型映像 & 音響空間 (図 1) を構成し、音響的には、音響定位位置の距離制御、残響感の向上、移動音の実現、複数人同時体験等の諸問題を解決する。映像的には、ドーム壁面での背景映像表示とシースルー型 HMD による MR 表示併用方式を採用する。

(2) テーマ (B) 「隠消現実感の要素技術開発と技術体系構築」: DR は MR の発展形であり、より困難な達成課題である。視覚的な DR を対象物体の隠背景映像重畳問題 (図 2) として扱い、各種要素技術開発と系統的实验によって当該技術の体系化を行う。本テーマは、さらに (B-1) 静的な隠背景が対象の場合、(B-2) 動的な隠背景が対象の場合、に大別して研究を行う。様々な状況での隠背景情報を得て系統的实验が行えるよう、カメラ移動機構を有する DR 実験専用スタジオを設ける。



図1 全天周型視聴覚 MR 空間のイメージ図

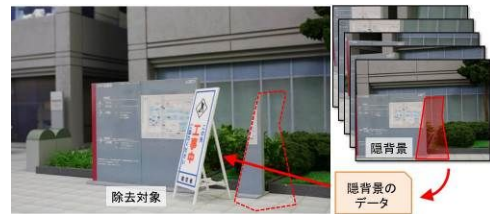


図2 隠背景映像重畳による実物体の消去

4. 研究成果

(1) テーマ (A): 高臨場感視聴覚 MR 空間
ドーム壁面による音響構築と床面による不要反射音の吸音を実現した。さらに床下に設置した間接スピーカによる残響感の制御を可能にした。また平成 27 年度には図 3 に示すようにドーム天井にもベースユニットを増設することで、「ダブル音響プラネタリウム方式」を開発し、音響の表現能力を飛躍的に向上させた。



図3 ダブル音響プラネタリウムユニット

放射板形状の模索・設計とそれに基づく移動音の表現法も開発し、アレー信号処理を用いた移動音の高臨場表現を可能にした。平成 27 年度には図 4 に示すフレキシブルパラメトリックスピーカ (放射面を制御することで可変指向性を実現) の開発に成功し、放射特性を自由に制御できる画期的なスピーカデバイスの開発に成功した。

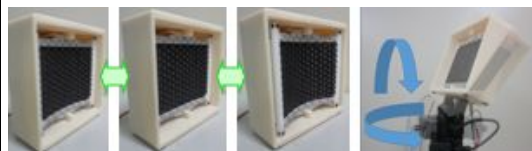


図4 フレキシブルパラメトリックスピーカ

最後に複数台のパラメトリックスピーカを用いて、空間のある 1 点にだけ音を届ける極小領域オーディオスポットの構築に世界で初めて成功した (図 5)。図 4 のフレキシブルパラメトリックスピーカも併用することで、2cm 四方から 45cm 四方のピンスポットオーディオ空間の構築を実現した。

世界唯一、視聴覚併用 MR 技術を研究するグループとして、広報も含め、その責任を全うする先端的な研究開発が達成できた。

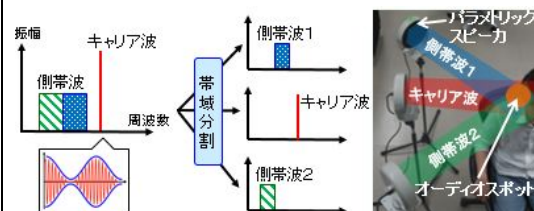


図5 極小領域オーディオスポット

(2) テーマ (B-1)：静的な隠背景の DR

平面近似が可能な隠背景を対象に、除去対象領域周辺の領域を周辺参照領域として定義し、隠背景再構成結果の位置ずれ、画質ずれを軽減するモデルを確立した。続いて、平面近似が難しい隠背景に対して、幾何形状を利用しない Light Field Rendering (LFR) を DR に応用することで解決を図った(図 6)。隠背景平面拘束を緩和するという観点から、事前取得した簡易な背景の幾何形状と多視点画像を利用して、カメラ位置姿勢推定と画質ずれの軽減を実時間で同時達成する機構を開発した。



図 6 LFR を用いた DR 処理 (右が処理後)

本テーマでは静的な背景を対象とした手法の開発を行ってきたが、(B-2) 班の研究成果を取り込むことで、これまでの高精度な静的背景の再構成に加え、動的な剛体を含む背景に対処可能な新手法への拡張も行った。この研究成果は国内会議で発表し、奨励賞受賞という形で高評価を得た(図 7)。



図 7 隠背景が動物体を含む場合の DR 処理

実証実験の一環として、DR 手法を MR 型映画制作支援システムに組み込むことになった。屋内外での実地テストを行い、DR 機能が有効利用できることを確認した(図 8)。このシステムでは、ユーザが選択した除去対象領域と保存された隠背景データに基づき、多種の手法を切り替えられるよう工夫している。本システム開発と実験で、これまでに開発した DR 手法が、実用レベルに達していることが実証された。



図 8 屋外での DR 処理 (工事中の看板を除去)

DR 技術全体の体系化を目指し、系統的なデータ取得が可能な DREAM (Diminished Reality as Extension of AR/MR) スタジオを構築した。この DR 実験専用スタジオでは、実物大セット、1/12 ミニチュアセットが設置されている。ロボットアームの先端部に付けたカメラの移動制御が可能であり、様々なデータを収録することができる(図 9)。

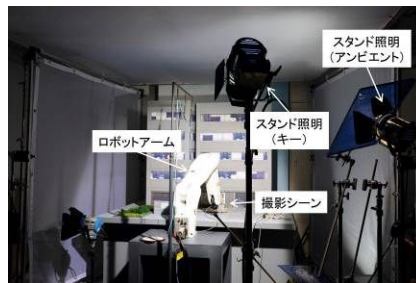


図 9 DREAM スタジオでのミニチュア撮影

(3) テーマ (B-2)：動的な隠背景での DR

(B-1) 班同様、隠背景が平面近似可能な条件下から始め、平面近似が困難な隠背景を対象にした DR 表示の研究へと発展させた。まず RGB-D カメラを利用することで隠背景の 3 次元形状情報を DR 表示し、これをスマートフォン等のモバイル端末上で動作させることで、インタラクティブに隠背景を指定して再構成する領域を指定可能にした。さらに、動的に任意形状に変化する隠背景に対しても DR 処理を実時間処理により実現するシステムを構築した(図 10)。



図 10 動的な背景に対する DR 処理結果 (右)

この RGB-D カメラを利用した DR を、ミュンヘン工科大学が開発した AR マジックミラーシステムに利用し、対象部位の一部を消去した表示(図 11)へと発展させた。

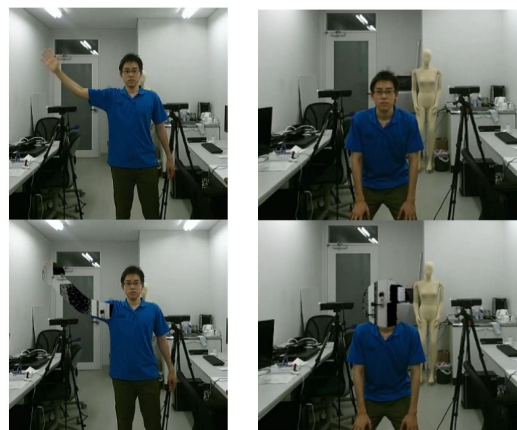


図 11 対象人物の一部を消去した DR 処理結果
上：原画像 下：DR 処理画像

一方、複数の固定カメラで隠背景を多視点撮影する DR 表示手法の研究では、固定複数カメラ画像と観察者視点カメラ画像間のマッチングを利用することにより、照明変動や物体の鏡面反射の影響を受けない観察者視点位置推定法を新規開発した。さらに、(B-1) 班が進めてきた「LFR による DR 処理」を利用し、道具を利用した手作業等で、動的に変化する作業対象を道具が隠蔽する問題

を DR により解決するシステムを開発した。
 また、遮蔽物が動的に変化する場合の DR 処理の研究にも取り組んだ。手持ちカメラで撮影した画像シーケンスから、移動している人物や物体を消し、隠背景だけの連結画像を生成する技術を開発した。さらに本技術を用いて、移動物体の時間変化状況を連続的に表示したストロボ画像生成手法として活用する研究へと発展させた(図 12)。



図 12 DR 処理を利用したストロボ画像生成結果

(4) 研究基盤の構築と啓蒙活動

研究期間の後半、(B-1) 班、(B-2) 班は互いの研究成果を交換し、人事交流も果たして、サブテーマ間の垣根をなくし、DR 研究基盤の構築に務めた。この DR 研究中に、従来の AR/MR 研究の中心テーマであった「移動カメラの位置姿勢推定技術」の高度化の必要性を痛感し、そこにも研究パワーを割き、数多くの新規手法(例、テクスチャ付き 3D モデルや線分特徴を利用した手法)を開発した。

Only One 研究であるテーマ (A) がマスメディアを介した広報に注力したのに対して、テーマ (B) は当該研究社会を先導・牽引することを目標とした。このため、最高峰の国際会議 ISMAR で論文発表、技術展示するだけでなく、会議付属の Tutorial 1 回、Workshop 2 回を本研究組織と併催することにより、DR 概念の浸透、若手研究者の啓蒙にも尽力した。また国内では、2017 年 3 月 13 日に研究成果報告会を兼ねたセミナー(於、慶應義塾大学日吉キャンパス)を開催した。

テーマ (A)、テーマ (B) とともに、こうした広報活動が契機となり、複数の民間企業との共同研究が生まれている。本基盤研究の成果から、その実用化に向けての多くの可能性を創発することができた。

(5) DR 比較評価用データセットの公開

本基盤研究が、DR を次世代挑戦課題と位置づけたことから、関連研究が活性化している。今後急速に多種多様な DR 処理手法が発表されると予想されるが、大切なのはその客観的な比較評価である。本研究は、当初からそれを見越して、諸条件を 1 つずつ変えての系統的実験が可能(上述の) DREAM スタジオを設置していた。

このスタジオを利用して撮影した手法評価用のデータセットを設計・開発した。体験時視点移動、照明条件等を変えた 8 カテゴリー、計 22 パターンの動画データ(画像系

列)を作成した。価値があるのは、評価真値として、除去対象物体を含まない光景の画像系列が用意されていることである(図 13)。

既に有識者からなる技術諮問委員会に諮り、高い評価を受けている。平成 29 年度第 2 四半期に、この共通データセットをダウンロード可能な形で、一般公開する。



図 13 左: 体験時視点, 右: 評価真値

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 38 件)

S. Mori, S. Ikeda, and H. Saito: A survey of diminished reality: Techniques for visually concealing, eliminating, and seeing through real objects, *IPSJ Trans. on Comput. Vision & Appl.*, 査読有, 2017 (採録決定)
 DOI: 10.1186/s41074-017-0028-1

森尚平, 池田聖, 松木ひとみ, 松永知典, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 隠消現実感体験時の両眼視野不整合に関する考察, *日本VR学会論文誌*, 査読有, Vol. 22, No. 2, 2017 (印刷中)

小森慎也, 生藤大典, 福森隆寛, 中山雅人, 西浦敬信: 曲面型パラメトリックスピーカを用いた壁面移動音像の構築, *信学論(A)*, 査読有, Vol. J99-A, No. 11, 2016, pp. 426 - 429
http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/kiban-s/file/paper/IEICE_j99-a_komori.pdf

李金霞, 斉藤純哉, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 隠消現実感技術を用いた映画制作支援システムの開発と運用, 同上, 査読有, Vol. 21, No. 3, 2016, pp. 451 - 462
https://www.jstage.jst.go.jp/article/tvrsj/21/3/21_451/_pdf

西浦敬信: 高臨場音場再現: パラメトリックスピーカを用いた最新の研究動向, *信学会Fundamentals Review*, Vol. 10, No. 1, 2016, pp. 57 - 64 (招待論文)
 DOI: 10.1587/essfr.10.1_5

S. Mori, Y. Eguchi, S. Ikeda, F. Shibata, A. Kimura, and H. Tamura: Design and construction of data acquisition facilities for diminished reality research, *ITE Trans. on Media Technology and Applications*, 査読有, Vol. 4, No. 3, 2016, pp. 259 - 268
 DOI: 10.3169/mta.4.259

K. Hasegawa and H. Saito: Synthesis of a stroboscopic image from a hand-held camera sequence for a sports analysis, Computational Visual Media, 査読有, Vol. 2, No. 3, 2016, pp. 277 - 289
DOI: 10.3169/mta.4.259

Y. Nakayama, H. Saito, M. Shimizu, and N. Yamaguchi: Marker-less augmented reality framework using on-site 3D line-segment-based model generation, J. Imaging Sci. and Tech., 査読有, Vol. 60, No. 2, 2016, pp. 20401-1 - 20401-24
DOI:10.2352/J.ImagingSci.Technol.2016.60.2.020401

小森慎也, 益永翔平, 生藤大典, 中山雅人, 西浦敬信: フレキシブルパラメトリックスピーカを用いたオーディオスポットの制御, 日本VR学会論文誌, 査読有, Vol. 20, No. 3, 2015, pp. 189 - 198
https://www.jstage.jst.go.jp/article/tvrsj/20/3/20_KJ00010049525/_pdf

田村秀行, 木村朝子: 全天周型視聴覚併用複合現実空間X-Media Galaxy, 映像情報メディア学会誌, Vol. 69, No. 7, 2015, p. 665 - 670 (招待論文)
http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/pdf/150907_X-Media_Galaxy.pdf

本田俊博, 齋藤英雄: RGB-Dカメラによる環境の3次元計測に基づく実時間隠消現実感, 日本VR学会論文誌, 査読有, Vol. 19, No. 2, 2014, pp. 105 - 116
https://www.jstage.jst.go.jp/article/tvrsj/19/2/19_KJ00009395166/_pdf

森尚平, 小向啓文, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 隠消現実感における隠背景平面拘束と周辺参照領域の効果的利用, 同上, 査読有, Vol. 19, No. 2, 2014, pp. 131 - 140
http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/pdf/TVRSJ_MR6_shibata.pdf

松井唯, 生藤大典, 中山雅人, 西浦敬信: キャリア波と側帯波の分離放射によるオーディオスポット形成, 信学論(A), 査読有, Vol. J97-A, No. 4, 2014, pp. 304 - 312 [第30回電気通信普及財団テレコムシステム技術学生賞]
http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/kiban-s/file/paper/IEICE_j97-a_matsui.pdf

Y. Sugibayashi, S. Kurimoto, D. Ikefuji, M. Morise, and T. Nishiura: Three-dimensional acoustic sound field reproduction based on hybrid combination of multiple parametric

loudspeakers and electrodynamic subwoofer, Applied Acoustics, 査読有, Vol. 73, No. 12, 2012, pp. 1282 - 1288
DOI: 10.1016/j.apacoust.2012.03.009

本田俊博, 齋藤英雄: 複数のスマートフォンカメラの協調利用による実時間隠消現実感, 日本VR学会論文誌, 査読有, Vol. 17, No. 3, 2012, pp. 181 - 190
https://www.jstage.jst.go.jp/article/tvrsj/17/3/17_KJ00008229167/_pdf

他, 23件

[学会発表](計298件)

S. Mori, M. Maezawa, N. Ienaga, and H. Saito: Diminished hand: A diminished reality-based work area visualization, IEEE Virtual Reality 2017, Demo, Los Angeles, USA (2017.3.20)

H. Tamura and H. Saito: Recent progress in diminished reality as extension of AR/MR technology, 1st Int. Workshop on Mixed and Augmented Reality Innovations (MARI2016), Launceston, Australia (2016.11.29) [Invited Talk]

N. Ienaga, F. Bork, S. Meerits, S. Mori, P. Fallavollita, N. Navab, and H. Saito: First deployment of diminished reality for anatomy education, 2nd Int. Workshop on Diminished Reality as Challenging Issue in Mixed and Augmented Reality (IWDR2016), Merida, Mexico (2016.9.22)

S. Komori, R. Uemura, D. Ikefuji, T. Fukumori, M. Nakayama, and T. Nishiura: AUDIO-SPOT with flexible parametric loudspeaker, 41st Int. Conf. on Acoustics, Speech & Signal Processing (ICASSP 2016), Shanghai, China (2016.3.23)

D. Ikefuji, M. Nakayama, T. Nishiura, and Y. Yamashita: Weighted double sideband modulation toward high quality audible sound on parametric loudspeaker, 38th Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2013), Vancouver Canada (2013.5.31)

他, 293件

[図書](計3件)

西浦敬信 他, エヌ・ティー・エス出版, 感覚デバイス開発 機器が担うヒト感覚の生・拡張・代替技術, 2014

西浦敬信 他, 講談社, もっと! 科学の宝箱 -もっと! 人に話したくなる 25の「す

「こい」豆知識-, 2014

西浦敬信 他, エヌ・ティー・エス出版,
次世代ヒューマンインタフェース開発の
最前線, 2013

〔産業財産権〕
出願状況(計5件)

名称: 画像表示システム, 画像表示方法及び
コンピュータプログラム
発明者: 柴田史久, 田村秀行, 池田聖
権利者: 学校法人立命館
種類: 特許
番号: 特願 2016-210526 号
出願年月日: 平成 28 年 10 月 27 日
国内外の別: 国内

名称: 画像取得方法, 画像表示システム, 及
びコンピュータプログラム
発明者: 柴田史久, 田村秀行, 池田聖
権利者: 学校法人立命館
種類: 特許
番号: 特願 2016-210519 号
出願年月日: 平成 28 年 10 月 27 日
国内外の別: 国内

名称: 音響システム, 及びこれに用いる媒質
収容具, 並びに, 音響信号の再生方法
発明者: 西浦敬信, 中山雅人, 有吉輝
権利者: 学校法人立命館
種類: 特許
番号: 特願 2016-31263 号
出願年月日: 平成 28 年 2 月 2 日
国内外の別: 国内

名称: パラメトリックスピーカ、信号処理装
置、及び信号処理プログラム
発明者: 西浦敬信, 中山雅人, 小辺亮介
権利者: 学校法人立命館
種類: 特許
番号: 特願 2016-31263 号
出願年月日: 平成 27 年 11 月 2 日
国内外の別: 国内

名称: 音響空間設定方法, パラメトリッ
クスピーカおよび音響システム
発明者: 西浦敬信, 中山雅人, 益永翔平, 生藤
大典
権利者: 学校法人立命館
種類: 特許
番号: 特願 2013-197599 号
出願年月日: 平成 25 年 9 月 24 日
国内外の別: 国内

〔その他〕
マスメディア報道
新聞・雑誌での報道 19件

テレビ・ラジオでの報道 15件

ホームページ等
本基盤研究(S)全体の Web ページ
<http://www.rm.is.ritsumeai.ac.jp/kiban-s/>

DR 研究用共通データセット公開のページ
<http://www.rm.is.ritsumeai.ac.jp/kiban-s/dr-dataset/>

6. 研究組織
(1)研究代表者
田村 秀行 (TAMURA, Hideyuki)
立命館大学・総合科学技術研究機構・教授
研究者番号: 10367998

(2)研究分担者
斎藤 英雄 (SAITO, Hideo)
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号: 90245605

西浦 敬信 (NISHIURA, Takanobu)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 70343275

柴田 史久 (SHIBATA, Fumihisa)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 80314426

大島 登志一 (OSHIMA, Toshikazu)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 40434708

木村 朝子 (KIMURA, Asako)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 20324832

(3)連携研究者
杉本 麻樹 (SUGIMOTO, Maki)
慶應義塾大学・理工学部・准教授
研究者番号: 50517399

池田 聖 (IKEDA, Sei)
立命館大学・情報理工学部・講師
研究者番号: 40432696

中山 雅人 (NAKAYAMA, Masato)
立命館大学・情報理工学部・特任助教
研究者番号: 90511056

橋口 哲志 (HASHIGUCHI, Satoshi)
立命館大学・情報理工学部・特任助教
研究者番号: 70710581

(4)研究協力者
森 尚平 (MORI, Shohei)
慶應義塾大学・理工学部・訪問研究員
研究者番号: 10795587