



Technical
Survey

技術解説

マーカレスAR

亀田 能成[†]

マーカレスARとは、シーン中の画像特徴をもとにリアルタイムにカメラをトラッキングすることでARを実現する技術である。本稿では、周辺技術に対するマーカレスARの位置づけを紹介した上で、代表的なマーカレスARと考えられているPTAMを例にとりつつ、利点と利用に当たっての注意点について述べる。

キーワード：カメラキャリブレーション、カメラトラッキング、リアルタイム処理、Visual-SLAM、PTAM、キャスパーカートリッジ

1. ま え が き

マーカレスARは、これまで提案されてきたさまざまなAR (Augmented Reality) のための技術のなかでも、とりわけAR発展の可能性を秘めた手法として注目を集めている。マーカレスAR研究の進展は画像処理研究とハードウェアの進歩に依っているが、本稿ではそれぞれの研究の詳細には触れず、マーカレスARの利用を検討している会員諸氏に、周辺技術に対するマーカレスARの位置づけと、その利用に当たっての注意事項がわかるような解説となるよう心がけた。記事の後半では、マーカレスARの実現例として、複合現実感の研究分野で高い評価を得ているG. KleinらのParallel Tracking and Mapping (略称PTAM)¹⁾を概観し、そこからマーカレスARの特性と性能について議論する。また、読者らが実際に体験しやすいように、ARデモ実行環境を用意した。興味のある方は、実際に各自でマーカレスARを実行してみることで、本技術の現在を実感してほしい。

さて、AR (Augmented Reality: 拡張現実感) の本旨は、ヒューマンインタフェースにおける現実世界と仮想空間との融合である。広義にはARには視覚に限らずさまざまな感覚に対するアプローチがあるが、マーカレスARは、その中で視覚に関連付けられる技術であると言える。

視覚におけるARについては、さらに、利用者の肉眼による直視に対するARと、利用者の肉眼に代わるカメラに対するARとに分類できる。

前者によるARの実現は、ARの究極の姿ではあるが、その実現には、オプティカルシースルー式のヘッドマウントディスプレイ (HMD) か、現実空間中の任意の3次元位置に直

接3次元表示が可能なディスプレイ^{*1}が必要であり、いずれも一般的に利用するには敷居が高いのが現状である。

それに対して、後者の、肉眼の代わりとなるカメラに対するARは、カメラとディスプレイがモバイル端末上にほぼ標準装備されていることから、社会的に環境が整っていると言える。これがビデオシースルーと呼ばれる方式である^{*2}。その中で、事前に周辺環境に明示的な操作や準備をしなくてもARを実現できる技術を、本稿ではマーカレスARと呼ぶ。

2. マーカレスARにおける問題の定義

マーカレスARを実現するためには、現実世界に対するカメラの相対位置姿勢をリアルタイムで推定することが必要である。これが実現できる条件として、現実世界が静止していること、現実世界に位置合わせの手がかりになるための特徴点が十分に存在すること、さらにはシステム側で計算コストの高い画像処理が実行できること、が挙げられる。

2.1 カメラ位置姿勢推定の目標精度

カメラ位置姿勢推定の問題は、言い方を変えれば、カメラに固有の座標系 (以後カメラ座標系) と、ARをするために現実世界のどこかに設定した座標系 (以後世界座標系) との間を対応付ける6自由度の剛体変換をリアルタイムに求める問題である^{*3}。この世界座標系とカメラ座標系との間の剛体変換は「正確で高速」に求められるべきである。

ビデオシースルー方式のARにおける「正確で高速」とは、カメラで撮影して得られる画像中の現実世界の物体像と、仮想物体を画像に投影して得られるCG像とを、画像上で「1

[†] 筑波大学

"Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces (PTAM) Augmented Reality" by Yoshinari Kameda (University of Tsukuba, Tsukuba)

*1 残念ながら実用的なレベルのものは存在しない。

*2 ビデオ式HMDとビデオカメラを組み合わせたビデオシースルー方式が昔は研究として主流であった。HMDがいつまでも普及しないことと、モバイル端末の性能向上したことから、現在は、プラットフォームとしてモバイル端末をベースにするほうが主流である。

*3 座標に斉次表現を用いた場合、移動と回転を両方含んだ4×4の剛体変換行列一つで表現される。

画素未満の精度」で一致させることを「毎フレーム」行うことである。

カメラの回転と移動に分けてこの問題をもう少し考えてみよう。

典型的なカメラ自己水平回転の例として、例えば、カメラの水平画角が 40.0° 、得られるビデオ画像の水平画素数が1920画素としてみると、1画素分の水平回転は $40.0/1920 \approx 0.02083$ [deg/pixel] *4となる。つまり、 0.02083° 以下の精度で回転を計測できてはじめて正確なARといえる。

一方、移動に関しては、画像上での1画素分の変化を引き起こす移動量は、カメラと撮影対象物体との距離によって変わる。撮影対象がカメラに近い場合は、数mm～1mm以下の平行移動でも画像上で1画素よりも大きい変化となる可能性がある。逆に撮影対象が遠方にある場合は、カメラが多少移動しても画面上で変化が起きない可能性がある。例えば、100cmの物体が10画素の大きさに映るような状態で、カメラを1～2cm程度横に平行移動させても、画像に変化はない。ただし、このときにほんの少しでも（回転で取り上げた例と同じ状況なら 0.02083 [deg]）回転させてしまったら、その回転が原因でARの位置ずれが発生してしまう*5。

当然のことながら、これらの回転と移動の推定は、1フレームの撮影にかかる時間内に行うことが求められる。

2.2 画像を用いないカメラ位置姿勢推定

画像解析によるマーカレスAR技術の説明に入る前に、画像を用いない周辺技術について概観してみよう。

性能の良い一つの実現例が、現実世界にカメラ三脚を設置し、そのカメラの首振り角度を三脚に取り付けたロータリーエンコーダから読出す方式である。これは、バーチャルスタジオの構成要素の一つなどとしてすでに実用化されている。専用部品を用いるため、測定に対する誤差の分散が小さく、高級なものであれば測定分解能・測定速度も十分に精密・高速である*6。これはマーカレスARの実現に対する一つの解答であるが、そのようなインテリジェントな三脚設置にかかるコストは高く、さらにカメラを移動をさせた場合その移動量の計測が現実的に難しい*7ので、利用できる状況は限られてくる。

ビデオスルスルー方式のプラットフォームとして有力な

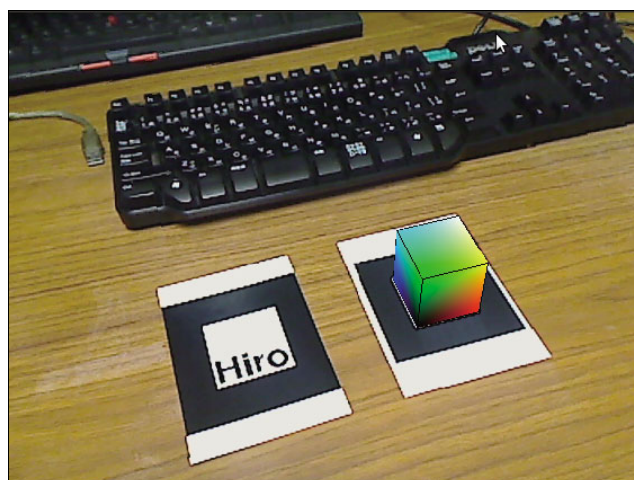


図1 ARToolKitの実行例(右側のマーカの上にCGが重畳されている)

モバイル端末には、カメラが通常は装備されており、かつ、GPSや電波基地局からの電波強度解析などを利用した位置推定機能や、電子コンパスや加速度センサの組合せによる姿勢推定機能が、大抵の場合利用可能である。これらのセンサ出力を組み合わせ得られるモバイル端末の位置姿勢推定精度は、現在のところ、上述のARに必要な精度にはまだ到達していない*8。そのため、これらのセンサ情報は、画像解析によるマーカレスARの補助情報として用いられ、将来は精度向上により、十分にマーカレスARの基盤技術になるかもしれない*9。

2.3 ビジュアルマーカによるAR

画像解析によってARを実現する方法では、現実世界中の物体(ないしシーンの一部)を探し出し、その物体に関連付けられた現実世界座標系中の適切な位置に仮想物体を配置することで、AR提示を完成させる。この「現実世界中の物体」を安定的に検出し続けるために、見た目に配慮したもの*10を特別に用意することが考えられる。それがビジュアルマーカである。

ビジュアルマーカによるAR技術としては、ARToolKit⁽²⁾*11(図1)が有名であろう。この方法では、現実世界中に設置した平面状のARToolKit Markerが、世界座標系の基準となっている。ARToolKit Markerは、ARシステム提供者が設置するものである。画像中での検出可能性を高めるため、コントラストが高い黒白の模様が採用されている。

*4 本稿では意図して桁の表現に指数表現を避ける。なお、この計算では回転中心がカメラの焦点にあるものとしている。正確には画像の端のほうではもう少し小さな値となるが、ここではその差は無視している。

*5 この例からもわかるように、ARにおいては、カメラ移動に対する検出性能より回転に対する検出性能のほうが重視されることが多い。

*6 例えば高級なロータリーエンコーダなら1回転で100,000パルス程度は出力できるものがあり、これは1パルスで 0.0036 度に対応する。一方で水平画角 40° のHDカメラの1画素分の水平回転はおおよそ $40/1920 \approx 0.021^\circ$ /画素であることから、カメラを1画素分水平回転させる間に約5.8パルス数えることができる。

*7 数mmのカメラ移動でも画像上で1画素よりも大きい変化となってしまう状況で、数m規模の作業空間を想定した場合、この精度を機械的測定により求めるには大きな制約が伴う。

*8 セカイカメラが利用している基礎技術はここに分類される。精密なAR表示は困難であるが、セカイカメラでは精密な位置提示を意図的に行わない(エアタグ：仮想物体を現実世界で宙に浮かべるようにして表示する技術)ことで、この問題を上手に回避している。
<http://sekaicamera.com/>

*9 センサ統合によるARの研究は数多く行われているが、代表的だと認められている特定の手法がないので、本稿では言及しない。

*10 要するに、どこに置いてあってもすぐにそれとわかるほど目立つ模様と単純な図形。

*11 ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>



このような、ARシステム提供者がARのために意図して環境中に設置する基準物体を、ここでは狭義のマーカ物体^{*12}と呼ぶ。狭義マーカ物体の利用は、古典的アプローチではあるが、照明などの環境変動に対して頑健性があり、現在もARのための一般的な技術として利用されている。

しかしながら、狭義マーカ物体はその性質から、ユーザの視覚に対して刺激が強いため、アプリケーションによってはこれを回避したいという要望が強い。これを緩和する手法として、よりコントラストの弱い、ユーザへの刺激が少い基準物体を利用する方法が提案されている^{*13}。これをここでは広義のマーカ物体と呼ぶ。広義のマーカ物体には、パンフレット、本のページ、チラシなど、さまざまなものを利用することができる。広義のマーカ物体導入により、ARの利用を飛躍的に拡げることができるようになった。これは、画像処理技術の発展に伴い、基準物体のコントラストが弱くて見つけにくいものであっても、充分に安定して検出ができるようになったためである。

この場合でも、結局のところ、ARシステム提供者側では、システム運用開始前か運用中のどこかの時点で、基準物体である小平面のテキスト情報をシステムに登録するという作業が必要であるので、本稿ではこれをマーカレスARとは分類しない。広義マーカ物体には、小平面を利用している事例(BaZAR^{*14}など(図2))が多いが、アプリケーションによっては、ポスタや手のひら^{*15}等を利用している例も見受けられる。

広義マーカ物体に利用する小平面物体は、原理的にはユニークなテキストを有するものであればなんでも利用可能ではあるが、実際に頑健性を高めるためには、ある程度コントラストがあって、テキストの構造が複雑なもののほうがよい。ただし、あまりテキストが細かいと、カメ

ラがターゲット小平面から離れたときにそのテキストが潰れて観測できなくなってしまうため、そのバランスには注意が必要である^{*16}。

2.4 “マーカレス”AR

前節のビジュアルマーカによるARでは、ARシステム設置者によって、カメラの前にビジュアルマーカを置いてそれを事前に登録しておく必要がある。この制約を不要にするのが、“マーカレス”ARである。

マーカレスARでは、ユーザの周りの現実世界(シーン)中の視覚的情報を、実行時に直接利用する。具体的には、シーン中からたくさんの点群を自動的に選び出し、その全体を一つのマーカ物体と捉えてARを実現する。

マーカレスARの精度は、シーン中の点群をいかに適切に選び出して精密に追跡できるかに依存している。そのため、点群には幾つかの条件が課せられることになる。

- (1) 点群を全体として一つのマーカ物体(剛体)として扱うことから、点群にはお互いに完全に静止しているものを選ぶ必要がある。
- (2) カメラで点群を安定的に追跡するため、各点としてはフレームを越えても見失いにくい見た目をしているものを選ぶ必要がある。
- (3) 上記(1)(2)が両立するような点群を、高速かつ自動的にシーン中から選び出し続ける必要がある。

なお、この(1)～(3)によって選ばれた点は、ナチュラルマーカ^{*17}と呼ばれる。これらの条件を満たす点群を安定してリアルタイムに求めることは長らく難しいとされていたが、最近の技術により、これをクリアすることができるようになってきた。具体論は3章に述べる。

2.5 マッチムーブ

分野は異なるがマーカレスARと前提を同じくするものとして、マッチムーバーが挙げられる。これは、映像制作におけるポストプロダクションのために、撮影した映像からカメラの軌跡(位置姿勢)推定を求めるソフトウェアツールである。マーカ物体を設置しない^{*18}という意味では、マッチムーブとマーカレスARは同じ枠組みに入る。違いは、位置姿勢精度とリアルタイム性に関する要求バランスにあり、マッチムーブでは、計算コストや人手がかかってでも、位置姿勢精度を向上させるほうに重点が置かれている。

なお、マッチムーバは、汎用的なソフトウェアではないので、安価とは言い難い価格帯のものが多いが、VooDooのように無償ソフトウェア^{*19}(図3)も存在するので、興味のある方は試されてみるのもよいであろう。

*12 カメラキャリブレーション用物体とも呼ばれる。

*13 最近ではSONYによる報道発表SmartARの“マーカレス方式を可能にする物体認識”が本技術分野に相当する。 <http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201105/11-058/>

*14 BaZAR: A Vision Based Fast Detection Library, <http://cvlab.epfl.ch/software/bazar/>

*15 最近ではKDDIによる手のひらARサービス「てのりん」の報道発表。 http://www.kddi.com/corporate/news_release/2011/0623a/

*16 よくあるARのデモでも、広義マーカ物体に比較的高いコントラストのはっきりした字や図形が適度に散りばめられているフリップなどを利用している場合、検出がより安定しているように見える。BaZARで用意されている参照用小平面の画像(図2(左))もコントラストは悪くない。

*17 これも一種のマーカであるから、その意味では真に「マーカレス」なARは、2.1節や2.2節で挙げた方法だけである。

*18 映像制作状況によっては、精度をさらに高めるため、狭義マーカ物体を設置し、あとの画像合成時にそれを消去することも行われる。

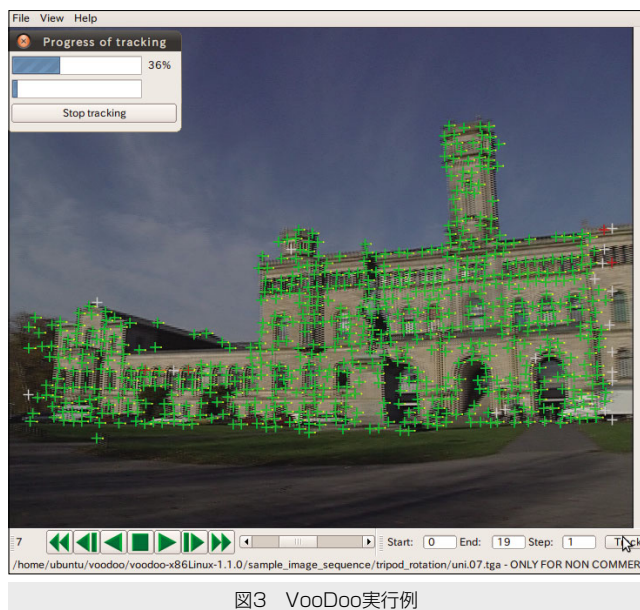


図3 VooDoo実行例

2.6 Visual-SLAM

マーカレスARと前提を同じくするまた別の技術として、ロボティクス分野のVisual Simultaneous Localization and Mapping (Visual-SLAM) が挙げられる。これは、自走式ロボットが未知の地域に入り込んだ時に、カメラを頼りにして自分の周辺地図を作製しながら、同時にその地図内での自己位置を推定し続けるものである。こうしたSLAMを行うロボットは、通常、その移動速度や移動方向を自分で決定できるので、画像処理にかかる時間を延ばしたり、移動速度を下げることで、点群の対応付けを容易にしたりすることができる。これに対して、マーカレスARでは、カメラを動かすのは人間であるため、これらの好条件を期待することはできない。

また、Visual-SLAMでは、広角カメラやオムニビューカメラなどを利用することで、カメラ位置推定精度を向上させることができるが、マーカレスARでは、そのようなちょっと変わったカメラを用意することは難しい。

3. PTAM (マーカレスARの代表例)

マーカレスARが注目を集めるようになったのは、Georg KleinとDavid Murrayによる"Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces" (通称PTAM)¹⁾が2007年度のInternational Symposium on Mixed and Augmented Realityで発表²⁰⁾され、高精度で高速なマーカレスARが、現在のハードウェア基盤の上で十分に実現可能であることが示されたことに始まるであろう。さらに、著者らが、そのプログラムを一定の条件のもとでオープン

*19 マッチムーバー VooDoo, <http://www.digilab.uni-hannover.de/docs/manual.html>

*20 複合現実感技術の最高クラスに位置するこの国際会議で著者らはBest Paper Awardを獲得した。

ソフトウェア²¹⁾とした点も、この研究分野に対する著者らの大きな貢献である。

本稿では、このPTAMを例にして、マーカレスAR技術の実際を概観する。

3.1 PTAMの特徴

PTAMでは、カメラ1台と2CPUのPC1台だけで、マーカレスARを精度よくリアルタイムに実現することに成功している。筆者の主観では、PTAMの構成を細部まで分解してみると、各要素技術は先端的ではあるものの、PTAMで初めて導入されたと見なせるものは特には見当たらない。それまで提案されてきたさまざまな要素技術の中から、精度とリアルタイム性のバランスが取れるものを適切に選択し、システムを組み上げて見せた点については、本論文が嚆矢であろう。

要素技術の多くはVisual SLAMと共通するが、ARではVisual SLAMと違い、カメラを人間が好みに動かししていることから、TrackingにかかるコストがVisual SLAMに比べて大きい、という問題点を著者らは指摘している。その解決法として、点群のTrackingとMappingの処理を分割して平行動作させ、Trackingのためのパフォーマンスを常に一定以上確保できるようにすることを提案している。

PTAMが高い位置姿勢推定精度と頑健性を実現している一つの理由が、Trackingにコストを掛けられるようになったため、多数の点が得られることを前提にしたアルゴリズムを利用できた点である。ナチュラルマーカはその性質上、カメラ上で常に安定して追跡できるとは限らないし、現実には映像に映るすべてのものが完全に静止していることはない。そこで、アルゴリズムとしては、画像中で役に立ちそうな点群をできるだけたくさん候補として検出しておいて、一定期間のうちに継続的にカメラの位置姿勢推定に役立った点のみを、最終的にナチュラルマーカとしてシステムに登録 (Mapping) している。

参考までに (図4) に、PTAMで用いられているFAST³⁾という高速コーナー検出法による点群の検出の様子を示す。見ての通り、毎フレーム数百点程度かそれ以上が候補として検出されている。

また、PTAMの論文内では、説明が簡単に済まされているが、エラーリカバリーに対応できるように、システムがよく構成されている点にも注目すべきであろう。

3.2 PTAMの (マーカレスAR利用上の) ポイント

さまざまな技術的利点を有するPTAMではあるが、決して万能ではない。ここでは、初心者が見落としがちな点について述べる。

(1) 小規模空間

PTAMの論文原題にもあるように、PTAMはそのままでは大規模空間に展開することは難しい。これはスケーラビ

*21 PTAM: Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces - Source Code, <http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/PTAM/>

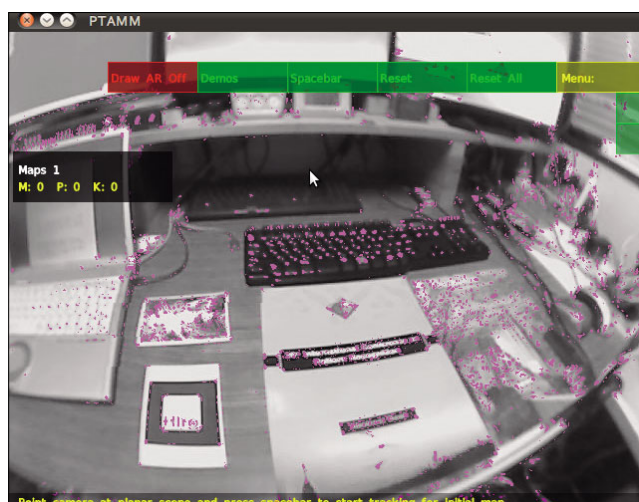


図4 FAST特徴検出の様子(図中の小点がすべて点群の候補)

リティの問題の他に、Mappingアルゴリズムにおいて、同一空間点がある程度何回も観測できることが前提になっているからである。PTAMは、同じシーンを何度も撮影しているうちに、シーン中の信頼できる(安定して検出できかつそれまでに登録した点群とも静止した関係にあるとみなせる)点群を抜き出して、Trackingに利用するように登録していくため、新しいところへ移動を続けるようなアプリケーションには向かない。

(2) 静止した世界

ナチュラルマーカを利用する場合、先にも述べたように、その点群は全体として一つの剛体と見なせる状態になっていなくてはならない。PTAMでは、Mappingアルゴリズムのところでは、世界の中で静止しているとはみなせない点群を登録しないようになってはいるが、シーン中の多くの部分がばらばらに動いている状況では性能は望めない。例え

ば、風にそよぐ木々や、雑踏が画像の大部分を占めるような映像では、PTAMは性能を発揮できない。一方で、面白い使い方としては、例えば、ミニチュアのような物体を大写しにして、画像の大部分がそのミニチュアで占められるようにすれば、そのミニチュアに対するカメラの位置姿勢推定を求めることが可能である。

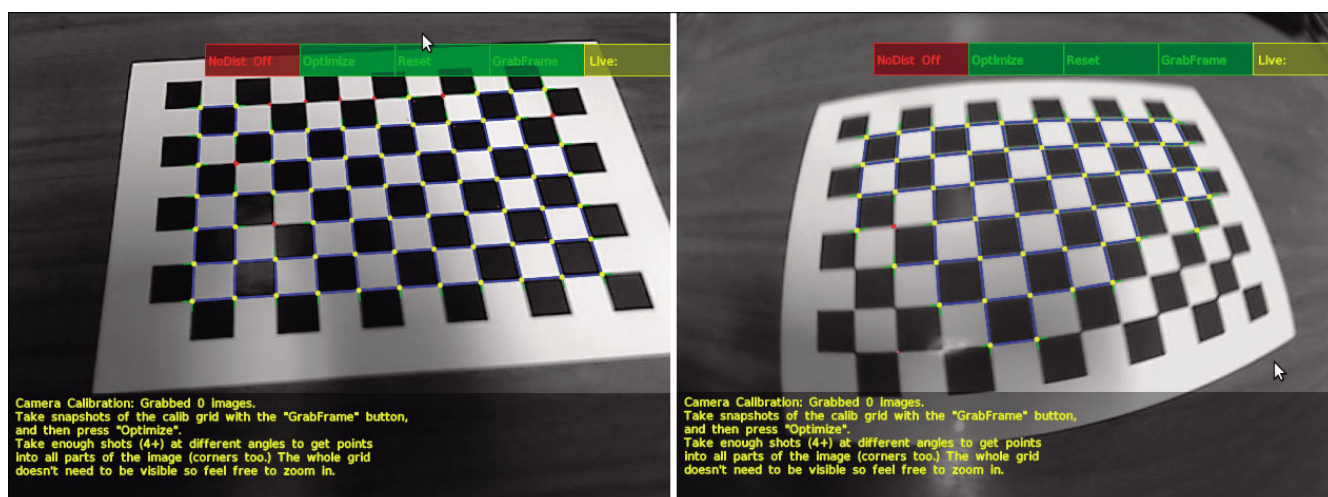
(3) ナチュラルマーカを獲得しやすいシーン

マーカレスARは、事前に周辺環境に手を加えないことにはなっているが、周辺環境を選ぶことは重要である。(1)、(2)を満たした上で、シーン中の点群が適度に拡がった状態で観測できることが望ましい。PTAMが利用している点群特徴抽出アルゴリズムは、FAST³⁾と呼ばれコーナー特徴を検出するので、ある程度コントラストの高いテクスチャの物体が、雑然とシーン中に3次的に拡がっている状況がよいことになる。

一方で、同じテクスチャが繰り返されているような面や物体が存在するシーンは、避けなければならない。これは、異なる場所にそっくり同じ構造が見つかってしまうと、Modelingの処理において、点群の同一性判定ができなくなり、信頼性の検証が不能になるためである。

(4) 広角カメラ

これは、Visual-SLAMにもマーカレスARにも共通して言えることであるが、点群とカメラの関係で考えると、カメラの位置姿勢推定精度は、カメラが広角であるほど安定する。これがどれくらい重要かは、PTAMの著者らが、論文中で標準的なウェブカメラのレンズを広角レンズに取り換えていることから伺える(図5)。広角レンズになれば、一般的に歪が大きくなるので、PTAMのソフトウェアでは、それに対応できるキャリブレーションツールまでわざわざ用意してある。市販の標準的なウェブカメラは、35mmフィルム換算でせいぜい28mm程度の焦点距離であろうが、

図5 標準的なレンズと広角レンズ
(右は1/4インチCCDに2.1mm/M12レンズ装着時)

著者らの環境に近づけるためには、21mm程度の焦点距離が望ましい*22。

(5) カメラ (撮像時の) のシャープネス

これも、PTAMというよりは画像処理での問題であるが、カメラによっては、シャープネスを上げすぎると、副作用が発生して特徴抽出能力が落ちることがある。そのため、シャープネスを調整できる場合は、緩めにしておくことが推奨されている。

3.3 PTAMの応用：PTAMM

PTAMは、マーカレスARの実現手法としては優秀であり、配布されているソフトウェアによる実現例も実際に高性能であるが、一方で、事前に現実世界に一切関わらないという前提が仇となって、現実世界に合わせた特定の場所に特定のCGコンテンツを表示することができなかった*23。また、小規模空間を前提としていたため、複数の部屋にまたがるようなアプリケーションには直接適用できないという限界があった。

この欠点を解消するべく、PTAMと同じ研究グループにRobert Castleが参加する形で、"Video-rate Localization in Multiple Maps for Wearable Augmented Reality" (以後PTAMMと呼ぶ)⁴⁾が、翌2008年に発表された*24。技術的にはPTAMとほぼ同じであるが、異なる小規模空間それぞれで別の学習マップを管理できるようにし、映像からどの学習マップが一番近いのか (どの小規模空間に現在いるのか) をリアルタイムに判定できるようにして、スケラビリティの問題を解決している。また、各マップを保存したり読み込んだりできるようにし、一旦保存したマップに合わせてCG物体の提示位置を決めておくことで、現実世界の好みの位置に正確にCG物体を表示できるようになった。この研究成果も公開*25されており、この技術を直接応用したAR観光案内の研究発表などがすでにされている。

参考までに、図6、図7にPTAMMの実行の様子を示す。いずれも、MAP-0とMAP-1という二つのMAPが登録してある状態での、MAP-0での表示である。図7のほうでは、PTAMMを用いて手前のARToolKit Markerに合わせて立方体を、奥のパンフレットに合わせて円錐を表示させている。

3.4 試用評価環境：Casper Cartridge

本稿で紹介したマーカレスARに限らず、拡張現実・複

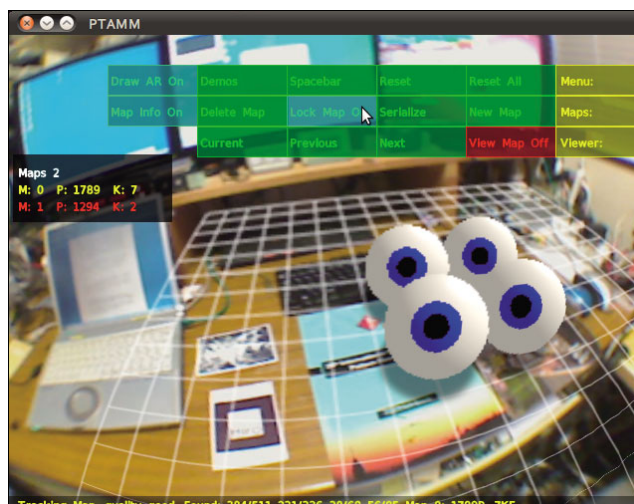


図6 PTAMM実行例1 (Demo: EyeBall)

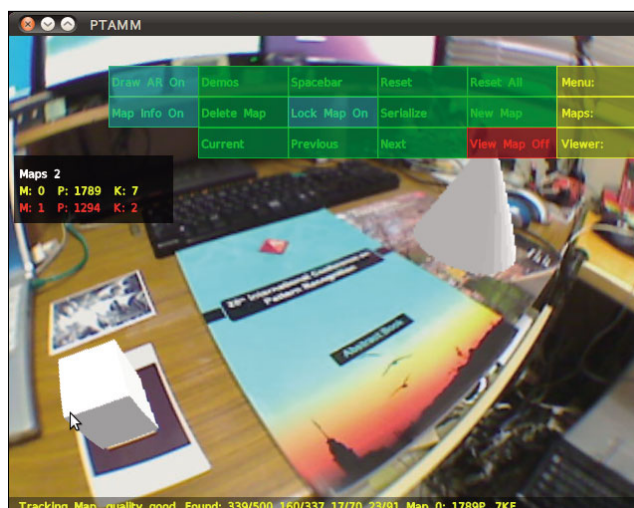


図7 PTAMM実行例2 (Demo: Model Game)

合現実感技術の評価は、やはり自らの目と手で確認しないとわからないのが現実である。PTAMやPTAMMでは、参照実装を一般公開しているが、さまざまなライブラリーやソフトウェアに依存しているため、初学者が実際に実行できる環境を構築するのは容易ではない。

著者らは、こうしたAR/MRデモンストレーションの再現性を保証するソフトウェア環境の構築についても研究プロジェクトを進めており、"Casper Cartridge"という名称を付けて一般公開している⁵⁾*26。4GBのUSBメモリーを用意して、そこに本プロジェクトで用意したCasper Cartridgeファイルをセットすることで、利用者はあとUSBブート可能なPC*27が手元にありさえすれば、一切手

*22 PTAM関連の取扱説明書では正規化カメラにおいて水平焦点距離が1.0以下なら動くであろうと述べられているが、著者らが実際に使用しているカメラは1/4インチCCDに対して焦点距離2.1mm (M12) のレンズに付け替えられており、正規化カメラ換算でのその水平焦点距離は0.57である。

*23 PTAMの参照実装で唯一可能なのは、初期化時の現実世界に対するカメラ平行移動を利用した現実世界中の平面の推定である。PTAMのデモではこの平面を使ってさまざまなアプリケーション例を示している。

*24 本論文も発表が行われたInternational Symposium on Wearable Computing 2008にてBest Paper Awardを獲得している。

*25 PTAMM: Parallel Tracking and Multiple Mapping, http://www.robots.ox.ac.uk/~bob/research/research_ptamm.html

*26 Casper Cartridge Project, <http://www.kameda-lab.org/casper/index-j.html>

*27 PCの元からついているハードディスクを一切利用しないので、他の用途に普段使っているPCであっても問題ない。本稿の図もすべてこのCasper Cartridge上で実行してキャプチャしたものである。

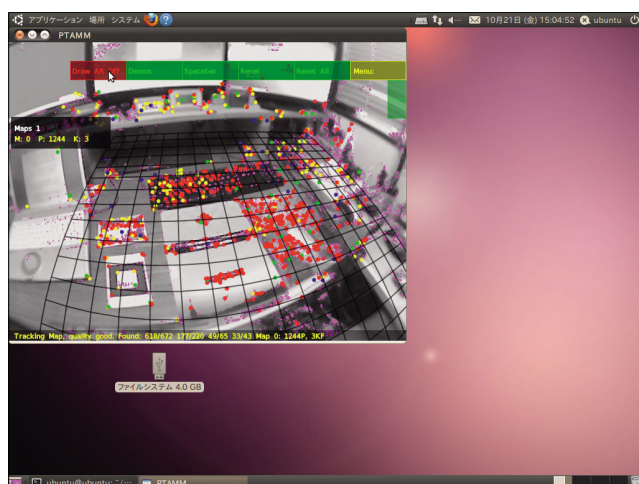


図8 Casper CartridgeによるUbuntu 10.4 LTS上でのPTAMM実行の様子

間をかけることなく、オリジナルと同じソフトウェア実行環境^{*28}を手に入れることができる。現在、Ubuntu 10.4 LTSをベースに、本稿で挙げたARToolKit, PTAM, PTAMM, VooDooがすべて利用できるCasper Cartridgeが、本プロジェクトページに用意してあるので、興味のある方は当該ページの説明にしたがってUSBメモリーを作成し、是非近年のARの長足の進歩を実感して頂きたい(図8)。

また、ARにおけるカメラの位置姿勢推定性能の評価方法は、長らく当該分野において課題とされていたにも関わらず、限定的な学術的取組みしか見当たらないという問題があった。これに対して、現在、日本の研究者らを中心に、TRAKMARK^{*29}というAR向けのカメラ位置姿勢推定評価用のデータセットの整備が進められている。どのようなシ

*28 オリジナルの製作環境とハードウェアが同じでない場合は、残念ながら同一性能までは保証されない。一方で、本方式であれば、あるハードウェアで動作しなかった場合は、問題のないハードウェアに交換しさえすればよいということを意味する。

*29 TRAKMARK, <http://trakmark.net/>

チュエーションがARで想定されているかを見ることができるので、こちらも興味のある方はウェブサイトをご覧頂きたい。

4. む す び

本稿では、マーカレスARとそれを取りまくAR関連技術について、技術的細部を避けつつ、興味のある会員諸氏に必要な知識が身につくように紹介したつもりである。

ARは技術者だけでなく、一般の人々の注目を集めつつある技術ではあるが、ARの一研究者として、この技術が社会的に受け入れられる分野がどこであるのかは未だに模索中である。拙稿が、会員諸氏のARへの進出へのきっかけになれば幸甚である。

(2011年10月21日受付)

〔文 献〕

- 1) G. Klein and D. Murray: "Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces", 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.1-10 (2007)
- 2) Hirokazu Kato and Mark Billinghurst: "Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System", 2nd International Workshop on Augmented Reality (IWAR), pp.85-94 (1999)
- 3) E. Rosten and T. Drummond: "Machine learning for high-speed corner detection", 9th European Conference on Computer Vision (ECCV), pp.430-443 (2006)
- 4) R. Castle, G. Klein and D. Murray: "Video-rate Localization in Multiple Maps for Wearable Augmented Reality", 12th IEEE International Symposium on Wearable Computing (ISWC), pp.15-22 (2008)
- 5) 林将之, 北原格, 亀田能成・大田友一: "AR/MRデモンストレーションの再現性を保証するソフトウェア環境の構築～Casper Cartridgeプロジェクト～", 信学技報MVE2011-50, 111, 235, pp.103-108 (2011)



亀田 能成 1991年、京都大学大学院博士後期課程認定退学。京都大学助手、2001年～2002年、米国MIT客員研究員(併任)、筑波大学講師を経て、2004年、同大学院システム情報工学研究科助教授。現在、同大学准教授。複合現実感技術、知的画像処理、マルチメディア処理等の研究に従事。博士(工学)。