

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23611006

研究課題名(和文) 特別なマーカーによらない拡張現実感に関する研究

研究課題名(英文) Augmented Reality without Specific Marker for Positioning

研究代表者

前川 仁 (MAEKAWA, Hitoshi)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：30135660

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、拡張現実における仮想物体描画の位置決め、シーン中の画像特徴群を用いる。このため、3DのCGシミュレーションによる局所特徴量の評価法を提案した。これによって、隠蔽のある状況での各種局所特徴量の経時的な追跡評価が行えるようになった。また、モバイルデバイスの自己位置推定法について、機械センサからの加速度データとカメラからの画像特徴を、それぞれの観測の不確かさに応じて統合する手法を示し、実験的に検証した。さらに、仮想物体描画のために、シーンの代表物体の影から光源位置を推定する手法を提案し、仮想物体の影付けに適用した。これらによるプロトタイプシステムのアンドロイド端末への実装も行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we assume groups of local image features obtained from the scene as the markers for rendering of virtual objects in augmented reality systems. For this purpose, we proposed a CG simulation method to evaluate existing various local feature descriptors proposed by many researchers so far in the situations including occlusions. In addition, we applied visual-SLAM approach, which is widely used in the robotics area, to estimate the position and the orientation of the device by combining its accelerometer data and image feature with considering uncertainty of these observations. Furthermore, we proposed a method to estimate the position of light sources from casting shadows of a "landmark object" in the scene. With these results, we have implemented a prototype AR-system onto Android tablet.

研究分野：時限

科研費の分科・細目：デザイン学

キーワード：コンピュータビジョン 知能ロボティクス 拡張現実 コンピュータグラフィクス モバイルデバイス

1. 研究開始当初の背景

近年、現実の世界に有用な情報を付加して提示する拡張現実感 Augmented Reality (AR) への期待が高まっている。

これは、いま目にしている現実の情景(実シーン)に、何らかの仮想的な物体映像を重ねあわせることで、現実世界との関わりをより豊かにしようという情報メディア技術であり、医療、福祉、生産、さらには広告から娯楽に至る様々な幅広い潜在的な応用が考えられる。

ここで、現実世界への仮想物体の重ねあわせとは、観察者即ちカメラの位置や姿勢が自由に動く際に、それに応じて、現実世界を映すカメラ画像の然るべき位置に、仮想物体を正しい位置・姿勢で描画(レンダリング)することをいい、カメラによる実シーンの認識問題を扱うコンピュータビジョン及びロボットビジョンがその基礎にあって、情報を多彩に可視化するコンピュータグラフィクスとの融合分野として位置付ける事ができる。

研究開始当初、AR システムは様々な形での実装が提案されており、その一部は実現されつつあるが、その殆どは、現実世界に対する仮想物体のレンダリングのために、視覚的に分かり易い目印(マーカー)を貼りつけたり、あるいはゲーム機のように、投影画面の近くに赤外線発信装置を置いてそれを操作側で受信することで、画面内の仮想物体の位置姿勢を制御するなど、その装置に特化した動作環境を想定している。このアプローチの利点は正確な位置決めが容易であることで、生産シミュレーション等のニーズも高いことから現在でも研究が進んでいる。

これに対し、本研究の立場は、このような環境情報を得るための特殊な装置などの制約を取り除き、特殊なマーカー等を前提としない、通常的环境における、モバイル・デバイスを含めた装置上での AR システムの実現を目指したものである。

2. 研究の目的

特別なマーカーを用意せずに実シーンの画像に仮

想物体を然るべき位置・姿勢で融合表示するには、(i) シーンの幾何学的情報の把握と、(ii) 描画デバイス(モバイルデバイス)の位置・姿勢推定が必要である。前者についてはコンピュータビジョンにおけるシーンの画像特徴の認識照合手法が適用できる。図1は、シーン中の画像局所特徴の抽出と照合の例であり、カメラで撮像した机上シーンから抽出した沢山の局所特徴量を、予め記憶したそれと比較照合できれば、射影変換行列(ホモグラフィ)が得られてその位置姿勢が推定できる。



図1. シーン中の画像局所特徴の抽出と照合の例。

図1(上)の右が机上のシーンで、左には計算機内の参照画像を示してある。そのシーンを撮像して特徴点抽出を行い、対応付けを行なった結果が同図下で、正しい対応を青線で、誤った対応を緑の線で結んである。概ね正しい対応が得られているが、誤対応もある。前節で述べたように、このような局所特徴量は数多く提案されているので、AR 応用の視点からの評価が必要である。

一方、後者に関しては、ロボティクスにおける環境地図獲得及び同時自己位置推定技術(simultaneous localization and mapping; SLAM)を発展させた視覚的SLAMを適用する。

画像特徴の抽出・記述と照合法については多くの提案があるので、本研究では、AR 応用という立場からそれらの評価を行なう手法を含めて検討する。

本研究は以下の三点を検討し、さらにそれらによる試作システムの実装を目的とする。

- (1) シーンにおける画像の局所特徴量の性能評価
- (2) モバイルデバイスの位置・姿勢推定法
- (3) 仮想物体の描画とその改善

3. 研究の方法

本研究は、コンピュータシミュレーションとモバイルデバイスのセンサ・データ周辺機器による実験的方法で進めた。

前述の各項目に対応した研究方法は以下の通りである。

(1) シーンにおける画像の局所特徴量の性能評価

Linux ワークステーションに 図 2 に示す各種の手法を実装し、ベンチマーク用の標準画像、独自開発のシミュレーションによる合成画像、及び実際にシーンを撮像した独自の画像で評価実験を行なう。

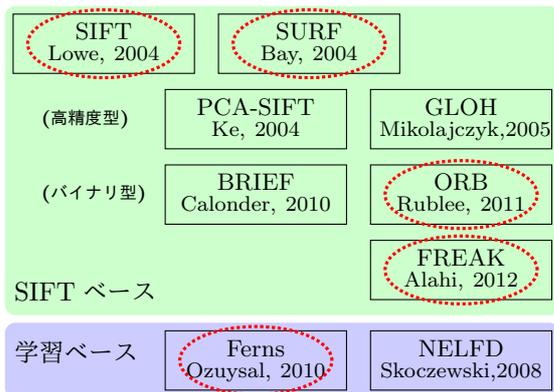


図 2. 画像特徴記述法(サーベイ)と評価対象の位置付け (④, ⑨).

(2) モバイルデバイスの位置・姿勢推定法

6 自由度の加速度センサと USB カメラによる実験、及び、全方位ステレオカメラを室内環境で移動させる実験で基本的なアルゴリズムの検証を行なう。機械的なセンサ情報と画像特徴などの視覚センサによる情報の統合は、拡張カルマンフィルタを構成して行なう。

これを実装するモバイルデバイスとしては、アンドロイド機器(タブレット PC) と、iOS 機器(米国 Apple 社の iPhone 及び iPad) を用いる。

(3) 仮想物体の描画とその改善

距離(奥行 depth)情報が得られる RGB-D カメラを用いてシーン中の平面を検出し、その上の影から光源位置を推定する方法を検討する。

4. 研究成果

(1) シーンにおける画像の局所特徴量の性能評価

モバイルデバイス上の AR においては、画像特徴の検出能力を、明るさ、大きさ、角度による見え方の変化、さらに目標物体が他の物体で部分的に覆われる隠蔽などの、シーンにおける様々な変動要因に対して評価しなければならない。そのため、次式(1)で定義される「再現率」(Schmid ら)による評価がひとつの尺度になる。

$$\text{再現率} = \frac{\text{正しい対応の数}}{\text{局所特徴の総数}} \quad (1)$$

計算機実験では、上述の変動要因がコントロール可能なので、元の画像の個々の局所特徴量がどのようにシーン上に投影されるか計算でき、検出された特徴量との類似性と位置から式(1)の「再現率」を求める事ができる。本研究では、これを効率良く実験できるように、図 3 に示すような 3D シミュレーション法を提案した。

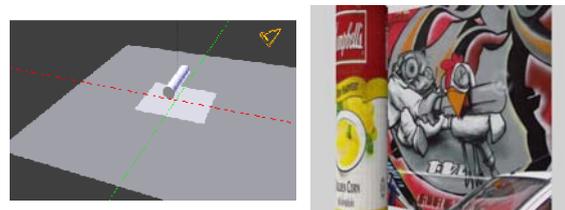


図 3. 特徴量評価のための 3D シミュレーション法。

同図左に示すように、遮蔽物のあるシーンで視点を変える事ができ、さらに遮蔽物にも「模様」を貼り付ける事で、より現実環境に近い評価が可能になった。また、経時的な尺度として「局所特徴の追跡性能」を評価できるようになった。図 4 にその結果例を示す。

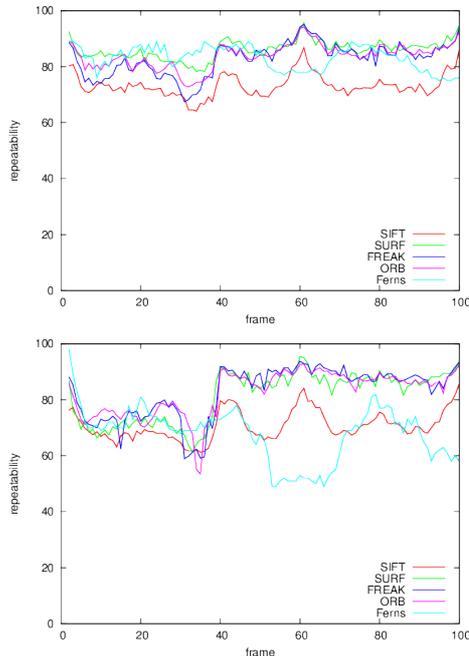


図4. 隠蔽のあるシーンでのトラッキングにおける再現性の評価. 上と下は対象及び隠蔽物体の図柄が異なる.

同図は、縦軸は「再現率」で、高いほど性能が良い。一方、横軸は画像フレーム数(動画のコマ数)であり、対象画像の前で円柱の隠蔽物体が動いている状況である。この結果から、基準として用いた古典的な手法である SIFT に比べ、SURF、FREAK、ORB といった比較的新しい手法は何れも同等以上の結果が得られている。一方、特に下の画像の 30 フレーム辺りで各手法共再現率が低下している部分があり、動的なシーンも含めての絶対的な手法は無い事を示唆している。

本項目に関連する研究成果は、下記「学会発表」の④及び⑨である。

(2) モバイルデバイスの位置・姿勢推定法

モバイルデバイスは、今や GPS や加速度センサーを標準搭載した多機能センシング装置といえるが、その位置・姿勢の推定はますます重要な問題となっている。これに、ロボティクスの分野で従来から研究されてきた視覚による環境マッピングと同時自己位置推定技術 (visual SLAM) を適用しようというのが、本研究のアプローチである。カメラで得

たシーンの画像特徴と、機械センサーから得た加速度データを、誤差を考慮して拡張カルマンフィルタで統合する手法について検討した。また、図5に示すように、アンドロイド・デバイスへの実装についても検討した。



図5. アンドロイド・デバイス(タブレット PC) への実装例.

これらに関する研究成果として、下記「学会発表」の①、③、⑥、⑦及び⑧がある。

(3) 仮想物体の描画とその改善

モバイル・デバイスの視覚センサであるカメラが見ているシーンの幾何学的な構造が分かれば、仮想物体をそのシーンに描画する事ができる。例えば、次の図6は、机上のシーンに仮想物体としてティーポットを描画している。



図6. 仮想物体の重畳描画例-仮想物体に影が無い場合.

見ているシーンに意味のある別情報を重畳呈示しようというのが AR であるが、この例では、仮想物体であるティーポットが机の表面に置かれているか

定かではない。本研究は、AR は常に写実的な表現を求められているとは考えていないが、仮想物体との接触関係は示すべきであるとする。

そこで、シーンから検出した代表的な実物体を「ランドマーク」見做して、その影を元に、シーンの光源位置を推定する手法を提案した。それは、シーンの上方に仮定した半球上のランダムな点を推定光源位置の初期値とし、そこからランドマーク物体の縁を通過した光線が実際のシーン中の影領域にあるか否かで、その推定光源位置の尤度を変えていく手法である。その一例を図7に示す。

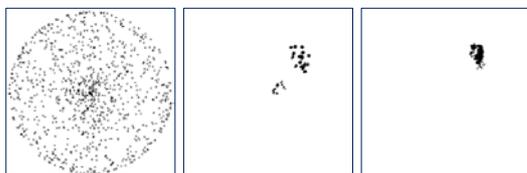


図7. 光源位置の推定. 初期値 (左), 3ステップ目 (中央), 及び5ステップ目 (右).

同図から、繰り返し5ステップで、実際の光源位置付近に収束している事が分かる。推定した光源によって仮想物体に影をつけた例を図8に示す。



図8. 仮想物体の重畳描画の改善例.

本提案手法は、シーンに机などの平面がある事と、その平面を RGB-D カメラのように簡便に検出できる事を前提としている。本研究開始の時点では、こうした前提を満たすモバイル機器は見当らなかったが、搭載センサの小型化と多機能化は、予想以上に急速である。本項目に関連する研究成果は、下記「学会発表」の②及び⑤である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計9件)

- ① 瀬戸太郎, 子安大士, 前川仁, 川崎洋, 小野晋太郎,
不確かさを考慮したスキャンマッチングによるロボットの6自由度相対位置姿勢推定,
ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門, 2014年5月25日~29日 (発表 2014年5月27日), 富山国際会議場 (富山市).
- ② 平原匡哲, 子安大士, 前川仁, RGB-D カメラを用いた確率的探索による光源推定, 精密工学会画像応用技術専門委員会 (共催 映像情報メディア学会・メディア工学研究会), サマーセミナー 2013, (セミナー テキスト) 画像処理の理論と実際, 1-4, 2013年8月19日~20日 (発表 2013年8月19日), 石和びゅーほてる (山梨県笛吹市).
- ③ 遠山翔太郎, 子安大士, 前川仁, モバイルデバイスにおけるマーカレス AR の実装, 第16回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2013), SS2-13, 2013年7月29日~8月1日 (発表 2013年7月30日), 国立情報学研究所 (東京都千代田区).
- ④ 野寄厚太郎, 子安大士, 前川仁, AR 応用における特徴記述子の評価について, IS3-04, 第19回画像センシングシンポジウム (SSII2013), 2013年6月12日~14日 (発表 2013年6月14日), パシフィコ横浜アネックスホール (横浜市).
- ⑤ 平原匡哲, 子安大士, 前川仁, RGB-D カメラのワンショット観測を用いた AR における光源推定, IS1-25, 第19回画像センシングシンポジウム (SSII2013), 2013年6月12日~14日 (発表 2013/6/13), パシフィコ横浜アネックスホール (横浜市).
- ⑥ 瀬戸太郎, 子安大士, 前川仁, 川崎洋, 小野晋太郎, 全方位ステレオ視の距離誤差を考慮した

ICP によるロボットの相対位置姿勢推定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2013), 1A2-I06, Proc. of the 2013 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2013 年 5 月 22 日~24 日 (発表 2013 年 5 月 23 日), つくば国際会議場 (つくば市).

- ⑦ Hiroshi Koyasu, Hitoshi Maekawa, Hiroshi Kawasaki(Kagoshima Univ.), Shintaro Ono, Katsushi Ikeuchi(Univ. of Tokyo), Scan-matching Based 6DOF SLAM Using Omnidirectional Stereo, 9-29(postersession), IAPR Intl. Conf. on Machine Vision Applications(MVA2013), Suzaku Campus, Ritsumeikan University, Kyoto, Japan, May 20-23, 2013(発表 2013 年 5 月 22 日), 立命館大学朱雀キャンパス (京都市).
- ⑧ 泉直之, 子安大士, 前川仁, Visual SLAM への加速度センサ情報の適用について, 日本ロボット学会 第 30 回記念学術講演会,RSJ2012 AC2J2(CD-ROM), 2013 年 9 月 17 日~20 日 (発表 2012 年 9 月 18 日), 札幌コンベンションセンター (札幌市).
- ⑨ 野崎厚太郎, 子安大士, 前川仁, マーカーを用いない AR における特徴記述子の評価について, 電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ (ISS), 同ヒューマンコミュニケーショングループ (HCG), 情報処理学会の合同開催, 第 11 回情報科学技術フォーラム (FIT2012), H-033, pp.189-190, 2012 年 9 月 4 日~6 日 (発表 2012 年 9 月 4 日), 法政大学小金井キャンパス (小金井市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前川 仁 (MAEKAWA, Hitoshi)
埼玉大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 3 0 1 3 5 6 6 0

(2) 研究分担者

子安 大士 (KOYASU, Hiroshi)
埼玉大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 6 0 4 3 1 7 3 0