

特集 ■ 新しい飛躍の時代を迎えた複合現実感

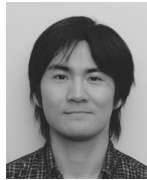
# TrakMark WG 活動報告

## AR/MR 位置合わせ & トラッキング手法の評価方法策定



柴田史久  
SHIBATA FUMIHISA

立命館大学



池田 聖 奈良先端科学技術大学院大学  
IKEDA SEI



蔵田武志 産業技術総合研究所  
KURATA TAKESHI

### 1. はじめに

現実世界を電子的に増強する拡張現実感 (Augmented Reality; AR) や現実世界と仮想世界を融合する複合現実感 (Mixed Reality; MR) は、人工現実感 (Virtual Reality; VR) の発展形であり、VR 分野の中でも大きな研究領域を形成している。既に、万博やテーマパークにおける大型アトラクションで採用されたり、携帯電話を利用した AR アプリケーションが話題となるなど、魅力的な応用分野を生み出す潜在能力があることは周知の事実である。

本学会内では、1997年に複合現実感研究委員会 (SIG-MR) が発足し、研究会や国際会議の開催、4回に及ぶ論文誌複合現実感特集号の企画・編集等の活動を行ってきた。当該分野における我が国の貢献は大きく、世界を先導してきたと言っても過言ではない。国際研究集会 ISMAR (International Symposium on Mixed and Augmented Reality) では、その設立の提言から、現在の運営まで中心的役割を果たしてきた。

2008年の日本 VR 学会大会パネルセッション [1] で議論したように、AR/MR 分野の研究課題は数多いが、今なお現実世界と仮想世界の「幾何学的整合性 (位置合わせ)」と「光学的整合性 (画質合わせ)」は、中心となる研究テーマである。とりわけ、前者は毎年の ISMAR で「Tracking」と称するセッションが複数組まれるように、研究開発の最重要課題であり、世界の研究グループが覇を競う最前線となっている [2-4]。

研究が活発で数多くの手法が生まれる分野には、それらを正しく客観的に評価する方法が必要となってくる。そのためには、評価項目を整理し、評価基準を定め、テストデータを整備する必要がある。基盤や体系が確立すれば、AR/MR 技術を実利用したい産業界にも貢献できる。また、既存の位置合わせ手法を凌駕しようとする研究の挑戦心を生むことにも繋がる。

そうした背景と目的から、SIG-MR 内に「AR/MR トラッキング手法の評価方法 & テストベッド策定に関するワーキンググループ」を設けることにした。以降では、策定する評価方法を TrakMark と呼び、ワーキンググループを TrakMark WG とする。本稿では、TrakMark WG のこれまでの活動経過を報告する。

### 2. WG 体制と活動目標

TrakMark WG は、2009年5月23日に開催された第33回複合現実感研究委員会 (於、公立はこだて未来大学) にて、設立に向けた提案を行い、正式に SIG-MR の下部組織として設置が承認された。現時点では、SIG-MR に参加する委員の所属研究室を中心に、表1に示すメンバーが参加している。

表1 TrakMark WG の体制

役割	氏名	所属
委員長	田村秀行	立命館大学
副委員長	加藤博一	奈良先端科学技術大学院大学
幹事 (50音順)	池田 聖	奈良先端科学技術大学院大学
	佐藤智和	奈良先端科学技術大学院大学
	柴田史久	立命館大学
メンバー (50音順)	植松裕子	慶應義塾大学
	亀田能成	筑波大学
	北原 格	筑波大学
	清川 清	大阪大学
顧問 (50音順)	蔵田武志	産業技術総合研究所
	大田友一	筑波大学
	斎藤英雄	慶應義塾大学
	竹村治雄	大阪大学
	横矢直和	奈良先端科学技術大学院大学

WG の設置後、直ちに幹事会及び WG 会合を開き、今後の活動目標について議論した。設置直後の広報活動として、2009 年の VR 学会大会にてオーガナイズドセッションを開催し日本国内に向けての呼びかけ [5] を行うとともに、ISMAR 2009 のスペシャルセッションにて、海外の研究者に活動の趣旨を周知し、賛同者を集めることとした。以降、1～2 ヶ月に 1 回のペースで WG 会合を開き、適宜役割分担を行って、評価方法の策定を目指す。ISMAR 2010 では、その第 1 次案 (TrakMark 1.0) を公表し、国内外からフィードバックを得る。さらに、ISMAR 2011 までに一定レベルの評価方法を策定した上で第 2 次案 (TrakMark 2.0) を公表し、そこで得られたフィードバックを元に改訂を行い、当面の活動を終える。

### 3. 評価方法策定の基本方針

TrakMark WG が目標とするのは、AR/MR における位置合わせ及びトラッキング手法に関して、基準となる評価方法を策定し、その評価結果を広く国内外に公開することである。評価結果は、新たな位置合わせ手法・トラッキング手法を追究する研究者のみならず、AR/MR 技術の活用を考える他の人々にも提供することを目指している。

このような評価方法を策定する上で検討すべき事項は、次の 3 点である。

- (1) どのような種類の位置合わせ手法・トラッキング手法を対象とするのか (評価対象)
- (2) 具体的にどのような項目について評価を行うのか (評価項目)
- (3) どのような形で評価を行うのか (評価手順)

以降では、上記の 3 点について検討してきた結果について述べる。

### 4. TrakMark 1.0 策定に向けて

#### 4.1 対象とする位置合わせ手法

AR/MR のための位置合わせ手法としては、大きく

- ・物理センサを利用するもの
- ・カメラで取得した画像を用いる手法
- ・それらのハイブリッド的利用法

に分類できる。近年では、ビデオシースルー型のシステムとの親和性や計算能力の飛躍的な向上を背景に、2 番目の画像を用いた手法が主流となりつつある。

画像を用いた手法としては、研究が始まった当初は、処理の高速化が最大の課題であり、ARToolKit に代表される人工的なマーカを使用した手法が広く使われていた。しかしながら、最近では、計算機の性能向上にとともに、人工マーカを用いず自然特徴を用いた手法の

研究が盛んである [3][4]。

そこで、TrakMark では、カメラからの画像を用いた位置合わせ手法・トラッキング手法を対象とする。具体的には、カメラの内部パラメタが既知であることを前提に、カメラ画像中に存在する何らかの指標を用いてカメラの外部パラメタ (位置・姿勢) を推定する手法を対象とする。当初は、単眼のカメラ画像を用いる手法を中心に検討を進め、複数画像を用いた手法や他の物理センサからの情報を利用する手法へと対象を徐々に広げる予定である。なお、人工マーカを用いた手法については、後述する映像シーケンスの準備方法の問題などから、実用上の参考評価とすべく、ARToolKit などの代表的な手法についてのみ評価結果を公開することとする。

#### 4.2 評価項目

これまで提案されてきた位置合わせ手法やトラッキング手法では、様々な角度から評価や関連研究との比較がなされているが、TrakMark では、共通となる定量的な評価項目のみを設定し、すべてを網羅することを目指さない。具体的な評価項目としては、「精度」「実行速度」「正答率」のみを設定し、手法ごとの特徴については、備考欄を活用して公表する。これは例えば、暗いシーンでも安定して位置姿勢を検出可能な手法の場合、その旨を備考欄に記載することを意味する。これによって評価項目が煩雑化することを防いでいる。

その一方、様々な実応用への適応度を測るために、後に評価手順の項で述べる映像シーケンスは多数のバリエーションを準備する。例えば、映像シーケンスの中に前述の暗いシーンを含めておくことによって、結果的に暗いシーンで安定した手法が確認できることになる。

精度について計測する場合、

- (a) 世界座標系とカメラ座標系の変換行列について真値との差を評価する (3 次元での評価)
- (b) 重畳描画する CG イメージの画面上でのズレを評価する (2 次元での評価)

という 2 通りが考えられる (図 1 参照)。AR/MR の実現を



図 1 精度の計測方法。左図は、3 次元空間におけるカメラ位置の誤差を示したもので、右図は、2 次元空間における CG の再投影誤差を示したものである。

主目的と考えた場合は、CGの位置ズレについての評価が重要で、3次元座標系におけるカメラの位置・姿勢についてはそこまで重要ではないが、それだけで評価項目から排除する理由とはならない。どのような状況で位置合わせ手法を利用するかにも依存するため、両方の計測方法を採用することとする。前者については、真値(カメラの実際の位置・姿勢)を如何にして計測するかについても検討が必要である。どのような物理センサを用いたとしても、何らかの計測誤差が含まれるため、現時点では、この種の計測結果を参考値として扱い、あわせて計測したセンサの仕様に関する情報として公開することとする。

実行速度については、共通の計算機環境における、レイテンシとスループットの両方を評価項目とする。また、正答率とは、フレーム毎に位置・姿勢の検出が成功したか失敗したかをシステムが判断した結果とする。

これらの評価項目についての結果は、簡便な提示方法としては、平均や分散、最大値、最小値などを採用する。一方、詳細な結果を示す場合は、評価の対象とした映像シーケンスごとに、時系列の結果を提示することとする。これにより、どのような映像シーケンスのどのようなシーンにおいて、その手法が頑健であるかといった情報を得ることができる。

### 4.3 評価手順

図2はTrakMarkのワークフローを図示したものである。図に示すとおり、TrakMarkでは最初に、AR/MR技術の利用形態(シナリオ)をいくつか想定し、シナリオ毎にそれを表現した映像シーケンスとその際のカメラの位置・姿勢の真値(もしくは参考値)などを準備する。以降では、これを映像シーケンスパッケージと呼ぶ。並行して、国内外のAR/MR研究者から、評価対象の位置合わせ手法を収集する。その後、収集した位置合わせ手法を使って各映像シーケンスの位置姿勢を検出する。そ

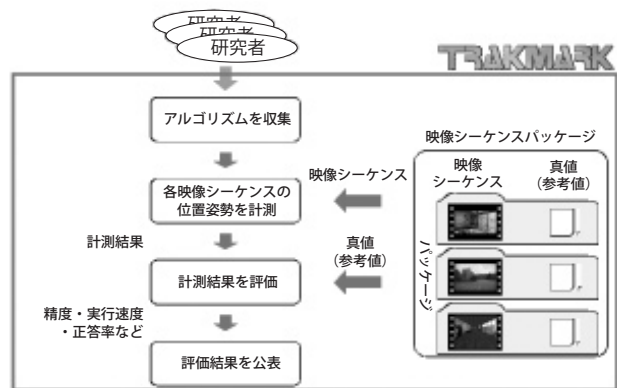


図2 TrakMarkのワークフロー

の上で、検出結果と真値(もしくは参考値)を比較し、結果を整理した上で公表する。

様々な位置合わせ手法の長所・短所を明らかにするためには、AR/MR技術が使用されるシーンを想定した良いシナリオが必須である。すなわち、評価のための映像ではなく、実際にAR/MRが利用されるようなシーンを多数準備することにより、個々の位置合わせ手法の得意とするシーン、不得意シーンを明らかにするとともに、AR/MR技術の活用を考える人々に向けての位置合わせ手法選択の指針となることを目指す。

映像シーケンスパッケージに含めるべき具体的なバリエーションとしては、カメラの動き(直線移動、回転、複雑さ)、移動物体、オクルージョン、照明変化、レンズ歪み、フォーカス、画質、ホワイトバランス、シャッタースピード、解像度、視野角、シーンの複雑さ/単純さ/規則性、など多岐にわたる。想定シナリオに沿ってこれらのバリエーションを組み合わせたパッケージを準備する。

### 4.4 パッケージの内容

映像シーケンスパッケージには、以下に示す内容を含めることとした。

- 映像シーケンス
  - 静止画による時系列画像のアーカイブ。画像のフォーマットは、Jpeg, PNG, Rawなどを想定し、次の命名規則に沿ったファイル名をつける。  
[ファイル名の命名規則]  
シーケンス名. 時. 分. 秒. ミリ秒. 拡張子  
参考のために、動画ファイルを含むこともあるが、評価の際は静止画を用いることとする。
- 真値(参考値)
  - 上記の各ファイル(フレーム)に対応した位置・姿勢の真値(参考値)を表形式で記述したもの。
- パッケージの情報
  - 画像サイズなどの画像情報、カメラの仕様、シーンの概略図、参考値を計測したセンサ等の仕様、などを記述したテキストファイル。
- キャリブレーション用画像
  - カメラキャリブレーションを行うための静止画のアーカイブ。

### 4.5 サンプルパッケージ

これまでに複数回開催したWG会合において、AR/MR技術の利用を想定した約30のビデオを持ち寄り、作成するパッケージについて検討した。その結果、暫定版として以降で説明する三つのパッケージを準備し、TrakMarkのホームページ[6]にて公開している。



●時代劇セットパッケージ

屋内の決められた範囲において、動き回りながらシーンを観測する事例として、時代劇のセットを対象とした映像撮影をシナリオとして選択した。当該環境には、カメラの位置・姿勢を計測可能な物理センサ（位置計測センサ：InterSense 社 IS-900 SCT，ロータリーエンコーダ：SHOTOKU 社 TU-03VR）が存在するため、参考値はこれらを使用して計測した。パッケージには、合計で七つの映像シーケンスが含まれている。その内二つは、環境内に位置姿勢が既知である ARToolKit マーカを配置しており、学習用途に利用可能となっている。

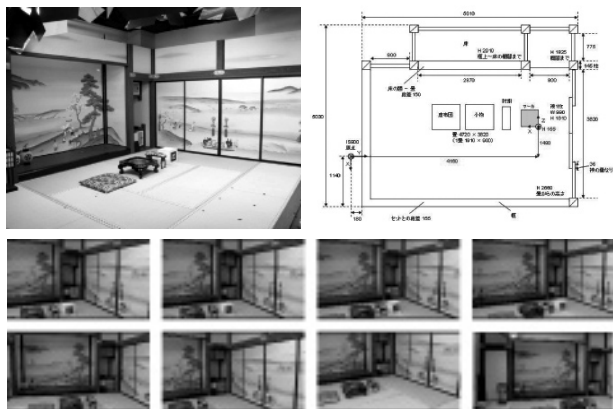


図 3 時代劇セットパッケージの内容。左上図は時代劇セットの外観。右上図はセットの見取図。下の 2 列は映像シーケンスの一部。  
\*口絵にカラー版掲載

●キャンパスパッケージ

屋外を移動する事例として、大学のキャンパスを対象とした歩行者ナビゲーション／ガイドをシナリオとして取り上げた。パッケージには、通常カメラによる映像シーケンスが一つと、学習用に全方位型マルチカメラ (Point Grey Research 社 Ladybug) による映像シーケンス一つが含まれている。カメラの正確な位置姿勢を計測することが難しいため、各フレームの画像上でトータルステーションを用いて計測した自然特徴点の 3 次元位置を手動で対応付け、PnP 問題を解くことで算出している。この参考値は、10 フレーム毎に作成している。

●学会会場パッケージ

三つ目のシナリオとして、ホテルで開催された学会会場内を歩き回る歩行者ナビゲーション／ガイドを選択した。このパッケージの特徴は、すべての映像を CG によって描いている点にある。産総研の研究成果 [7] を利用して、昨年度開催された ISMAR 2009 の会場内 (Marriott Orlando Downtown) を 3D モデルとして再現し、この CG データを元にして歩行者視点の映像シーケンスを作成している。

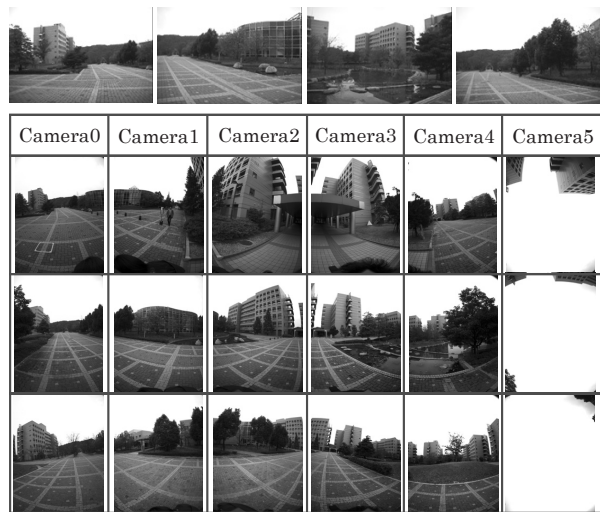


図 4 キャンパスパッケージの内容。上は映像シーケンスの一部。下は、全方位型マルチカメラのカメラ毎の映像シーケンスの一部。

したがって、このためパッケージには、カメラの位置姿勢の参考値ではなく真値が含まれることになる。

現在、学会会場パッケージには、三つの映像シーケンスが含まれているが、当然ながらカメラパスや解像度など様々なパラメータを変更した映像シーケンスを生成可能であり、今後、TrakMark に協力してくれる研究者らの意見を取り入れて拡充を図る予定である。また、CG モデルを COLLADA フォーマット (dae ファイル) として公開する。

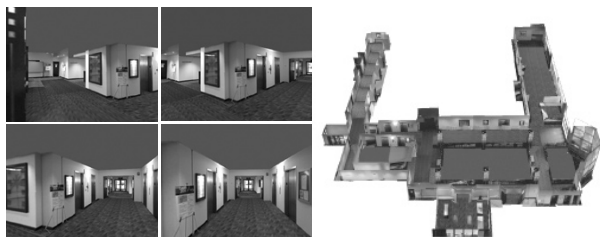


図 5 学会会場パッケージの内容と 3D モデルデータ。右図は 3D モデルデータ。残りは映像シーケンスの一部。

4.6 国内外への呼びかけ

日本 VR 学会大会及び ISMAR 2009 において、国内外の研究者に向けて TrakMark への協力を呼びかけてきた。現時点までに、metaio GmbH (ドイツ) や S. Feiner 教授 (コロンビア大, 米国) など、国内外の企業や研究者らから協力の申し出を受けている。以下の四つの役割について引き続き募集しているので、興味のある方は info@trakmark.net まで連絡されたい。

- ・プログラム提供者

評価対象のプログラムを提供する研究者.

- ワーキングメンバ  
映像シーケンスパッケージの作成や参考値の計測・作成に協力してくれる人.
- コメンテータ  
TrakMark の活動についてコメントしてくれる人.
- 広報担当者  
映像シーケンスや評価結果を公表する Web ページの整備を担当する人.

## 5. おわりに

WG の発足から 10 ヶ月余りが過ぎ、開催した会合も 6 回を数える。ISMAR 2009 のスペシャルセッションでは、好意的に受け入れられるとともに、多数の研究者が議論に加わった。ISMAR で行われている Tracking Competition との連携を提案する意見や、物理センサを組み合わせたものへの拡張など、建設的な意見が目立った。それだけ、関係者間の中でも、AR/MR 位置合わせ手法、追跡手法の決定的な手法を見極めたいという想いが広くあるのだろう。現在、WG では 4.5 節で述べた映像シーケンスのサンプルパッケージを公開し、TrakMark の協力者らに意見を求めるとともに、アルゴリズムの収集や計測結果の評価などを進めている。

こうした労力と客観性を要する作業は、1 研究グループの努力で解決できるものではなく、学会内の有識者と有カグループのボランティア精神によって初めて達成できるものである。この活動はまた、これまで世界の AR/MR 分野を先導してきた我が国の次なる国際貢献であり、研究レベルを常に世界の第一線に保つための活動と位置づけている。

本稿をお読みの学会員の中で、TrakMark にご興味のある研究者がおられれば、随時、ご連絡いただきたい。

## 参考文献

- [1] 亀田, 蔵田, 清川, 稲見, 伴, 苗村, 神原, 黒田, 前田: MR・AR・VR の現状 何ができて何ができていないのか? これから何をやるべきか?, 日本 VR 学会第 13 回大会論文集, pp. 461-465 (2008)
- [2] 佐藤, 内山, 田村: 複合現実感における位置合わせ手法, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 8, No. 2, pp.171-180 (2003)
- [3] 加藤: AR/MR における幾何位置合わせ手法の現状—人工マーカを使った手法の研究動向と課題, 日本 VR 学会第 14 回大会論文集, 3C2-1 (2009)
- [4] 佐藤, 横矢: AR/MR における幾何位置合わせ手法の現状—自然特徴を使った手法の研究動向と課題, 日本 VR 学会第 14 回大会論文集, 3C2-2 (2009)
- [5] 田村, 柴田: WG 活動報告 AR/MR 位置合わせ & トラッ

キング手法の評価方法策定, 日本 VR 学会第 14 回大会論文集, 3C2-3 (2009)

- [6] TrakMark, <http://www.trakmark.net/>
- [7] T. Ishikawa, T. Kalaivani, M. Kouroggi, A. P. Gee, W. Mayol, K. Jung, T. Kurata: In-Situ 3D Indoor Modeler with a Camera and Self-Contained Sensors, In Proc. 13th Int'l Conf. on Human-Computer Interaction (HCI2009), LNCS 5622, pp. 454-464 (2009)

## 【略歴】

柴田史久 (SHIBATA Fumihisa)

立命館大学 情報理工学部 准教授

1996 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。1999 年同 研究科博士後期課程修了。大阪大学産業科学研究所助手を経て、2003 年より立命館大学理工学部助教授。現在、同大情報理工学部准教授。博士(工学)。モバイルコンピューティング、複合現実感等の研究に従事。本学会複合現実感研究委員会委員、IEEE 等の会員。本学会学術奨励賞及び論文賞受賞。

池田 聖 (IKEDA Sei)

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 助教

2001 年広島大学理学部物理学科卒業。2006 年、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。現在、同大情報科学研究科助教。コンピュータビジョン、複合現実感の研究に従事。博士(工学)。電子情報通信学会、情報処理学会、日本バーチャルリアリティ学会、各会員。

蔵田武志 (KURATA Takeshi)

産業技術総合研究所 サービス工学研究センター

サービス工学企画室長

1996 年筑波大大学院工学研究課修士課程修了。現在、産業技術総合研究所サービス工学研究センターサービス工学企画室長。2003-2005 年 JSPS 海外特別研究員(ワシントン大客員研究員)を兼務。2009 年から筑波大学大学院准教授(連携大学院)を兼務。サービス工学、複合現実情報循環の研究に従事。IEEE、日本バーチャルリアリティ学会、電子情報通信学会、情報処理学会各会員。博士(工学)。