

3 基礎 3：開発用ツール

橋本 直

(独) 科学技術振興機構

敷居が低くなった AR 開発

2007 年頃から、インターネットの動画投稿サイトにアマチュアのプログラマーが趣味で作成した AR アプリケーションの動画が数多く投稿されるようになった。かつては研究機関や企業の研究室という限定された環境の中で行われていた AR アプリケーション開発が、アマチュアのレイヤで行われるほどまでに敷居が低くなったのにはいくつかの理由が考えられる。

第 1 の理由として、CPU や GPU の飛躍的な性能向上が挙げられる。AR では、画像処理や CG のシミュレーションや描画処理という比較的演算コストが高い処理をリアルタイムで行う必要があるため、アプリケーションのパフォーマンスはハードウェアに依存するところが大きい。このため、古くは AR の開発・実行環境には非常に高価でハイスペックなワークステーションが要求された。しかし現在では、コンシューマ向けのノート PC はおろか、スマートフォンでも AR アプリケーションを稼働させられるほどにコンピュータの処理性能が向上した。

第 2 の理由として、Web カメラの普及が挙げられる。一般家庭への高速なインターネット回線の普及に伴い、遠隔地とのビデオチャットを目的とした Web カメラの需要が高まり、開発競争が盛んに行われた結果、安価で高性能な Web カメラが多数市場に流通するようになった。現在、5,000 円以下で売られている USB 接続の Web カメラでも 130 万画素 (1280 × 960)、30fps のビデオキャプチャ機能を有しており、AR アプリケーションを実行する環境としては申し分ないスペックを持っている。

以上の理由から、PC とそれに繋がるカメラさえあれば比較的簡単にビジョンベース (特にマーカベース) の AR アプリケーションを構築することができるようになった。AR アプリケーションを開発 (または実行) するためのハードウェア条件を満たしている人間が潜在的に多く存在している状況の中、2007 年頃から AR に対する社会的な認知と期待が高まったことにより、それまで研究者向けに提供されていた AR のためのツールキットに

注目が集まった。「Web カメラがあれば普通の PC でも AR アプリケーション開発ができる」ことが認知されるようになると、既存のツールキットの他言語への移植や、他プラットフォームでの実装を試みる動きが活発化した。その中でも Flash で AR を手軽に実装できるライブラリ (FLARToolKit) の登場は、アートディレクションや Web コンテンツ制作に携わる人々に対しても AR アプリケーション開発の門戸を開くこととなり、IT 業界に大きな影響をもたらした。

本稿では、これから AR アプリケーションの開発を行いたいと考えている読者のために、実装の視点に立って、無償で利用可能なツールキットを中心に解説する。

ツールキットが提供する基本的な機能と開発者に求められるスキル

現在、AR のツールキットとして公開されているもの大半は、紙などの平面上に印刷されたマーカパターンをカメラで撮影すると、そのカメラ画像上に 3 次元 CG がオーバーレイ表示されるようなマーカベースの AR アプリケーションの作成を支援するものである。

一般的な AR のツールキットが提供する機能 (API) は、ビデオデバイスからの画像取得、画像処理によるマーカの認識、カメラ・マーカ間の相対的な位置・姿勢の計測、そして実写画像と 3 次元 CG の合成処理である。合成処理を行う際には、カメラの焦点距離やレンズ歪みなどのカメラ固有のパラメータが必要となるため、それらを事前に計算するためのキャリブレーションツールも付属されている。

ツールキットは基本的にプログラミングライブラリとして提供されているが、使用する言語の基礎を一通り習い終えた程度の知識があれば、入門するのはさほど難しくなく、コンピュータビジョンに関する知識が乏しくても差し支えないが、コンテンツの中核となる 3 次元 CG の描画処理に関するパートについては、OpenGL や DirectX などの何らかのグラフィックスライブラリを用いて自ら記述するのが一般的であるため、ここである程度



図-1 ARToolKit で用いられるマーカ

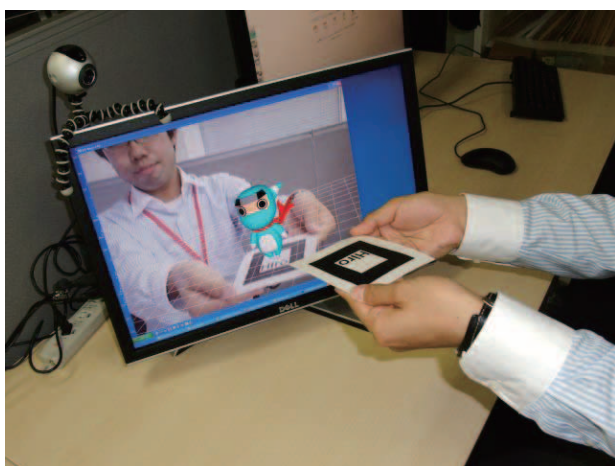


図-2 ARToolKit で作成したアプリケーション

のグラフィクスプログラミングのスキルが求められる。

なお、本格的なコンテンツを作る場合は、3次元CGのモデリングやモーションデザインの作業が別途必要になる。3次元CGのモデルフォーマットにはさまざまなものがあるが、ツールキットによって読み込みに対応しているフォーマットが異なるため事前に注意されたい。

AR 開発のためのツールキット

ARアプリケーションの実装を支援するツールキットとして代表的なものを以下に紹介する。

---ARToolKit---

(<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>)

ARToolKitはマーカベースのARアプリケーションの作成を支援するプログラミングライブラリである¹⁾。1999年にKatoらによって開発され、現在はARToolworks社が開発および商用版の販売を行っている。オープンソースで提供されており、GPLライセンスの下で利用するこ

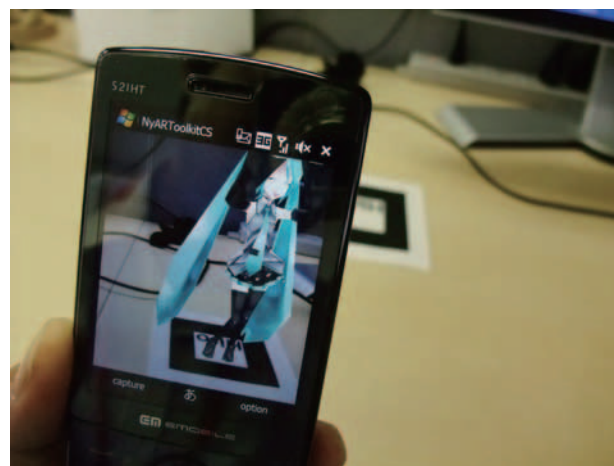


図-3 NyARToolkit for C# で実装された携帯端末用アプリケーション

とができる。AR/VRの研究者にとってはなじみの深いライブラリであるが、近年ARToolKitを用いて作成された作品がYouTubeやニコニコ動画などの動画投稿サイトに多数投稿されたため、一般にもその名を広く知られることとなった。オリジナル版はC/C++用のプログラミングライブラリとして提供されているが、さまざまな言語に移植されている。

ARToolKitでは、図-1に示すような正方形のマーカを用いる。このマーカをカメラで撮影すると、マーカのパターン認識および3次元位置姿勢計測が行われ、3次元CGが重畳表示される(図-2参照)。使用するパターンはユーザーが自由にデザインすることができる。

---NyARToolkit---

(<http://nyatla.jp/nyartoolkit/wiki/index.php>)

NyARToolkitはARToolKitのJava、C#、C++、processing、Androidへの移植プロジェクトである。オリジナル版の関数群を、オブジェクト指向で同等の機能を持つクラス群に再構成している。オリジナル版と高い演算互換性を持ち、高速化も行われている。C#版ではWindows Mobile端末での動作も実現している(図-3参照)。

---FLARToolKit---

(<http://www.libspark.org/wiki/saqoosha/FLARToolKit>)

FLARToolKitはNyARToolkitをベースに作られたFlash(ActionScript3)版のARToolKitである。3次元CGの描画処理は、Papervision3D、Away3D、Sandy、Alternativa3Dをサポートしている。

Webブラウザ上で動作可能であるため、Webサイト上にARコンテンツを埋め込めるという大きな利点を持つ。すなわち、PCにWebカメラが接続されている環境であれば、エンドユーザはソフトウェアのインストール作業をまったく行うことなく、ブラウザでWebサイ

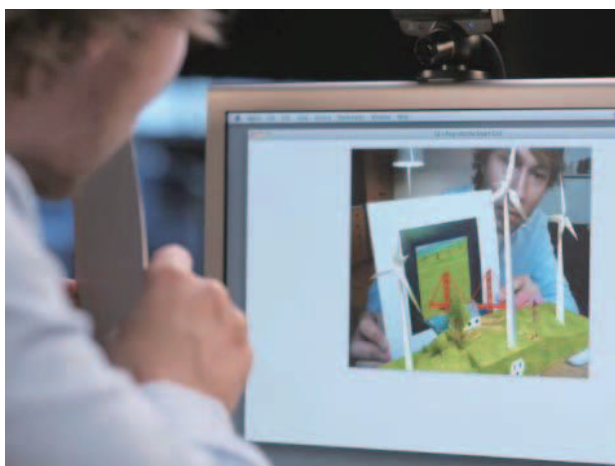


図-4 FLARToolKit を使って作成された Web コンテンツ
(http://ge.ecomagination.com/smartgrid/#/augmented_reality
より引用)

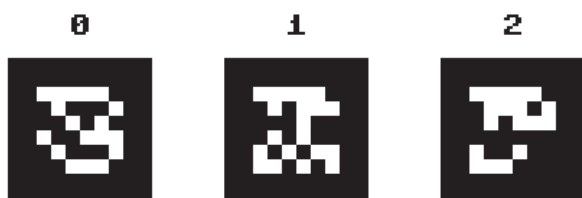


図-5 ARTag のマーカ

トにアクセスするだけで AR コンテンツを体験することができる。FLARToolKit を使って作成されたコンテンツの一例を GE 社の Web サイトで見ることができる (図-4 参照)。マーカをカメラにかざすと、画面の中でマーカから CG が飛び出し、動き出す。この作品では、ユーザがカメラに内蔵されたマイクに向かって息を吹きかけると CG の風車が回りだすというインタラクティブな仕掛けも施されている。

---ARTag---

(<http://www.artag.net/>)

ARTag は、マーカベースの AR プログラミングライブラリである。C++ で開発されている。ARToolKit の影響を受けて開発されており、いくつかの改良が施されている。ARTag で使用するマーカの図案は、2次元のビットパターンによってデジタル符号化されており、これをデコードすることによってパターン ID を算出する仕組みになっている (図-5 参照)。このため、マーカのパターン情報を事前に登録する必要がない。また、部屋の明るさが一様でない場合や、マーカに対してオクルージョンがある場合 (図-6 参照) においても、マーカを安定して検出することができる。

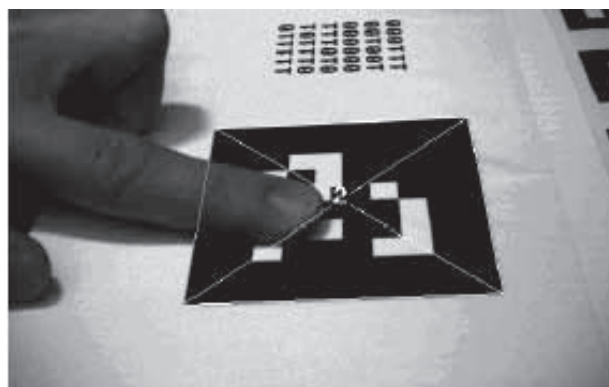


図-6 オクルージョンに対する頑強なマーカ検出

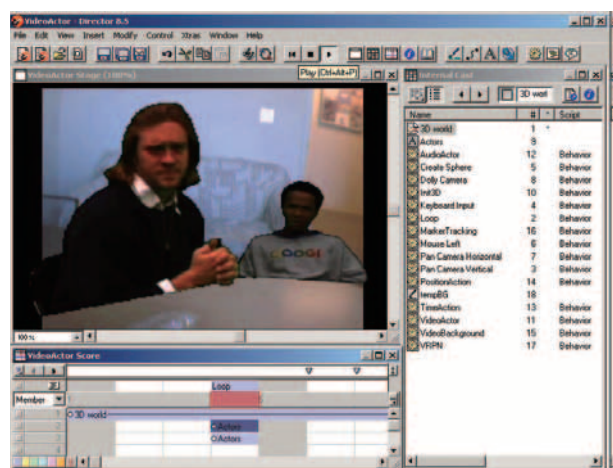


図-7 DART (文献2)より引用)

---Goblin XNA---

(<http://graphics.cs.columbia.edu/projects/goblin/index.htm>)

Goblin XNA はコロンビア大学の研究者によって開発された Microsoft XNA (Windows および Xbox のゲーム開発環境) 向けのツールキットである。XNA プラットフォームに基づき、C# で記述されている。位置姿勢計測には、ARTag を用いたマーカベースのカメラトラッキングと InterSense 社のトラッキングデバイスが用いられている。物理エンジンとして、BulletX と Newton Game Dynamics をサポートしている。

---DART (The Designer's Augmented Reality Toolkit) ---

(<http://www.cc.gatech.edu/dart/>)

DART は、マルチメディアコンテンツのオーサリングツールである Director の拡張プラグインである²⁾。Director の 3次元空間へのライブビデオのストリーミングや、ビデオ中のマーカのトラッキングなどをサポートしている。Director のスクリプト言語である Lingo を利用して Director 上で AR コンテンツの制作を行うことができる (図-7 参照)。

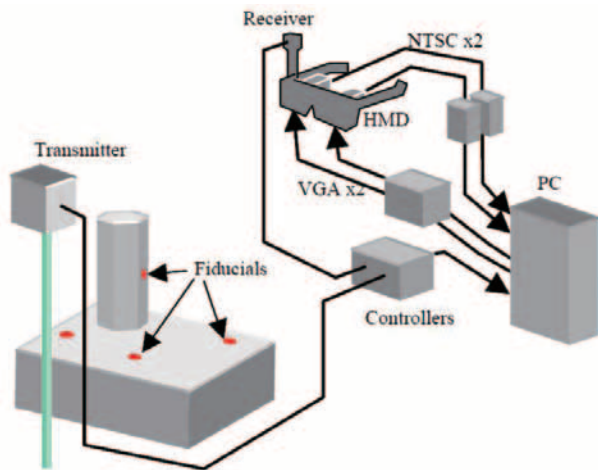


図-8 MR-Platform (文献3)より引用)

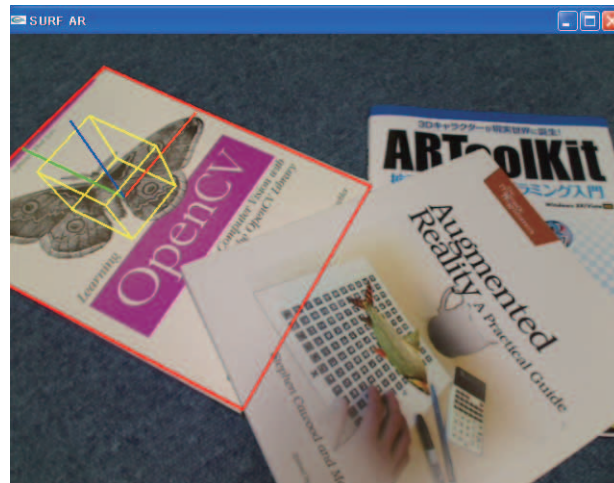


図-10 SURF を利用した AR アプリケーションの作例



図-9 SURF を用いた物体検出 (OpenCV)

---MR-Platform---

MR-Platform はキャノン社が開発し、研究開発グループ向けにリリースしたツールキットである³⁾。ハードウェアは、ビデオシースルー方式のヘッドマウントディスプレイと6自由度磁気センサによって構成される(図-8参照)。ソフトウェアはC++クラスライブラリとして提供され、ビデオキャプチャ、磁気センサ計測、マーカ検出、幾何学的位置合わせなどの機能が含まれる。ARToolKitとともに2000年代のAR研究開発を牽引してきた。

AR 実装に役立つそのほかのツール

AR 目的のツールキットではないが、AR アプリケーションを開発する際に非常に有用なツールを以下に紹介する。

---OpenCV---

(<http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>)

OpenCV は、オープンソースの C/C++ 用コンピュータビジョンライブラリである。Intel 社によって開発・公開され、現在は Willow Garage 社が開発を進めている。基本的な画像処理機能はもちろんのこと、パターン認識、トラッキング、3次元計測、機械学習など多くのアルゴリズムが実装されている。またビデオ入出力インターフェースや簡単な GUI 機能も提供されている。チェスボードを利用したカメラキャリブレーションやレンズ歪補正、特徴点検出、点群からのカメラの3次元位置・姿勢の推定など、AR アプリケーションを開発する上で必要となる機能が充実しているため、AR 開発において非常に頼りになるライブラリである。

OpenCV 2.0 では、SURF (Speeded Up Robust Features) という回転・スケーリングに対して不変な特徴点検出アルゴリズムが実装されている。OpenCV に付属している SURF のサンプルプログラムの実行例を図-9に示す。上部に表示されているサンプルと、下部に表示されているシーンとで特徴点の対応付けを行い、その結果から対象の平面物体の領域を検出している。これを応用すれば、たとえば、書籍の表紙をテンプレート画像としてあらかじめ用意しておき、カメラにその書籍が写りこんだときに表紙の上にCGを重畳表示するようなアプリケーションを比較的簡単に実装することができる。

実際に OpenCV と OpenGL を使って実装を行った例を図-10に示す。対応する特徴点の組から OpenCV の

API を使ってカメラの位置・姿勢を計算し、その結果を利用して簡単な CG の合成を行っている。このようなプロトタイピングを短期間で行えることが OpenCV の魅力である。

---PlaceEngine---

(<http://www.placeengine.com/>)

屋内外におけるグローバルな位置計測を行うための便利なツールとして、PlaceEngine が挙げられる。PlaceEngine は Wi-Fi 機器を使って現在位置を推定するサービスである。アクセスポイントからの電測情報を用いて計測を行うため、GPS が機能しない場所でも位置計測を行うことができる。

PlaceEngine は Sony CSL において開発され、現在はクウジツ社がサービスを無償で提供している。位置計測を行うための API が公開されており、Web サービスのみならず、ローカルアプリケーションからも利用することができる。現在位置の取得は、コンピュータにインストールされた PlaceEngine クライアントから電測情報を取得し、それを PlaceEngine サーバに送信して問い合わせることによって行われる。これらの処理は HTTP プロトコル経由で行われるため、任意のプログラミング言語を用いてロケーションアウェアな AR アプリケーションを実装することが可能である。

---Bullet Physics Library---

(<http://bulletphysics.org/wordpress/>)

Bullet はオープンソースの物理エンジンライブラリである。C++ クラスライブラリとして提供されている。AR コンテンツを作成する際に、3D オブジェクトの衝突判定などの物理演算を導入したい場合に有用である。柔体のシミュレーションもサポートしている。

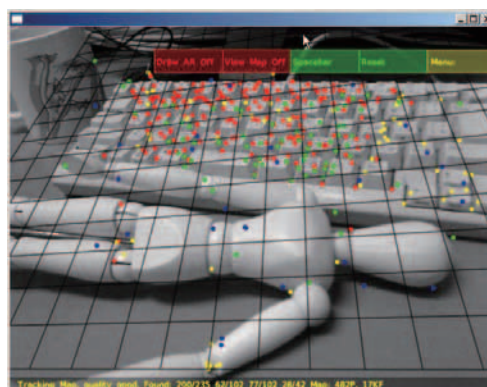
ソースコードが公開されている 研究プロジェクト

最後に、進行中の研究についてソースコードを公開しているプロジェクトを紹介する。ツールキットと呼べるほど API やドキュメントは整備されていないが、他人のプログラムから学ぶことは多いので、ぜひ参考にしてもらいたい。

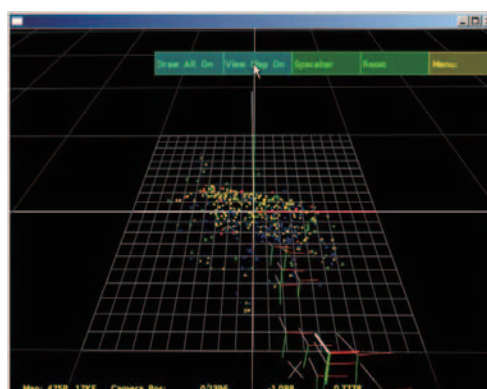
---Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces (PTAM) ---

(<http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/PTAM/>)

PTAM はオックスフォード大学において Klein らによって開発されたマーカレスの AR 技術である⁴⁾。空間中



(a) 特徴点の抽出とトラッキング



(b) マッピングされた特徴点



(c) CG のオーバーレイ表示

図-11 PTAM

の自然特徴点を抽出・追跡してカメラの位置・姿勢を算出し、環境モデルを構築していく手法を用いている。トラッキングとマッピングを並列処理することにより高速な計測を実現している。この研究は AR 分野で最も権威のある国際会議 ISMAR '07 でベストペーパーに選ばれ、そのデモ動画は世界に大きなインパクトを与えた。ソースコードは非商用ライセンスの下で利用することができる。図-11 に配布されているサンプルコードの実行例を示す。



図-12 Handy AR (文献5)より引用)

---Handy AR---

(<http://ilab.cs.ucsb.edu/projects/taehee/HandyAR/HandyAR.html>)

Handy ARはカリフォルニア大学においてLeeらによって開発された手のひらを用いたマーカレスのAR技術である⁵⁾。手のひらをカメラで撮影し、その画像から画像処理によって指先の位置を検出し、指の位置情報に基づいてカメラの位置姿勢を推定している。手のひらの上に3次元CGを表示させ、手を回転したり傾けたりする操作によってCGの全周形状を観察するようなアプリケーションを作成することができる(図-12参照)。論文では、マーカベースの手法(ARTag)と組み合わせて、手の開閉ジェスチャによって3Dオブジェクトをハンドリングするアプリケーションも提案されている(図-13参照)。公開されているソースコードはOpenCVとOpenGLを用いて実装されている。

参考文献

- 1) Kato, H. and Billinghurst, M. : Marker Tracking and HMD Calibration for A Video-based Augmented Reality Conferencing System, Proc. IWAR '99, pp.85-94 (1999).
- 2) MacIntyre, B., Gandy, M., Bolter, J., Dow, S. and Hannigan, B. : DART : The Designer's Augmented Reality Toolkit, Proc.ISMAR '03, pp.329-339 (2003).

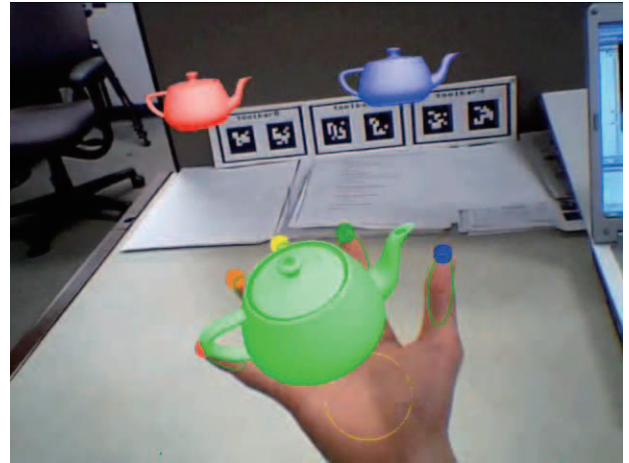


図-13 Handy ARとARTagを組み合わせたアプリケーション例 (Handy ARのデモビデオより引用)

- 3) Uchiyama, S., Takemoto, K., Satoh, K., Yamamoto, H., and Tamura, H. : MR Platform : A Basic Body on Which Mixed Reality Applications Are Built, Proc. ISMAR '02, pp.246-253 (2002).
- 4) Klein, G. and Murray, D. : Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces, Proc. ISMAR '07, pp.225-234 (2007).
- 5) Lee, T. and Höllerer, T. : Handy AR : Markerless Inspection of Augmented Reality Objects Using Fingertip Tracking, Proc. ISWC '07, pp.83-90 (2007).

(平成22年2月15日受付)

橋本 直 (正会員)

hashimoto@designinterface.jp



2009年九州工業大学大学院工学研究科博士後期課程修了, 博士(工学)。同年より(独)科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト研究員。人とロボットのインタフェースに関する研究に従事。

