

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：25301
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23700149
 研究課題名（和文）
 画像処理と3次元モデルを併用したカメラ位置認識手法によるヒューマンインタフェース
 研究課題名（英文）
 Human Interface Using Camera Position Estimation Method Combining
 Image Processing with Three Dimensional Model
 研究代表者
 神代 充（JINDAI MITSURU）
 岡山県立大学・情報工学部・教授
 研究者番号：30314967

研究成果の概要（和文）：

本研究課題では、屋内環境での利用を目的とした画像処理と環境の3次元モデルを併用したカメラ位置認識手法を提案した。この手法では、カメラからの入力画像と環境の3次元モデルとを特徴量を用いて対応付けることで、実環境でのカメラの位置と姿勢を推定している。さらに、提案するカメラ位置認識手法を適用し、カメラ位置に基づいた情報を拡張現実感により人間に提供するヒューマンインタフェースシステムを開発した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, a camera position estimation method combining an image processing with a three dimensional model of an environment was proposed for use by indoor environment. In this method, a position and a posture of a camera is estimated by comparing corresponding points in an inputted image of a camera and a three dimensional model of an environment. Furthermore, a human-interface system which is applied the proposed camera position estimation method, was developed. In this system, humans are provided information by an augmented reality based on estimated positions and postures of a camera.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：ヒューマンインタフェース，ヒューマンインタラクション，コミュニケーション支援，画像処理，拡張現実感

1. 研究開始当初の背景

拡張現実感とは、モバイル端末等を用いて実環境にCGオブジェクトや文字などの仮想物体を重畳した情報を人間に提示する技術である。この拡張現実感にはヒューマンナビゲーションや医療分野などでの応用が期待されている。この拡張現実感を実現するためには、実環境でのカメラの位置と姿勢を推定する必要がある。これまでにカメ

ラの位置と姿勢を推定する手法として、人工マーカを用いるものや、GPSを利用するものなどが提案されている。人工マーカを用いる手法では、実環境に多くの人工マーカを配置する必要があるため、実環境の景観を損ねるといった問題がある。また、GPSを利用する手法では位置認識の精度がGPSの受信強度に左右されるため、地下や屋内ではカメラ位置の推定が困難とな

る。そのため、屋内環境で利用することが可能であり、環境の景観を損ねることなくカメラの位置と姿勢を推定する手法の開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究では屋内環境において人工マーカやGPSなどを用いることなく、環境の3次元モデルとカメラからの入力画像とを対応付けることでカメラの位置と姿勢を推定するカメラ位置認識手法を提案する。さらに、カメラ位置認識手法により推定されるカメラの位置と姿勢に基づいて拡張現実感により人間に情報を提供するヒューマンインタフェースシステムを開発する。また、このカメラ位置認識手法では利用する屋内環境の3次元モデルが必要である。そこで、色彩画像と距離画像とを併用することで、色彩情報と3次元情報を含む環境モデルを生成する環境モデル生成手法を提案する。

3. 研究の方法

本研究では画像処理と3次元モデルを併用したカメラ位置認識手法およびそれを適用したヒューマンインタフェースシステムを開発する。まず、カメラ位置認識手法に用いる環境の3次元モデルを作成する。そして、2種類のカメラ位置認識手法を提案する。1つ目は処理の高速化を目指したテンプレートマッチングによる特徴点の抽出・追跡を行うカメラ位置認識手法である。2つ目は確率的Hough変換による特徴点の抽出とSURF (Seeded-Up Robust Features) による特徴点追跡を併用した光軸方向の回転に対して頑健なカメラ位置認識手法である。さらに、これらのカメラ位置認識手法を適用したヒューマンインタフェースシステムを開発する。このシステムではカメラ位置認識手法により推定されるカメラの位置と姿勢に基づいてカメラからの入力画像にCGオブジェクトや文字などを重畳合成することにより人間に情報を提供するものである。そして、このヒューマンインタフェースシステムにより屋内環境において拡張現実感により人間に情報を提供することを実現する。

また、提案するカメラ位置認識手法には環境の3次元モデルが必要である。そこで、この環境モデルの作成を省力化するために、環境モデル生成手法を提案する。この手法では色彩画像と距離画像とを併用することで色彩情報と3次元情報を含む環境モデルを生成する。

(1)環境モデル

提案するカメラ位置認識手法では、屋内環境を対象として、カメラからの入力画像（カメラ画像）と環境モデルとを対応付けることで、実環境におけるカメラの位置と姿勢を推定する。そのため、カメラ位置を正確に認識するためには実環境を正確に再現した環境の3次元モデルが必要である。そこで、図1に示すような屋内環境の環境モデルをCADを用いて作成した。この環境モデルは実環境と同じ寸法であり、可能な限り実環境と同一色とした。



図1 環境モデル

(2)テンプレートマッチングによるカメラ位置認識手法

①特徴点の抽出と対応付け

カメラ位置認識手法では、カメラ画像内の特徴点とそれと一致する環境モデルの特徴点とを対応付けることで、実環境でのカメラの位置と姿勢を推定する。屋内環境において位置などが変化しない特徴的な設備としてドアや窓などがある。そのため、カメラ画像と環境モデルとを対応付ける特徴点としてドアの四隅部分を用いる。

カメラ画像からの特徴点の抽出・追跡には高速に処理が行える正規化相互相関によるテンプレートマッチングを用いる。テンプレート画像には図2に示すように代表的なドアの四隅部分の画像（計4枚）を用いる。反対側のドアについてはテンプレート画像を左右反転することで、代用する。

テンプレートマッチングは前回に推定されたカメラの位置および姿勢に基づいて環境モデル内のドアの四隅部分が投影される座標付近のみに対して行う。これにより、処理を効率化するとともに特徴点の追跡が行える。そして、テンプレートマッチングによって抽出されたドアの四隅部分を環境モデルと対応付ける。



図2 テンプレート画像

②カメラの位置と姿勢の推定

環境モデルとの対応付けを6組以上の特徴点で行うことで、実環境をカメラ画像に変換するための射影行列 P が線形近似によって推定される。この推定された射影行列 P はカメラの内部パラメータ A と外部パラメータ $[R|T]$ の積として表される。 R は回転を表す 3×3 の行列であり、 T は平行移動を表す 3×1 の行列である。この T よりカメラの位置が推定され、 R よりカメラの姿勢が推定される。

提案するカメラ位置認識手法の有効性を確認するために、実験を行った。実験は一般的な屋内環境としてビルの廊下で行った。実験結果を図3に示す。



図3 カメラ位置の推定結果

図は推定されたカメラの位置と姿勢に基づいて赤色にしたドア部分をカメラ画像に重畳している。ドア部分が正しく重畳されており、カメラの位置と姿勢が推定されていることが分かる。

③ヒューマンインタフェースシステム

カメラ位置認識手法により推定されるカメラの位置と姿勢に基づいてカメラからの入力画像にCGオブジェクトや文字などを重畳合成することにより人間に情報を提供するヒューマンインタフェースシステムを開発した。

ヒューマンインタフェースシステムは環境モデルと重畳合成するデータを備えた1

台のコンピュータおよび1台のカメラから構成されている。

ヒューマンインタフェースシステムにより人間に提示された画像を図4に示す。ビルの廊下においてカメラ画像に部屋番号を重畳合成している。図よりカメラ画像に部屋番号が正しく提示されていることが分かる。また、移動した場合においても重畳合成を継続することが可能であった。



図4 提示画像

(3)Hough変換とSURFによるカメラ位置認識手法

①特徴点の抽出と対応付け

テンプレートマッチングによる特徴点抽出ではカメラが光軸方向に回転した場合には入力画像から特徴点を抽出することが困難となる。そこで、確率的Hough変換による特徴点の抽出とSURFによる特徴点追跡を併用した光軸方向の回転に対して頑健なカメラ位置認識手法を提案する。

特徴点には上述と同様にドアの四隅部分を用いる。特徴点の抽出には確率的Hough変換を用いる。確率的Hough変換は画面内での線分を検出することが可能であり、それらの交点を求める。そして、前回に推定されたカメラの位置と姿勢から環境モデル中のドアの四隅の3次元座標を画像平面上に投影し、その点に最も近い交点を特徴点として環境モデルとの対応付けを行う。この対応関係から線形近似によって射影行列 P を求める。そして、射影行列 P からカメラの位置と姿勢を推定する。

また、特徴点の追跡はSURF特徴量のマッチングに基づき行う。フレーム間においてSURFによる特徴点のマッチングを行い、特徴点付近のフレーム間での移動量を求める。そして、この移動量を前フレームにおいて推定された特徴点の位置に加算し、現フレームでの特徴点の位置を予測する。この予測された位置に最も近い線分の交点を特徴点として対応付ける。

提案するカメラ位置認識手法の有効性を

示すために、実験を行った。図5に示すようにドア部分が正しく重畳されている。このことから、カメラが光軸方向に回転した場合にもカメラの位置と姿勢が推定されることが分かる。



図5 カメラ位置の推定結果

②ヒューマンインタフェースシステム

確率的Hough変換とSURFによるカメラ位置認識手法を適用したヒューマンインタフェースシステムを開発した。

ヒューマンインタフェースシステムでは部屋番号を図6に示すように人間に提示した。図よりカメラが光軸方向に回転した場合においても重畳合成されていることが分かる。これにより開発したヒューマンインタフェースシステムの有効性が示された。



図6 提示画像

(4)環境モデルの生成手法

提案したカメラ位置認識手法には環境の3次元モデルが必要である。そこで、この環境モデルの作成を省力化するために、環境モデル生成手法を提案する。この手法ではカメラから得られる色彩画像と距離画像センサから得られる距離画像を併用することで、空間の3次元情報と色彩情報を含む環境モデルを生成する。

①カメラの位置と姿勢の推定

カメラの位置および姿勢は時刻 t でのカ

メラ画像の特徴点 $S(t)$ と時刻 $t-1$ での距離画像の特徴点 $I(t-1)$ とを対応付けることで推定する。

処理の手順としては、まず、図7に示すように時刻 $t-1$ と時刻 t でのカメラ画像に対してSURF特徴によるマッチングを行い、それぞれの画像において同一点となる特徴点 $S(t)$ と $S(t-1)$ を推定する。そして、時刻 $t-1$ での特徴点 $S(t-1)$ に対応する3次元座標 $I(t-1)$ を距離画像から求めることで、時刻 t でのカメラ画像の特徴点 $S(t)$ に対応する時刻 $t-1$ での3次元座標 $I(t-1)$ が推定される。

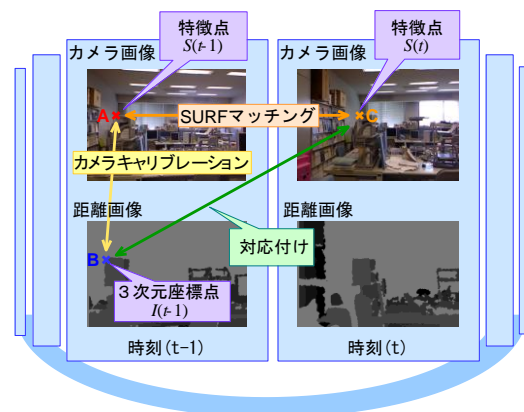


図7 画像間での対応付け

ただし、カメラ画像と距離画像は予めキャリブレーションを行い、カメラ画像における任意の点の3次元座標を距離画像から取得できるものとする。この推定された特徴点 $S(t)$ と $I(t-1)$ の対応関係から線形近似によって射影行列 P を求める。そして、射影行列 P からカメラの位置と姿勢を推定する。

②環境モデルの生成

推定されたカメラの位置・姿勢に基づいてカメラ画像を3次元空間にテクスチャとしてマッピングすることで、環境の3次元モデルを生成する。まず、距離画像を3次元空間へ射影する。この距離画像において隣接する画素が同一面上に存在する場合には、その3次元的な距離が小さくなる。そのため、隣接する近傍4点の距離が予め定めたしきい値以内であれば、その4点は同一面上に存在するものとする。そして、この4点によって構成される平面にカメラ画像をテクスチャとして貼り付けることで、3次元空間に面を構成する。また、フレーム間では重複する面情報が多く存在する。そこで、重複する面の3次元座標の中央値を求め、面を再構成する際に生じる誤

差を補正する。これらにより、カメラを実環境内で移動させることで、実環境の色彩情報を含む3次元環境モデルが生成される。

③環境モデルの生成実験

本手法の有効性を示すために環境モデルの生成実験を行った。実験は屋内の環境を対象とし、自然光・蛍光灯下の照明条件で行った。また、カメラ画像と距離画像の入力にはKinectセンサを用いた。

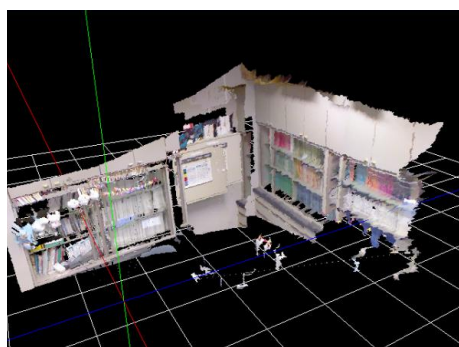


図8 生成された3次元空間モデル

生成された環境モデルを図8に示す。モデル化した部分は3次元情報が分かりやすいように部屋の角とした。図より部屋の角が再現されており、3次元情報が正しく推定されていることが分かる。また、本の色や棚などの色彩情報を伴っていることから、3次元情報と色彩情報を含む3次元空間モデルとして生成されていることが分かる。これにより環境モデル生成手法の有効性が示された。

4. 研究成果

本研究では、処理の高速化を目指したテンプレートマッチングによるカメラ位置認識手法と、確率的Hough変換とSURFによる光軸方向の回転に対して頑健なカメラ位置認識手法の2種類を提案した。さらに、これらのカメラ位置認識手法を適用したヒューマンインタフェースシステムを開発した。このヒューマンインタフェースシステムを用いることで屋内環境において拡張現実感により人間に情報を提供することを実現した。さらに、カメラが移動や回転した場合においても拡張現実感を継続することが可能であった。このことから、提案するカメラ位置認識手法およびそれを適用したヒューマンインタフェースシステムの有効性が示された。

開発したヒューマンインタフェースシ

テムはマーカやGPSなどを用いないことから、屋内において環境を選ぶことなく拡張現実感により人間に情報を提供することが可能である。そのため、このシステムを応用することで製造や物流分野では作業の効率化や作業者の安全性が向上すると考えられる。また、生活環境では家電や生活支援機器の人間との親和性の高いインタフェースとして活用できると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計2件)

(1) Mitsuru Jindai, Masahiro Kameda, Satoru Shibata and Tomonori Yamamoto, A Location System Combining Image Processing of Multiple Cameras with 3D Model of a Warehouse for Guideless Automated Forklift, Asia-Pacific Journal of Industrial Management, 査読有, Vol.3, Issue 1, 2012, pp.1-11

(2) 神代充, 渡辺富夫, 柴田論, 山本智規, 視線提示を考慮した握手要求動作モデルの開発, 日本機械学会論文集 (C編), 査読有, Vol. 77, No. 776, pp. 1429-1440, 2011

〔学会発表〕 (計14件)

① 太田 俊介, 神代 充, 山内 仁, 渡辺 富夫, 接近を伴う握手要求動作を生成する握手ロボットシステム, 第14回IEEE広島支部学生シンポジウム論文集, pp. 7-8, 2012

② 大矢 哲士, 神代 充, 山内 仁, 渡辺 富夫, 手渡しロボットシステムのための音声と手放し動作のタイミングの分析, 第14回IEEE広島支部学生シンポジウム論文集, pp. 245-246, 2012

③ 時枝 和平, 神代 充, 山内 仁, 渡辺 富夫, 握手ロボットのための人間の接近を伴う握手要求に対する握手応答動作の分析, 第14回IEEE広島支部学生シンポジウム論文集, pp. 287-288, 2012

④ 森若 直也, 神代 充, 山内 仁, 滝本 裕則, 距離画像とSURF特徴による3次元空間モデルの生成手法, 第14回IEEE広島支部学生シンポジウム論文集, pp. 485-486, 2012

⑤ 香山 沙織, 神代 充, 山内 仁, 滝本 裕則, 環境モデルと実環境のマッチングに

よるカメラの位置・姿勢推定手法, 第14回IEEE広島支部学生シンポジウム論文集, pp. 491-492, 2012

⑥大矢 哲士, 神代 充, 山内 仁, 渡辺 富夫, 人間とロボットの挨拶インタラクションにおける発声と手部動作のタイミング制御, 日本機械学会第22回設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp. 248-251, 2012

⑦Naoya Moriwaka, Saori Kohyama, Mitsuru Jindai, Hitoshi Yamauchi and Hironori Takimoto, Generation Method of Three-Dimensional Surround Model Using Range Image and SURF, Proceedings of The Tenth International Conference on Industrial Management, pp.674-678, 2012

⑧Saori Kohyama, Naoya Moriwaka, Mitsuru Jindai, Hitoshi Yamauchi and Hironori Takimoto, A Development of Estimation Method of Camera Position and Posture by Comparing 3D Surrounding Model with Input Image of Camera, Proceedings of The Tenth International Conference on Industrial Management, pp.634-639, 2012

⑨Shunsuke Ota, Mitsuru Jindai, Hitoshi Yamauchi and Tomio Watanabe, A Mobile Handshake Robot System for Generation of Handshake Request Motion during Active Approach to a Human, Proceedings of 1st International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems, No.26, pp.1-6, 2012

⑩Mitsuru Jindai, Shunsuke Ota, Hitoshi Yamauchi and Tomio Watanabe, Timing of Utterance and Hand Motion in Greeting Interactions Between Human and Robot, Proceedings of IADIS International Conference Interfaces and Human Computer Interaction 2012, pp.19-26, 2012

⑪Mitsuru Jindai, Shunsuke Ota, Hitoshi Yamauchi and Tomio Watanabe, A Small-Size Handshake Robot System for a Generation of Handshake Approaching Motion, Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, pp.80-85, 2012

⑫太田 俊介, 神代 充, 山内 仁, 渡辺 富夫, 四輪操舵移動機構を有する握手ロボットシステムの開発, 第20回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, No. 414, 2011

⑬神代 充, 渡辺 富夫, 握手接近動作を生成する小型握手ロボットシステム, 日本機械学会第21回設計工学・システム部門講演会論文集, pp. 521-524, 2011

⑭Mitsuru Jindai and Tomio Watanabe, Development of a Handshake Request Motion Model Based on Analysis of Handshake Motion between Humans, Proceedings of the 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.560-565, 2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神代 充 (JINDAI MITSURU)
岡山県立大学・情報工学部・教授
研究者番号: 30314967

(2) 連携研究者

渡辺 富夫 (WATANABE TOMIO)
岡山県立大学・情報工学部・教授
研究者番号: 30167150

(3) 研究協力者

亀田 昌宏 (KAMEDA MASAHIRO)
株式会社工学基礎・代表取締役