

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300048

研究課題名(和文) 携帯端末を用いた in-situ AR環境構築に関する研究

研究課題名(英文) Constructing in-situ AR environment for mobile devices

## 研究代表者

竹村 治雄 (Takemura, Haruo)

大阪大学・サイバーメディアセンター・教授

研究者番号：60263430

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究計画では、ユーザが環境にしながらして、物体や環境の復元、編集などを行う、in-situ AR 技術の開発を行った。復元した環境の編集を行うため、物体の幾何学的な性質である物体の形状だけでなく、テクスチャや光源環境といった、光学的な性質の推定手法を開発した。また、物体の編集を行うためのユーザインタフェースの開発を行った。研究を遂行した結果、時間に伴う環境の変化によって、カメラの位置推定や環境の復元が不安定になることがわかったため、それらの解決手法についての研究を行った。

研究成果の概要(英文)：In this project, we developed several methods for in-situ AR system including methods for object/environment reconstruction, methods object/environment authoring, photometric registration, and so on. To actualize editable AR environment, we developed not only the methods to estimate geometric properties including shape of an object and camera position and position but also the methods to estimate optical properties including texture of an object and lighting environment. In addition, we developed user interface for editing those properties. As a result of these development, the stability of the estimation of camera position and pose or reconstruction of environment decreases with time because real environment is constantly changing. Especially optical variation is critical for the feature point tracking. Therefore we tackled to develop a feature point tracking method robust for lighting variation.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：拡張現実感

### 1. 研究開始当初の背景

環境にいながらにして拡張現実感(AR)環境を提供する。in-situ AR システムはユーザが環境にいながら物体の復元、オーサリング等を行うことができる AR システムの総称であり、その有用性が期待されている。実用面では家具や建物など、簡単に動かすことのできない物体のレイアウトシミュレーションや、カラーリング、ライティングのシミュレーションなどが期待できる。また、実際の環境を利用したエンターテインメントとしても利用可能であり、お気に入りの人形等の形状復元に基づくインタラクティブなエンターテインメントシステムなども in-situ AR によって構築可能である。

しかし、このような in-situ AR システムを実現するには、幾つかの課題がある。一つは、端末の計算資源の制限である。AR では周囲の環境や物体の情報を取得し、最終的にはカメラ画像に重畳表示するが、in-situ AR ではあらかじめマーカ等を用意することが無く、カメラ画像から周囲の情報を取得する必要がある。効率的な計算手法も開発されているが、計算は比較的大規模になりがちである。一方、近年では AR 環境をスマートフォンやタブレット端末等の携帯端末で提供する研究が盛んでありユーザの利便性の点からもこれら携帯端末によって提供される AR システムは非常に有益であると言える。また、現実性向上のための計算資源を必要とする場合も多く、より現実性の高く安定した AR 環境を携帯端末で提供するためには、環境情報の取得を携帯端末の非力な計算資源で実現することが課題とされている。

別の課題として、物体の反射特性や光源環境の推定問題が挙げられる。上記の環境情報の取得に関する研究は周囲の物体とカメラの位置関係という、幾何学的な情報の取得のみである場合が殆どである。光源環境推定は研究例もあるが、AR を対象とした物体の反射特性に関する研究は比較的未発達と言え、課題が残されている。また、この問題は先述の携帯端末における計算ではさらに計算資源を圧迫する要因となり得る。

### 2. 研究の目的

本研究計画では上記課題を解決しつつインタラクティブな in-situ AR 環境を提供するシステムを開発する。具体的には、ユーザが簡単に物体や環境の復元を行い、それらを共有することでより高精細でリアリティの高い AR 環境を提供するシステムの構築を目的とする。このシステムはユーザに AR 環境を提供する端末と多数のユーザからの情報を収集、分析する基幹システムからなる。基幹システムでは、多数のユーザから収集した環境や物体の情報をを用いて、光源環境の推定や高精細な物体や環境の形状復元、反射モデル推

定などを行い、従来の in-situ AR では提供できなかった高精細でリアリティの高い AR 環境を提供する。また、これらの情報は随時蓄積し、物体認識によるラベル付けを行って再利用可能な物体のモデルを提供する。

これらの高精細な環境・物体の復元を実現するため、要素技術の開発を行う。要素技術としては、物体や環境の反射特性と光源環境に関する技術、物体および環境の幾何学的形状の計測に関する技術、計測された反射特性と形状を用いて物体や環境の認識を行い、復元した物体等にラベル付けを行う技術、物体や環境の復元、あるいは物体の動作記述などに用いられるユーザインタフェースに関する技術などがあげられる。

### 3. 研究の方法

反射特性・光源環境に関する研究では、実験用の制御された光源環境ではなく、実際の光源環境を対象とする必要がある。そのため、これまでの物体の反射モデルに関する研究のように、厳密な反射特性の推定を行うのではなく、物体のアピランスの改善を目的とした手法の開発を行う。物体の形状推定に関しては、特徴点ベースの手法(関連研究 3)や領域ベースの手法(関連研究 4)などを参考に実装しつつ、それらを統合し、様々な状況に対応できる物体形状推定手法の開発を行う。また、本研究では、形状の形状をさらに高精細化や改変を可能にするため、ユーザの手による編集が可能なものに発展させる。そのためのユーザインタフェースについても開発を行う。環境から特徴量を取得し、カメラの位置と姿勢を推定する、トラッキングに関する技術は、現在盛んに研究がされており、本計画ではトラッキングに関しては自主的に開発はおこなわず優れた既存手法(関連研究 1,2)を積極的に採用していく。

環境計測および環境認識では、幾何学的な形状を推定するという点においては物体の形状推定と認識と同様であるが、用いることのできるセンサや事前知識等が異なる。そのため、センサはカメラだけでなく、Kinect のような距離センサも利用する。ユーザインタフェースでは、物体の復元精度の向上やユーザの意図に沿った物体の改変を行うため、インタラクティブに形状の編集を行うユーザインタフェースの開発を行う。これらのユーザインタフェースは、タブレット端末、HMD 等の端末毎に適した手法を開発する。

### 4. 研究成果

反射特性・光源環境に関する研究では、ユーザが AR 体験を行っている背後で光源環境の推定を行う、光源環境推定手法を開発した。本手法は特別な機器や準備を必要としない光源環境の推定手法である。提案手法では多視点画像からの光源環境推定を行うが、光源環境のパラメータ推定とデータの蓄積をユ

ーザが体験している AR システムの背後で行う。その結果提案手法では画像の収集のための操作をユーザに殆ど要求しない。シミュレーションと実環境で評価実験を行った結果、提案システムが光源環境を推定し、その結果を用いて適切にバーチャル物体の影やハイライトが描画されることを示した(図1)(研究成果 1,3,4,21,22)さらに、光源環境推定手法を発展させ、複数の材質からなる環境から点光源の位置を推定する手法を開発した。(研究成果 1)

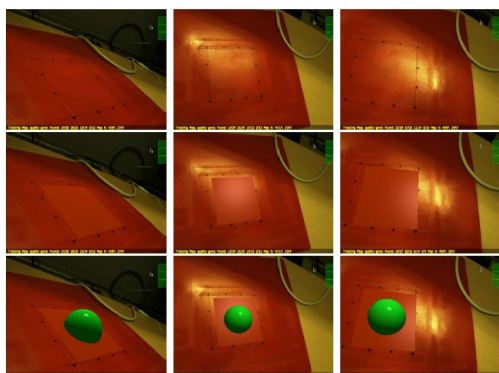


図1 光源環境推定の結果

物体の形状認識・復元では、復元対象の物体に含まれる自然特徴点群からドローネー四面体分割によってポリゴンメッシュを作成し、物体表面の三次元形状を復元する手法(研究成果 11)を実装した。本手法によって復元された物体の例を図2に示す。また、ICP アルゴリズム(関連研究 5)を応用し、物体移動から形状を復元する手法の開発を行った。

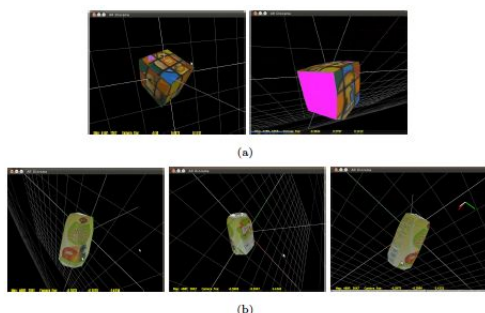


図2 提案手法(特徴点ベース)で復元された物体

環境認識・復元では、大規模な環境を対象とした特徴点の追跡や環境の復元手法の開発を行った。環境復元としては、RGB-D カメラを用いたリアルタイムな三次元実環境再構築手法の既存手法を拡張することで、リアルタイムで広域環境において環境の三次元的な変化の検出を行うことのできる手法を提案した。(研究成果 18)また、広域な環境の上での自己位置推定失敗時に自己位置の回復を行う手法を提案した。(研究成果 17)そして、この開発の中で、時間の経過に伴う環境の変化による環境復元の性能低下が予想

以上に大きいことが分かったため、研究計画を変更し、光源環境の変化に頑健な特徴点追跡手法の開発を行った。(研究成果 16)

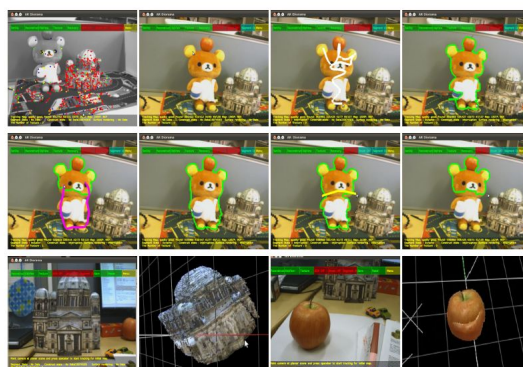


図3 提案手法(領域ベース)で復元された物体

ユーザインタフェースに関連する研究では、頭部搭載装置(Head Mounted Display, HMD)を用いた情報提示手法の開発を行った(研究成果, 111, 2, 9)。この手法では、HMDによる組み立て支援のための情報提示の際に、どのような提示手法が効果的かを実験で比較した。現実空間に情報を重畳する応用例として、机の上に文書の情報を重畳表示させる手法の開発と評価を行った。この研究では、机の上に置かれた論文等の文書を認識し、関連研究などの情報を重畳表示する。もう一つのユーザインタフェース開発として、タブレット端末を用いた AR 環境の編集システムを開発した(研究成果 12, 22)形状推定の結果と HMD による情報提示を応用し、物体のテクスチャを拡張現実空間中で張り替える手法を開発した(研究成果 11, 5, 6, 7, 19)。本計画では、実世界を編集した結果を重畳表示するため、実際の物体とバーチャルな物体の位置関係を正確に得る必要がある。しかし、光学透過型 HMD の場合、その位置合わせが非常に難しい。本研究では光学透過型 HMD に正確に情報提示を行うためのキャリブレーション手法の開発を行った。この研究では角膜反射像を用いてキャリブレーションを行う手法を開発した。(研究成果 IV)。

#### < 関連研究 >

1. G. Klein, D. Murray, Parallel Tracking and Mapping for Small Workspaces," ISMAR'2007.
2. R. A. Newcombe, A. J. Davison, Live dense reconstruction with a single moving camera," CVPR'2010.
3. Q. Pan, G. Reitmayr, T. Drummond, ProFORMA: Probabilistic Feature-based On-line Rapid Model Acquisition," BMVC'2009.
4. J. Bastian, B. Ward, R. Hill, Interactive modelling for AR

- applications," ISMAR'2010.
5. P. J. Besl and N. D. McKay, A Method for Registration of 3-D Shapes, In Robotics-DL tentative, pp. 586-606. International Society for Optics and Photonics, 1992.
5. 主な発表論文等  
〔雑誌論文〕(計3件)
- I. 間下 以大, 安原 広幸, プロプスキ ア  
レクサンダー, 清川 清, 竹村, 治雄,  
“インバースレンダリングに基づく拡張  
現実感のための光源環境と反射特性のオン  
ライン推定”電気学会論文誌 C, Vol.  
134, No. 10, pp. 1473-1480, 2014 (査  
読あり)
- II. Atsushi Umakatsu, Kiyoshi Kiyokawa,  
Tomohiro Mashita, Haruo Takemura,  
“Pinch-n-Paste: Direct Texture  
Transfer Interaction in Augmented  
Reality,” Transactions of Virtual  
Reality Society of Japan, Vol. 19, No.  
2, pp. 141-151, 2014. (査読あり)
- III. Min Khuong Bui, Kiyoshi Kiyokawa,  
Andrew Miller, Joseph J. LaViola Jr.,  
Tomohiro Mashita, Haruo Takemura,  
“Context-related visualization modes  
of an AR-based Context-Aware Assembly  
Support System in Object Assembly,”  
Transactions of Virtual Reality  
Society of Japan, Vol. 19, No. 2, pp.  
195-205, 2014. (査読あり)
- IV. Alexandor Plopski, Yuta Itoh,  
Christian Nitschke, Kiyoshi Kiyokawa,  
Gudrun Klinker, and Haruo Takemura,  
“Corneal-Imaging Calibration for  
Optical See-Through Head-Mounted  
Displays,” IEEE Transaction on  
Visualization and Computer Graphics  
(TVCG), 2015. (査読あり, 採録決定済み)  
〔学会発表〕(計19件)
1. Alexander Plopski, Tomohiro Mashita,  
Kiyoshi Kiyokawa, and Haruo Takemura,  
“Reflectance and Light Source  
Estimation for Indoor AR  
Applications,” Proc. of the IEEE  
Virtual Reality 2014, Mar. 2014. (査  
読あり)
2. Bui Minh Khuong, Kiyoshi Kiyokawa,  
Andrew Miller, Joseph J. LaViola Jr.,  
Tomohiro Mashita, and Haruo Takemura,  
“The Effectiveness of an AR-based  
Context-Aware Assembly Support System  
in Object Assembly,” Proc. of the IEEE  
Virtual Reality 2014, Mar. 2014. (査  
読あり)
3. Tomohiro Mashita, Hiroyuki Yasuhara,  
Alexander Plopski, Kiyoshi Kiyokawa  
and Haruo Takemura, “Parallel  
Lighting and Reflectance Estimation  
based on Inverse Rendering,” The 23rd  
International Conference on Artificial  
Reality and Telexistence (ICAT2013),  
Tokyo Japan, Dec 2013. (査読あり)
4. Tomohiro Mashita, Hiroyuki Yasuhara,  
Alexander Plopski, Kiyoshi Kiyokawa,  
Haruo Takemura, “In-situ Lighting and  
Reflectance Estimation for indoor AR  
systems,” IEEE International Symposium  
on Mixed and Augmented Reality  
(ISMAR2013), pp. 275-276. Adelaide,  
Australia, Oct 2013. (査読あり)
5. Atsushi Umakatsu, Tomohiro Mashita,  
Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura,  
“Pinch-n-Paste: Direct Texture  
Transfer Interaction in Augmented  
Reality,” IEEE Virtual Reality 2013,  
Orlando Florida, USA. (査読あり)
6. Atsushi Umakatsu, Tomohiro Mashita,  
Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura:  
“Pinch-n-Paste: Direct Texture  
Transfer Interaction in Augmented  
Reality,” ACM Symp. on Virtual Reality  
Software and Technology (VRST),  
Toronto, Canada, Dec. 2012. (査読あり)
7. Atsushi Umakatsu, Tomohiro Mashita,  
Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura,  
“Touch-n-Paste: Direct Texture  
Transfer Interaction in AR  
Environments,” International  
Symposium on Mixed and Augmented  
Reality 2012, Atlanta, Georgia, USA,  
Nov 2012. (査読あり)
8. Alexander Plopski, Tomohiro Mashita,  
Kiyoshi Kiyokawa, and Haruo Takemura,  
“Reflectance and Lightsource  
Estimation for Indoor AR  
Applications,” The 7th Korea-Japan  
Workshop on Mixed Reality, April 2014.  
(査読無し)
9. Bui Minh Khuong, Kiyoshi Kiyokawa,  
Tomohiro Mashita, and Haruo Takemura “A  
Study on an AR-based Toy-block Assembly  
Support System with Automatic Error  
Detection,” Proc. Korea-Japan Workshop  
on Mixed Reality (KJMR), Okinawa, Japan,  
Apr. 2013. (査読無し)
10. Atsushi Umakatsu, Thammathip  
Piumsomboon, Adrian Clark, Tomohiro  
Mashita, Kiyoshi Kiyokawa, Haruo  
Takemura, and Mark Billingham, “AR  
Diorama: Natural hand and Tangible AR  
Interaction System,” Proc. Korea-Japan  
Workshop on Mixed Reality (KJMR), Seoul,  
Korea, Apr. 2012. (査読無し)
11. Hiroyuki Yasuhara, Tomohiro Mashita,  
Kiyoshi Kiyokawa, and Haruo Takemura,  
“A 3D Reconstruction Method Based on  
Appearance Consistency for an AR  
Diorama System,” Proc. Korea-Japan

- Workshop on Mixed Reality (KJMR), Seoul, Korea, Apr. 2012. (査読無し)
12. Junya Ochi, Tomohiro Mashita, Kiyoshi Kiyokawa, and Haruo Takemura, "An AR Interior Design System using a Tablet Device and a Real-time Range Sensor," Proc. Korea-Japan Workshop on Mixed Reality (KJMR), Seoul, Korea, Apr. 2012. (査読無し)
  13. 工藤 彰, Alexander Plopski, Tobias Hollerer, 間下以大, 竹村 治雄, 清川 清, "異なる光源環境における画像特徴の頑健性の調査", 情処報 CVIM, Vol. 2015-CVIM-195, No. 65, 奈良, Jan 2015. (査読無し)
  14. 古都 知哉, 阿部 哲朗, プロプスキ アレクサンダー, 間下以大, 清川 清, 竹村 治雄, 福田 登仁, "工場内巡回ロボットにおける広域実環境再構築システムのための自己位置回復手法", 電子情報通信学会 技術研究報告 Vol. 113, No. 402, 207-212, Jan 2014. (査読無し)
  15. 阿部 哲朗, 古都 知哉, Alexander Plopski, 間下以大, 清川 清, 竹村 治雄, 福田 登仁, "工場内巡回ロボットののための RGB-D カメラを用いた広域実環境再構築システム的设计", 電子情報通信学会 MVE 研究会, 利尻, Sep 2013 (査読無し)
  16. 馬勝 淳史, 間下以大, 清川 清, 竹村 治雄, "Pinch-n-Paste: Direct Texture Transfer Interaction in Augmented Reality", 第18回バーチャルリアリティ学会大会, 12D-4, 大阪, Sep 2013. (査読無し)
  17. 安原 広幸, 間下以大, プロプスキ アレクサンダー, 清川 清, 竹村 治雄, "インバースレンダリングに基づく拡張現実感のための光源環境と物体の反射特性の推定", 第18回バーチャルリアリティ学会大会, 32D-2, 大阪, Sep 2013. (査読無し)
  18. 安原 広幸, 間下以大, 清川 清, 竹村 治雄, "ARのための光源環境と物体の反射特性のオンライン推定", 電子情報通信学会 技術研究報告 Vol. , No. , pp. -, (MVE2012-), 京都, Jan. 2013. (査読無し)
  19. 越智 惇也, 間下以大, 清川 清, 竹村 治雄, "タブレット端末と据置型距離センサを用いたARインテリアデザインシステム", ヒューマンインタフェースシンポジウム 福岡, pp. 869-872, Sep. 2012. (査読無し)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

竹村 治雄 (TAKEMURA Haruo)  
大阪大学・サイバーメディアセンター・教授

研究者番号 : 60263430

### (2)研究分担者

清川 清 (KIYOKAWA Kiyoshi )  
大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授  
研究者番号 : 60358869

間下 以大 (MASHITA Tomohiro)  
大阪大学・サイバーメディアセンター・講師  
研究者番号 : 00467606