

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 5 日現在

機関番号：34310

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560089

研究課題名(和文) 博物館展示のための拡張現実感の学習への心理学的影響と臨場性付与

研究課題名(英文) Psychological influences and providing presences to learning of the augmented reality for museum display.

研究代表者

杉本 裕二 (SUGIMOTO, Yuji)

同志社大学・文化情報学部・教授

研究者番号：90311167

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：現実物体に情報を重ねて提示する拡張現実感を、博物館などアミューズメントを演出する学習場面で利用する際、これに適した提示手法やコンテンツを構築した。幾何学的整合性を確保するため、特徴点追跡と三次元位置計測を組み合わせた位置姿勢推定の手法を開発した。その結果、拡張現実感コンテンツの、展示環境に適した利用が可能になると考えられる。また、体験を重視したコンテンツとして、縮小模型を操作して道路交通の仕組みを学ぶための基盤を実装した。

研究成果の概要(英文)：Augmented reality that superimposes information onto the real objects, is used for learning with amusement such as museums. The methods of appropriate presentation and applications were constructed. To ensure the geometrical registration, a method for estimating position and orientation was made using feature based tracking and 3D position sensor. The result is considered that it enables the augmented reality content to be effectively used in exhibit environments. The prototype system for learning the road traffic mechanism with miniature car manipulation was implemented as the content emphasizing users' experiences.

研究分野：ヒューマン-コンピュータ・インタラクション

キーワード：拡張現実感 インタフェース ビジュアルトラッキング 体験型

1. 研究開始当初の背景

博物館などアミューズメントを演出する学習場面で、現実物体に情報を重ねて提示する拡張現実感が利用されるようになった。拡張現実感とは実世界とのインタラクションを、計算機メディアを介して実現する環境であり、実世界での体験を増幅する。学習における体験は、知識や概念が体験を通して構築されるとする構成主義としての役割があり、実世界を拡張する拡張現実感とは、実体を伴った感覚を学習者に与えることができるという意味において有効である。

ところが、現実空間と仮想空間との幾何学的整合性が確保されない場合があり、拡張現実感環境の臨場性が低下し、学習効果が損なわれることにつながると考えられる。幾何学的整合性を確保するためには、現実空間における物体の位置を特定する必要がある。これは、ビジュアルトラッキングであれば、カメラの位置姿勢を導出することに相当する。つまり、カメラの位置姿勢を精度良く導出することが要求される。

博物館応用としてその展示に関する付加情報を文字や画像、映像、音声で提供する。参加者相互のコミュニケーションに利用する試みも始まっているが、基本的には展示物に付加的な説明を与えるものであり、新しい価値を提供できていない。また、携帯端末や位置センサ、高精細ディスプレイ等の普及により、拡張現実感の利用環境は整ってきているが、博物館での具体的な利用におけるコンテンツは不足している。特に中小規模の博物館や科学館では予算的な問題から、十分にコンテンツが用意できないのが現状である。

2. 研究の目的

拡張現実感とは、現実物体に情報を重ね提示する。そのため、現実空間と仮想空間との幾何学的整合性を確保することが技術的な課題である。ビジュアルトラッキングは、博物館展示のように現実空間への変更が難しい環境において視点の位置姿勢を導出するのに都合がよい。展示環境に適したビジュアルトラッキングの手法を構築する。

博物館や科学館における拡張現実感の典型的な利用は展示案内や展示物の付加的な説明である。これらの用途は来館者に利便性を提供しているが、新しい価値を付与しているとは言えない。拡張現実感とは現実空間に基づいて情報を提供するものであり、利用者との物理的なインタラクションに応用できる。そこで、利用者の参加に重点を置いたコンテンツを作成する。

拡張現実感はその視覚的印象の強さから、これを強調するような応用が提案されてきた。しかし、実際に実用に至る例は少ない。これは、コンテンツ制作の困難さがその要因の一つとして考えられる。そこで、コンテンツ制作する手法を検討する。

3. 研究の方法

未知環境で現実シーンに仮想物体を位置合わせする手法として、自己位置推定と環境地図作成を同時に行う SLAM が提案されている。これは、ビデオ画像からカメラの位置姿勢を導出すると同時に、3次元シーンの構造を復元する。任意の環境に適用でき、位置姿勢を精度良く導出できるものの、特定の物体を認識するわけではないため、博物館展示に利用することを考えた場合、その展示物の検出と位置姿勢の導出ができない。一般に、ビジュアルトラッキングにおいて特定の場所を認識するためには、何らかの目印を現実空間に設置し、それを認識する。しかし、博物館展示の場合、展示物に関係ない物を置くことは難しい。そこで、初期位置を特定するパターンを設置し、初期位置が特定されたら、そのパターンを取り除くことでこの問題を解決することとした。

建造物などの文化財は物理的に博物館展示に適さないものの、その文化的重要性は高い。そのため、文化財アーカイブが重要な役割を担っている。文化財の3次元アーカイブは、レーザを用いたシステムを用いて大量の点群から構成されるモデルを取得し、精密な再現力を有している。一方、機材や作業の費用、アーカイブデータの活用面から対象物だけではなく、調査者を特定する。そこで、汎用性が高く、質の情報を抽出できる手法として、色彩情報を面に反映したモデルを生成する3次元写真測量を用いて、物体だけではなく空間としてのアーカイブを実現する。

拡張現実感とは現実空間に基づいて情報を提供するため、利用者との物理的なインタラクションを高めることができる。利用者の参加に重点を置き、体験を共有する拡張現実感コンテンツを制作する。ただ、博物館や科学館での展示を考えた場合、実物大での扱いが困難なものがある。例えば、自動車およびその駆動などが挙げられる。そこで、ミニチュアのラジコンカーを使って来館者自身による操縦と拡張現実感による交通信号機や道路標識、建造物の提示を可能にするコンテンツを作成した。

4. 研究成果

(1) 特徴点追跡と三次元位置計測を組み合わせた位置姿勢推定

自然特徴点群を抽出する方法と三次元位置計測による方法を組み合わせ、カメラの位置姿勢推定を行った。三次元位置の計測には、Kinect (v1)を用いた。Kinect SDKには物体の形状推定の機能が搭載されており、この中にカメラの位置姿勢を推定する機能があり、これを利用した。この位置姿勢は姿勢行列の形でフレームレートにて算出される。姿勢行列の算出過程では、現実空間の三次元構造が構成される。この構造の構成処理は、RGB-D センサから得られた奥行きマップのノイズ除去から始まり、三次元頂点と法線マップ

プへの変換によって点群を構築する。カメラ位置は連続するフレーム間で大きく移動しないことを仮定し、ICP 処理を用いて各フレームにおける点群の位置を一致させることによってカメラ位置を算出する。点群の位置の一致とカメラの位置姿勢算出を終えたら、奥行きマップが3次元モデルにマージされ補強される。

CGを現実空間上に重畳表示するには、物体座標系の設定が必要である。しかし、事前知識なしにスケールを決めることは難しい。そこで、画像パターンと奥行きとの関係を事前知識として与え、両者の対応を導出することによりスケールを推定する。このスケール推定には画像パターンの特徴点追跡を利用し、自然特徴点の抽出にはSURFを用いた。SURFは、画像特徴量として画素値の変化が大きくなるコーナーやエッジを抽出する。スケールに頑健な特徴点を検出し、回転変化に頑健な特徴量を記述する。特徴点追跡を加味することにより、画像パターンが現れた場合に位置姿勢情報を取得し、三次元位置計測から得られる位置推定の初期設定として利用した。

プロトタイプシステムは、GPUの搭載されたWindows PCに実装された。Kinect (v1)がカラー画像と奥行きマップを取得するためのRGB-D センサとして利用された。特徴点追跡機能には、OpenCVのSURFが利用された。図1に、プロトタイプシステムの位置姿勢推定部の処理の流れを示す。三次元位置計測と特徴点追跡の処理を別スレッドにすることにより、負荷分散による高速化を行っている。シーングラフのデータ構造を管理し、そのシーンをレンダリングするための独自ライブラリを構築した。

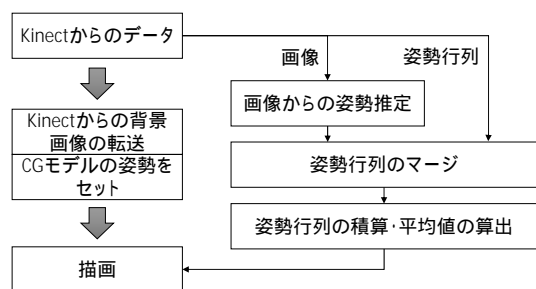


図1：処理の流れ

事前に登録されたパターンを使うことは、現実シーンの特定の場所を決めるのに役立つ。しかし、そのようなパターンは利用環境にとって不適切であることもしばしばである。そこで、事前登録パターンを初期位置の設定のために利用し、その後、利用環境から取り除くといった運用が考えられる。まず、事前登録パターンをカメラ映像に入るように設置する。次に、事前登録パターンはSURFによって認識され、その位置姿勢に基づいて仮想物体が提示される。その後、事前登録パターンがカメラ映像に入らないように取り除かれても、仮想物体は背景に追従し提示さ

れ続ける。SURFの処理には高い計算コストが高いため、初期位置を推定するためだけに利用するのは実装上都合がよい。

三次元位置の計測による姿勢検出が不能になる場合があり、このときは姿勢行列が算出されず、実空間へのCGの重畳表示は不安定になる。そのため、過去に取得した位置姿勢から現在の位置姿勢を復元する処理を代替機能として追加した。姿勢行列と共に奥行きデータ及び画像データをデータベースに蓄積し、これら過去のデータとの類似度を計算することにより位置姿勢データを再利用する。この復元機能は、低類似度の場合があるのでいつもうまく動作するというわけではないが、一定の安定度改善が見込める。

(2) 文化的景観の3次元写真測量

色彩情報をメッシュモデルとして生成する3次元写真測量を用いることにより、物体だけではなく空間としてのアーカイブを行った。対象として京都府大山崎町所在の宝積寺に現存する九重石塔を選定し、継続的モニタリング、建立と現状の資料調査、地震動による文化財への影響の評価を行った。

2度の写真測量による調査を行った。1回目は石塔の傾きの現状把握を目的とし、2回目は淡路島を震源とする地震による石塔への影響を調査した。使用機材は、有効画素数500万画素以上のレリーズ対応カメラと一脚である。カメラとして、安価に購入できる民生用コンパクトデジタルカメラを使用した。撮影は総枚数300枚とし、1段につき30枚取得した。これらの写真から4896343点の点群を生成し、200万のメッシュを構成する九重石塔の3次元モデルを作成した。

3次元モデルを元にオルソ画像を生成し、段ごとに選別し、それぞれの形状を比較した。その結果、形状の劣化具合から、最低でも2グループに分けられることが推測された。グループ間では劣化具合が大きく異なることから、元来五重であった塔に後に四重を付け加えた可能性が示唆された。

淡路島付近で発生した地震は、大山崎町で震度3を記録した。倒壊が危惧されている石塔もあり、この地震による変形が存在したかを調査した。調査手法は、写真測量により生成した3次元モデルを、基壇面の形状に変化はないと仮定し、基壇と塔の傾きの関係を3次元CADにより比較した。モデル表面のメッシュ偏差量から、南北方向では北向きに、東西方向には5段目を中心として反時計回りに変位していることが確認された。上面からの観察から、9段目が基壇の重心上空にとどまっていることがわかった。

(3) 拡張現実感コンテンツ

拡張現実感を利用したコンテンツのプロトタイプを実装した。題材として自動車を想定し、道路交通システムを自動車の運転手の視点から学べるようにするため、仮想的な道

路交通環境を提示できるようにした。拡張現実感複数は複数の利用者が一緒に楽しむ協調環境を提供し、現実世界において空間的な体験を共有する。拡張現実感環境の特徴の一つは一人称視点からの描像が表示され、その環境に没入できることである。そこで、複数の利用者が一人称視点で利用できるミニチュア自動車操作システムを構築した。

操作システムは無線カメラ、LAN に接続された PC、天井に設置された赤外線カメラから構成される。利用者は頭部装着型ディスプレイで映像を見ながら、ミニチュア自動車を操縦する。その映像はミニチュア自動車に搭載されたカメラで取得され、現実シーンに仮想物体が重畳提示される。プロトタイプシステムは、天井に設置された赤外線カメラによる幾何学データを使うことによって重畳提示における安定性と隠蔽処理に対応している。

利用環境は利用者自身によって任意の場所に設置されるようにした。ミニチュア自動車の可動範囲を物理的に制限するが、利用環境の人工的な境界を設置した。これは、搭載カメラの位置姿勢の推定と利用環境周囲の物体との衝突軽減のためである。利用環境には一連の四角いマーカが並べられた。カメラの位置姿勢データに基づいて、仮想物体が幾何学的に整合の取れた形で現実シーンに重畳される。プロトタイプシステムは管理 PC とクライアント PC とで構成され、CG レンダリングと画像処理の計算コストが分散される。管理 PC はクライアント PC から転送されたデータを収集してクライアント PC の状態を監視し、これを管理する。管理 PC は赤外線カメラの画像情報に基づいて各ミニチュア自動車の位置と方向を推定する。ミニチュア自動車には複数の赤外線マーカが配置されており、その組合せによって互いを区別する。クライアント PC は、搭載カメラからの映像に重畳する CG を描画する。図 2 に、システム構成を示す。

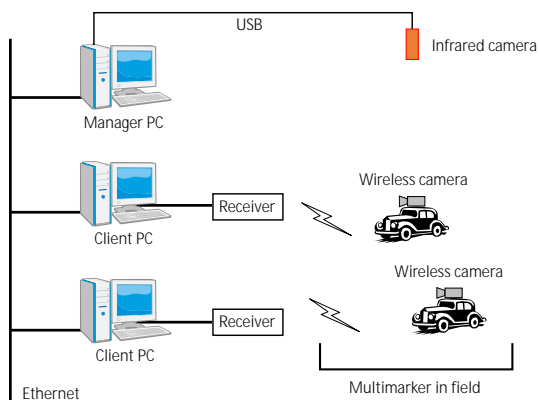


図 2：システム構成

本プロトタイプシステムは、GPU の搭載された Windows PC に実装された。利用者が装着する HMD は 1280x720 の解像度、16:9 のアスペクト比、視野角 45 度を持つ。天井に設

置した赤外線カメラは 640x480 の解像度、フレームレート 100fps、視野角 45 度を持つ。四角いマーカを検出し、そのパターンを認識する画像処理ライブラリとして ARToolkit が使われた。四角いマーカ群は床面に等間隔に配置された。赤外線マーカは再帰性反射材で作られ、座標系の原点を決めるために用意された。現行のプロトタイプシステムには幾つかの制限がある。提示は視覚情報にしか対応しておらず、音は出力されない。現実物体と仮想物体との衝突は反映されない。天井に設置された赤外線カメラの視野角が狭いので、天井がある程度高くないと利用環境が狭くなる。床面に配置される四角いマーカの位置は正確である必要がある。これらの解決は、今後の課題である。

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)

[学会発表](計 4 件)

Kikuo Asai, Yuji Sugimoto, Using prior registered pattern for augmented reality in Kinect Fusion, International Workshop on Advanced Image Technology, Jan. 6-8, 2016, Busan, Korea

浅井紀久夫, 杉本裕二, 特徴点追跡と三次元位置計測を組み合わせた拡張現実感のための位置姿勢推定, 電気学会全国大会, 3-055, 第 3 分冊の p.75, 2015 年 3 月 24 日 ~ 26 日, 東京都市大学

渡邊俊祐, 津村宏臣, 朽津信明, 杉本裕二, 文化的景観の 3 次元写真測量による保護や保全に関する方法論-京都府大山崎町所在宝積寺の九重石塔の事例から-, 文化財科学学会第 31 回大会, 2014 年 7 月 5 日, 奈良教育大学

Kikuo Asai, and Yuji Sugimoto, Multiplayer RC-car driving system in a collaborative augmented reality environment, International Conference on Multimedia Computing and Systems, Feb. 13-14, 2014, Kuala Lumpur in Malaysia

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉本 裕二 (SUGIMOTO, Yuji)
同志社大学・文化情報学部・教授
研究者番号：90311167

(2) 研究分担者

浅井 紀久夫 (ASAI Kikuo)
放送大学・教養学部・准教授
研究者番号：90290874