

## 移動可能な実物体への映像投影手法

# Active projection system for dynamic real objects

小出裕子<sup>†</sup> 橋本直己<sup>‡</sup> 高橋裕樹<sup>††</sup> 中嶋正之<sup>††</sup>

Yuko Koide<sup>†</sup> Naoki Hashimoto<sup>‡</sup> Hiroki Takahashi<sup>††</sup> Masayuki Nakajima<sup>††</sup>

東京工業大学 大学院 理工学研究科<sup>†</sup>  
東京工業大学 精密工学研究所<sup>‡</sup>  
東京工業大学 大学院 情報理工学研究科<sup>††</sup>

Graduate School of Science and Engineering<sup>†</sup>  
Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology<sup>‡</sup>  
Graduate School of Information Science & Engineering,  
Tokyo Institute of Technology<sup>††</sup>

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1  
電話：03-5734-2183, Fax：03-5734-2187

2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8552, Japan  
Tel：+81-3-5734-2183 Fax：+81-3-5734-2187

E-mail：koide@archaeo.cs.titech.ac.jp, naoki@hi.pi.titech.ac.jp, { rocky , nakajima }@img.cs.titech.ac.jp

### 概要

近年注目されているAR(Augmented Reality)技術は、仮想世界と実世界とのシームレスな関係の実現を目的としている。この新たな視覚情報提示手法は、双方の世界の長所を同時に活かすことが出来るため、実用面でも、また芸術表現の新たな可能性を秘めるものとしても有用な技術である。そこでこうしたAR技術を、専門的な機材を用いる事無く、より手軽に実現できるような手法を提案する事は、芸術等への応用を活性化するためにも必要となる。本論文では、複数眼ステレオカメラを用いて実世界環境のディスパリティデータを獲得し、色に関する画像処理及び最適化に関するデータ解析を行うことで、対象物体の抽出及び位置、姿勢の検出を行うシステムを提案する。本論文では、以上のアルゴリズムを実装して、プロジェクタを用いた実物体への仮想テクスチャ投影を行うような映像投影システムを構築した。

### Abstract

AR (Augmented Reality) technology aims to realize a fusion of virtual worlds and the real world. This technology is very useful also practical use or art. We propose an AR system which enables seamless relation between those two worlds by overlaying virtual images on real objects. A stereo camera is used to acquire color and disparity data of real object. In order to determine the position and the posture of the object more accurately, we performe some image processing and data optimization techniques. Finally, we project texture images on the appropriate position of the real objects by using a projector.

キーワード 拡張現実感, ステレオカメラ, プロジェクタ  
Keyword augmented reality, stereo camera, projector

## 1 はじめに

近年注目されているAR(Augmented Reality)技術は、仮想的な情報を付加して現実世界を拡張させるものである。これはユーザが仮想世界と実世界の二者択一を強いられない新たな情報提示手法と言える[1]。この技術は、芸術表現の一手法としても新しい可能性を示すと期待されており、身近な機材を用いて手軽に構築可能なARシステムの提案は有用である。

従来研究では、例えば加藤らは、See-Through型HMD(Head Mounted Display)越しの世界で、“マーカ”と呼ばれる板上に仮想物体を投影するシステムを提案している[2]。しかし、これは仮想物体そのものに触れられないため、仮想物体の形状を確認したり、回転を加える操作などに対しては2次元ディスプレイ表示と同等の効果しか持たない。

また、R.RaskarらのShader Lamps[3]は、白色の対象物体にユーザの指定するテクスチャ映像を重ね合わせるという物であるが、この研究では、対象物体の形状や位置及び姿勢を変化させることは出来ない。

本論文ではユーザが、仮想物体と実物体の組み合わせた対象を、任意の位置や姿勢に動かすことのできるシステムを提案する。このシステム上では実物体を媒体として、仮想物体に触れる事ができるため、現実世界の空間的な直感をそのまま活かすことができる。

## 2 対象物体の位置検出手法

### 2.1 提案システムのためのデバイス選択

HMDはARシステムにおいて、従来最もよく使われてきたデバイスである。しかし、視野角が狭いことや装着者への負担の増加、また、複数人での体験が困難であることなどの問題が指摘されている。

また、対象物体の姿勢及び位置を特定するための、3次元座標データ取得には、主に、磁気式、超音波式、レンジファインダのような能動的なセンサを用いた手法がある。これらは比較的容易に、また正確にデータを獲得する事が出来るが、大がかりな特殊装置を必要とする上に、対象物体にセンサやマーカを取り付ける必要がある。

本論文で実装するシステムでは、以上の問題点を解決し、なるべく簡易な構成となるようにする。データ取得は複数画像からのステレオ処理で行い、テクスチャ映像をプロジェクタを用いて実物体へ重ね合わせるARシステムを提案する。

### 2.2 対象物体の抽出アルゴリズム

簡単のため本実験で用いる対象物体は白色の立方体とし、撮影は、白色スポットライトをあてた台の上で行った。ステレオ処理で得られる、各画素の3次元座標とRGB値のデータ集合から、非対象物体を除き対象物体のみを抽出する。

対象物体は既知であり、また本システムでは対象物体にテクスチャ情報を重ね合わせるため、表面の色情報は決定している。従って、各画素のRGB値によりデータを選別する。

図1,a)には、計測範囲中の物体全ての座標データが表示されている。図1,b)は白色のみを透過させるバンドパスフィルタを用いた結果である。対象物体のみが抽出できている事が確認出来る。

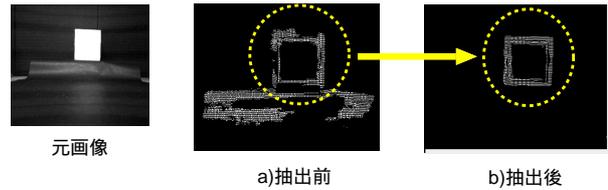


図 1: 対象抽出

### 2.3 位置及び姿勢 特定のためのアルゴリズム

ステレオ処理は、複数カメラのうちの1つから得られる画像を基準として3次元座標データを求めるものであるため、その画像に写らない部分のデータは得られない。従って、対象物体におけるこのような隠面部分を計算し、それを取り除いたモデルを仮想空間で作成する。

この仮想モデルと3次元座標データとの距離をエネルギー関数として定義し、最急降下法を用いて位置を検出する。この際、演算量を減らすために、まず仮想モデルの面分を含む無限遠の面とのエネルギー関数を定義し、近似解を得た後で、それを利用して面分との処理を行って解を得る。

対象とカメラの距離が50~150cmの計測範囲内で、20cm角、発砲スチロール製の白色立方体の対象物体に関して実験を行った。仮想モデルは1つの頂点座標とその頂点を含む1つの面における法線ベクトルで表される。この頂点、法線ベクトルともに真の解との誤差が10%以上の初期値を与えると、75%以上の確率で局所解に陥ってしまう事が分かった。そこで、最小化処理の際局所解を回避するためのアルゴリズムを用意しておく。エネルギー関数がまだ大きく、局所解と判断できる場合には、その時の仮想モデルの法線ベクトルを逆ベクトル( $n \rightarrow -n$ )に変化させる。また、初期値を与えるときも、その逆ベクトルを持つ面とのエネルギーを並行して計算し、減少率の最も高いベクトルを選択して処理を行う。

このアルゴリズムを組み込んで解いた結果、初期値を計測範囲内でランダムに与えた場合でも、90%以上の確率で最適解へと収束する結果が得られた。

## 3 ARシステムの実装

### 3.1 システム構成

システムは、ステレオ処理、対象物体の抽出、その位置及び姿勢検出、映像生成の4段階の処理で構成される。システム全体の構成を図2に示す。

ステレオ処理用の画像を撮影するカメラにはPoint Grey Research社製Digidlopsを用いる。ステレオ処理系では、画像間相関処理からディスパリティデータを求めている。

ディスパリティデータから3次元座標データへと変換され、RGB値とともに対象抽出のための処理系へと渡される。映像生成系においてはテクスチャとなるCG画像を、OpenGLグラフィックスライブラリを用いて生成する。以上の処理を行なう計算機はOSを

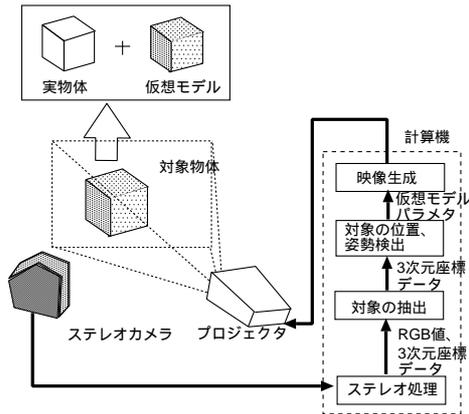


図 2: システム構成

WINDOWS 2000 とし, Intel 社製 Pentium 4 プロセッサ 2.0GHz, メモリ 1.0GB を搭載している.

また, 生成されたテクスチャ映像を対象物体へ投影するために, 輝度 800ANSI ルーメンのプラス株式会社製 DLP プロジェクタ U3-1080 を使用した.

### 3.2 実物体へのテクスチャ映像合成

テクスチャ映像を合成するために, 実世界と仮想世界との幾何学的整合性の問題について解決する.

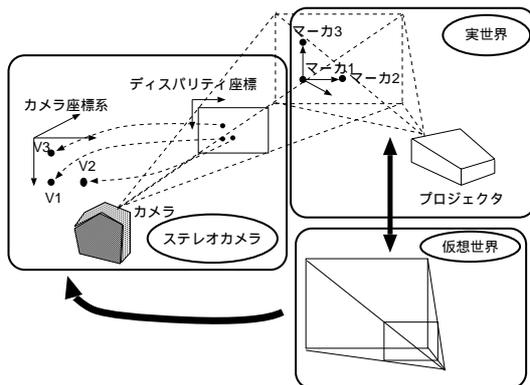


図 3: 各座標系間関係

まず, カメラ座標系と仮想空間座標系を対応付けるための計算を行う. 本システムでは, ユーザが任意の位置にプロジェクタとカメラを設置し, 固定するので, 稼働前に 1 度対応付ければ, それ以降の座標変換を行う.

仮想空間座標系を, 背景の壁の 3 つのマーカにより表す. 簡単のため, 図 3 のようにマーカ 1 を原点とし, マーカ 1 とマーカ 2 を結ぶ直線を  $x$  軸, 3 つのマーカ全てが存在する平面を  $x-y$  平面とする. このマーカの座標データをステレオカメラで取得して以下の処理を行う.

マーカ 1, 2, 3 のカメラ座標系での座標データ  $V_1, V_2, V_3$  から, 仮想空間座標系の各軸の方向成分を求める. この各軸の方向成分と原点  $V_1$  を用いれば, 仮想空間座標系での仮想モデルをカメラ座標系上へと変換できる.

次に, 仮想空間と実空間との対応関係について考える. 本システムでの映像生成は OpenGL グラフィックスライブラリを用いている. これは射影変換を実行す

る射影行列をユーザが指定し, その視野や視体積を特定して仮想世界内のオブジェクトの見え方を決定する. 従って, プロジェクタの持つ固有パラメタにより視体積を決定し, 射影行列を設定して仮想空間座標系と実空間座標系を対応付ければ, 透視モデルである 3 次元 CG 画像を現実環境上にプロジェクタを用いて投影する事が可能となる.

### 3.3 結果

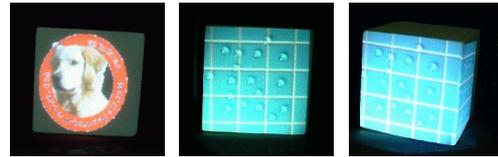


図 4: 映像投影例

提案システムを用い, 20cm 角の白色な立方体に対して様々なテクスチャ映像を投影した例を図 4 に示す. ユーザが立方体を任意の位置, 姿勢に置くと, それに対応して立方体表面上にテクスチャ映像が載るように投影する事が出来た.

結果に多少の誤差が見られる原因は, 3 次元座標の測定時と考えられる. 簡易なステレオカメラシステムを用いるとき, このような誤差を考慮しなければならない. 影響は具体的に, ステレオカメラとプロジェクタを設置してその座標系を対応付ける際と, 位置及び姿勢を特定する際に出て来る.

座標変換のためのパラメタを決定する際には, マーカの座標取得を数回行い, その平均値を取れば, ほぼ正しい値が得られるため問題は無い. 位置検出の際のデータ誤差は, 特に奥行きについて大きく, 20cm 角の立方体では, 面の中心部などで実際の位置から 5cm 以上の誤差を含むものもあった. このような大きな誤差を含むデータからでも, 本論文で提案したアルゴリズムを適用した結果, 図 4 の通り, 対象物体上への重ね合わせに成功できた.

## 4 まとめ

本論文では, プロジェクタを用いた映像投影型 AR システム構築のために, 対象物体の抽出と, 位置や姿勢情報の獲得手法の提案を行ない, また簡単なシステムの試作を行った.

重ね合わせの精度は, ステレオカメラから得られるデータの誤差が最も影響していると考えられるため, その取得や扱いに関する検討を深め, 今後更なる改良を行なう予定である.

## 参考文献

- [1] J. Patten, H. Ishii, J. Hines and G. Pangaro: "Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible user interfaces", Proceeding of CHI 2001 (2001).
- [2] 加藤, M. Billinghamurst, 浅野, 橋: "マーカ追跡に基づく拡張現実システムとそのキャリブレーション", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 4, 4 (1999).
- [3] R. Raskar, G. Welch and K. Low: "Shader lamps: animating real objects with imaged-base illumination", Technical Report, TR00-027, (2000). Department of Computer Science, UNC-Chapel Hill.