

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601  
 研究種目：若手研究(A)  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23680011  
 研究課題名（和文） 既存映像を用いた動きのある3次元空間の再構築手法に関する研究

研究課題名（英文） Study of 3D Reconstruction for Alive Virtual World with a Casually Captured Video Sequence

研究代表者 西村 邦裕  
 (NISHIMURA KUNIHIRO)  
 東京大学・先端科学技術研究センター・客員研究員  
 研究者番号：70451797

### 研究成果の概要（和文）：

本研究では撮影が簡単になった写真や動画をつかって、バーチャルリアリティの3次元空間を構築することを行った。特に3次元空間に、物の移動やディスプレイの変化といった動きを入れることも行い、ライブ感のある空間構築をできるようにした。また、ある現地に行った際に過去の動画などを重ねて見ることができるシステムの開発を行った。本研究の技術は、いくつかの展示として東京駅や大阪で公開された。

### 研究成果の概要（英文）：

This study has developed the system to reconstruct 3D virtual world using photos and movies that are easy to be taken. We focused on introducing moving objects and moving textures to the 3D virtual world in order to enhance a sense of live. We have also developed the augmented reality system to overlay movies on real world. Our developed technologies are opened to the public as a part of an artwork at the exhibition at Tokyo-Station and Osaka.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	9,200,000	2,760,000	11,960,000
2012年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
年度			
年度			
年度			
総計	16,800,000	5,040,000	21,840,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 情報学 ・ メディア情報学・データベース

キーワード： バーチャルリアリティ 可視化

#### 1. 研究開始当初の背景

モバイル機器の進歩、とりわけ携帯電話への電子カメラの組み込み、高速無線ネットワークの普及などにより、個人個人が屋外をはじめさまざまな場所において大量の画像情報

を記録・配信することができるようになった。その結果、ネットワーク内部に膨大な量の画像データが蓄積され、さまざまな利用可能性が広がりつつある。一例として、Microsoft Photosynthや Google Street View などのよ

うな、画像系検索・利用システムの話題があげられる。一方で、拡張現実感の分野の進歩もめざましく、マーカーレス AR などの技術の台頭、高性能スマートフォンの普及などにより、屋外における情報重畳技術が現実的になってきた。

本研究までの前年までの研究「大量の写真・映像群を用いた都市空間の記録と再生に関する研究」において連携研究者として従事、大量画像情報からの空間の再構成や動画情報の取り扱いについて一定の知見が得られた。それにより、自由に視点を回転させることができる動的側面を持った空間を再現することができたが、本研究ではさらに技術の洗練化を行い、回転のみならず並進も可能な自由視点での再生が可能な、動的 3 次元空間の再現を動画情報から行うこととする。また、昨年までの研究で、現地空間で過去の空間記録を再生することが有効であるということが判明しつつある。そこで、再現された空間の利用法のプロトタイプとして、拡張現実感技術を利用した、ユーザが過去の状況や雰囲気を実地空間で再体験することが可能なシステムを構築することとした。そのために、本研究では(1)既存動画からの動的な 3 次元空間の構築、(2)構築された動的 3 次元空間の現地型再生技術の開発を目的とする。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、動画をあたかも目の前で起こっているかのような臨場感を伴う方式で視聴することにより、記録された過去の状況をよりよく把握できるシステムの構築である。受動的に視聴しがちな既存の動画アーカイブから、(1)動的な 3 次元空間を構築し、画像情報を拡張し自由視点での閲覧を可能にすることで、一般的な動画の再生方法では把握しにくい空間的状况を把握しやすくするとともに、(2)実空間で実際の風景の上に重畳された状態で再生を行うことを可能にし、体験的に動画の内容を理解可能とするシステムを構築し、能動的な動画の理解を促進することを目標とする。

## 3. 研究の方法

(1-a) 既存動画に対して 3 次元情報を補完するアルゴリズムの開発

既存動画に対して Structure From Motion を用いて動画の各フレーム毎のカメラ位置・姿勢や動画中の物体の凡そのデプス情報などを推定することで、撮影時のカメラ位置から大きく外れない範囲での自由視点による再生が可能な、3 次元情報の補完された動画を生成するアルゴリズムを開発する。

(1-b) 3 次元ジオメトリを持つ動的 3 次元空間

構築アルゴリズムの開発

(1) で得られた知見を発展させ、(1) と比較して広範囲での自由視点による再生が可能な動的 3 次元空間を構築する。既存動画に対して Structure From Motion を用いた際に得られる画像の解析情報などから、画像を背景部分と動的要素を持つ部分に分割する。背景部分の画像と 3 次元ジオメトリを用いて静的な 3 次元空間を構築し、動的要素部分の画像は位置、大きさや概形を推定すること 3 次元空間中に配置可能とすることで 3 次元空間に動的要素を融合させる。

(2-A-a) 現地空間と 3 次元情報補完済動画の関連付けアルゴリズムの開発

3 次元情報補完済動画を現地での現在の風景に重畳して再生を行うためには、現地の現在の 3 次元ジオメトリと (1) で生成された 3 次元情報補完済動画との関連付けを行う必要がある。現地で複数の画像を撮影することで空間の現在の 3 次元ジオメトリを推定し、ユーザが特徴的な点を (1) で Structure From Motion を用いた際に得られた既存動画から得られる 3 次元ジオメトリと対応させることで、3 次元情報補完済動画との関連付けを行う。

(2-A-b) 現地空間との関連付けアルゴリズムの改善、関連付けデータベースの構築

現地空間との動的 3 次元空間の関連付けの際に、構築された動的 3 次元空間が広範囲に渡る場合、必要な対応点が増え、ユーザの操作が煩雑になることが予想される。そのため、関連付けの自動化率を向上させることでユーザに対して候補を提示するなどの改善を行い、ユーザの負担を減少させる。また、一旦関連付けを行ったものに関してはデータベースに記録し、大きく風景に変化が無い限りはユーザが関連付けを再度行わなくとも利用できる形式とし、広く様々なユーザに動的 3 次元空間を体験できるようなコンテンツとしての整備を行う。

(2-B-a) 現地空間での 3 次元情報補完済動画再生のための画像重畳アルゴリズムの開発

現地の風景がリアルタイムに入力されるカメラ画像に重畳を行いながら 3 次元情報補完済動画を再生するためには、画像取得中のカメラの位置や姿勢などを推定する必要がある。そのために、(2) で現地空間の現在の 3 次元ジオメトリを推定する際に得られた自然特徴点を用いてリアルタイムにカメラ位置・姿勢の推定を行う。得られたカメラ位置・姿勢に対して適切とおもわれる背景画像や動的要素を選択し、現地の風景に対しての重畳を行う。

(2-B-b) 現地空間と動的 3 次元空間を部分的に融合させる重畳アルゴリズムの開発

動的 3 次元空間の臨場感の高い再生を行うためには、現地空間の風景に対し単純に動的 3 次元空間の重畳を行うのではなく、ユーザの目的や興味に応じたインテリジェントな重畳手法を用意する必要がある。そのために、動的 3 次元空間から人間が注目しやすい箇所のみを抜き出して重畳する方法、動的な要素のみを抜き出して重畳する方法、動的 3 次元空間の上に現地空間の動的な要素を抽出し重畳する方法など、ユーザが自由に選択を行えるいくつかの重畳アルゴリズムを開発する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 既存動画に対する 3 次元空間再構成およびデータベースの構築

本研究では既存動画に対して 3 次元空間再構成を行い、3 次元情報を補完するアルゴリズムを構築した。静止している部分と動いている部分に分け、静止している部分を 3 次元空間とみなし、動いている部分を再生することにより、動的な 3 次元空間の構成が可能となった。デジタルサイネージといったディスプレイ内の映像が変わる風景、景色の中の川、映像の中で小さく動く車などはうまく動的 3 次元空間として再現でき、VR 空間を構築するとコントローラを利用して見回すことが可能となった。

また既存動画に対して 3 次元情報を補完するアルゴリズムに対して、動きの含んだ都市空間のアーカイブ、アルゴリズムに適した動画を複数取得しデータベース化する作業が必要となった。動画を整理しデータベース化することで、アルゴリズムに適した動画を簡単に抽出していくことが可能となる。そのため、静止画および動画のデータベースの構築を行った。実際には一年目の研究課題を二年目で繰り越すことで対応し、達成することができた。撮影してすぐにアップロードするモバイルアプリケーションや、サーバ側でサムネイルを表示するアプリケーションなども制作することで、確認を容易にする仕組みを構築した。

##### (2) 3 次元ジオメトリを持つ動的 3 次元空間の利用

3 次元ジオメトリを持つ動的 3 次元空間の研究として、複数台の距離画像カメラを用いたリアルタイムかつ常時に 3 次元の空間データを記録できるシステム「PRIMA」の開発を發

展させた。PRIMA は、基本的には 4 台の距離画像カメラを天井部に設置、空間中央を向けて配置し、距離画像カメラを結んでその下方までの直方体空間を 3 次元データとして記録する。本システムは安価に制作し、簡単に設置可能なことが特徴で、実際に研究室外の一般家庭及び一般的オフィスにおいて 1 週間程度の記録実験を行なっている。また、同システムは空間中の人物を認識・抽出することが可能で、人物の人数や行動によってデータベースにタグ付けを行うことに応用可能である。この機能を利用し、過去の 3 次元データから人物だけを抽出し、現在の空間内に描画することで、過去の人物がその場に存在するかのような 3 次元映像を作ることができる。本年は PRIMA 自体の整備を行い実際に活用できるように発展させた。鉄道博物館において過去の来館者を現在の展示空間に映し出し、展示物を時間軸方向に拡張するという展示に際して、本機能を応用して技術提供を行った。

##### (3) 現地空間での 3 次元情報補完済動画の融合

本研究の目的は、動画をあたかも目の前で起こっているかのような臨場感を伴う方式で視聴することにより、記録された過去の状況をよりよく把握できるシステムの構築である。本研究では特に現地空間での重畳を行うとともに、研究成果自体を社会的なアウトリーチ活動の一つとして展示につなげていく活動も合わせて行った。

実際の現実空間で、風景の上に動画を重畳させるためには、動画の位置と現実空間の位置を合わせる必要がある。Apple 社の iPad などに代表されるモバイル型の端末をクライアントとして利用し、位置合わせの計算はサーバで行い、ネットワークで通信することにより現地空間で重畳を可能とする仕組みを構築した。モバイルデバイスの内蔵のモーションセンサを利用すると追従性およびピッチ・ロールの回転方向については問題がなかったもののヨーの回転に対してドリフトが発生するという問題があった。そのため、特徴点ベースの姿勢推定を導入し、Levenberg-Marquardt 法と Tukey Biweight 推定法を組み合わせ、特徴点对応の誤差を最小化させることでドリフトを除去する方法を構築した。

また、現実空間で過去の写真を現在の風景に重畳することができるシステムの開発にも応用し、過去の写真が重畳された景色を追従するように設計することなどを行った。これはアウトリーチ活動としては、東京の万世橋

駅付近の画像を重ね合わせる試みなどに応用している。

さらに動的な3次元空間として、都市模型を動画で撮影し、航空写真とうまく接続することで、空中から都市を眺めつつ高度を変更しているように見せる仕組みに応用を行った。この映像を交通型 IC カードを用いたインタラクティブを行うメディアアート「Sharelog 3D」に応用し、東京駅の東京ステーションギャラリー、大阪のナレッジキャピタルでの展示につなげた。

#### 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 2 件)

1. 仲野 潤一, 笠田 和宏, 西村 邦裕, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, ”領域型バーチャルタイムマシン—過去の写真の撮影位置への誘導と現在風景への重畳”, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 12, pp. 3611-3624, 2011
2. 西村 邦裕, 鈴木 康広, 牛込 陽介, 鳥越 祐輔, 鳴海 拓志, 佐藤 宗彦, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, ”交通系 IC カードを用いた公共空間でのインタラクティブ: パブリックアートを通じた実証実験”, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 4, pp. 1307-1318, 2012.

[学会発表] (計 14 件)

1. Kunihiro Nishimura, Yasuhiro Suzuki, Munehiko Sato, Oribe Hayashi, Yang LiWei, Kentaro Kimura, Shinya Nishizaka, Yusuke Onojima, Yuki Ban, Yuma Muroya, Shigeo Yoshida and Michitaka Hirose “Train Window of Container: Visual and Auditory Representation of Train Movement”, ACM ACE (International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology), pp. 309-319, 2012.  
DOI: 10.1007/978-3-642-34292-9\_22
2. Totaro Nakashima, Toshiki Takeuchi, Kunihiro Nishimura, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose: “Recording and Superimposing Visitors in a Museum for Sharing Exhibition Experiences,” 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM 2012), 2012.  
DOI: 10.1109/VSM2012.6365979
3. Toshiki Takeuchi, Totaro Nakashima, Kunihiro Nishimura, Tomohiro

Tanikawa, Takuji Narumi and Michitaka Hirose, “PRIMA --A System for Interaction among Different Time Using Multiple Kinect Sensors --”, ASIAGRAPH 2011 in Tokyo Proceedings, Vol. 5, No. 1, p. 110, 2011.

4. Toshiki Takeuchi, Totaro Nakashima, Kunihiro Nishimura and Michitaka Hirose, “PRIMA: Parallel Reality-based Interactive Motion Area”, SIGGRAPH 2011, DVD, p. 80, 2011.  
DOI: 10.1145/2037715.2037805
5. 荒川卓也, 笠田和宏, 西村邦裕, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝, ”拡張現実感による映像追体験のための行動誘導”, 第17回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 467-470, 2012.
6. 仲野潤一, 井村純, 鳴海拓志, 西村邦裕, 谷川智洋, 廣瀬通孝, ”モバイルデバイス上での領域型バーチャルタイムマシンの実現”, 第17回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 199-200, 2012.
7. 竹内 俊貴, 中島 統太郎, 西村 邦裕, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, ”複数の深度カメラを用いた空間ライフログシステムの構築”, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2011.
8. 中島統太郎, 竹内俊貴, 鳴海拓志, 西村邦裕, 谷川智洋, 廣瀬通孝, ”記録された三次元映像の実世界重畳による展示物の背景情報の伝達”, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 日本バーチャルリアリティ学会第16回大会, 22D-6, 2011.
9. 山崎充彦, 鳥越祐輔, 鳴海拓志, 西村邦裕, 谷川智洋, 廣瀬通孝, ”動画像を用いた時間方向に拡張されたVR空間構成に関する研究”, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 32B-5, 2011.
10. 笠田和宏, 仲野潤一, 鳴海拓志, 西村邦裕, 谷川智洋, 廣瀬通孝, ”撮影位置推定を用いた動画像における空間提示システム”, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 32D-4, 2011.
11. 仲野潤一, 笠田和宏, 鳴海拓志, 西村邦裕, 谷川智洋, 廣瀬通孝, ”領域型バーチャルタイムマシンによる現在の風景への過去の動画の重畳”, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 32D-5, 2011.
12. 中島 統太郎, 竹内 俊貴, 西村 邦裕, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, ”PRIMA: 複数 Kinect を用いた異時間インタラクティブシステム”, コンピュータエンターテインメントデベロッパーズカンファレ

- ンス 2011 (CEDEC2011) , 2011.
13. 荒川 卓也, 山崎 充彦, 林 織部, 西村 邦裕, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, “高精細大画面ディスプレイを利用した可視化を対象とする視線位置に応じたインタラクティブな情報認識支援システム”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 111. No. 101, pp. 79-84, 2011.
  14. 竹内 俊貴, 中島 統太郎, 西村 邦裕, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, “PRIMA ~異なる時間軸上のユーザとのインタラクションを実現するシステム~”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vo. 111, No. 38, pp. 7-12, 2011.

[その他]

ホームページ :

<http://www.cyber.t.u-tokyo.ac.jp/~kuni/>

本研究の成果を応用した展示 :

1. 「sharelog 3D」, 東京ステーションギャラリー「始発電車を待ちながら 東京駅と鉄道をめぐる現代アート9つの物語」展 , 2012年10月01日 ~ 2013年02月24日
2. 「Sharelog 3D」, 東京大学大学院情報理工学系研究科廣瀬・谷川研究室, アクティブラボ, ナレッジキャピタル, グラフフロント大阪, 2013年4月26日~

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西村 邦裕 (NISHIMURA KUNIHIRO)  
東京大学・先端科学技術研究センター・  
客員研究員  
研究者番号 : 70451797

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

### (3) 連携研究者

谷川 智洋 (TANIKAWA TOMOHIRO)  
東京大学・大学院情報理工学系研究科・  
講師  
研究者番号 : 80418657