

カメラとプロジェクタを搭載した実世界指向情報提示移動ロボットに関する研究

— 第二報：ビジュアルマーカを用いた情報の投影手法 —

A Study for Mobile Robot Showing Spatial Information with Camera and Projector

- 2nd report: Visual Marker Based Projection Technique -

○出戸 智洋 (広島市立大) 岩城 敏 (広島市立大)

Tomohiro DETO, Hiroshima City University
Satoshi IWAKI, Hiroshima City University

We propose a mobile robot with a camera and a projector (Campro-RIS), projecting visual information onto a surface of an environmental object such as wall, floor, and furniture and so on. Based on an environmental structured approach, we actively place a visual marker on the environment so that the robot can easily recognize the position and orientation of the object with respect to the projector coordinate. Using such a visual marker, we propose a projection method composed of a hardware/software servo mechanism. Some primary experimental results are provided to validate the proposed method.

Key Words: Mobile robot, Projector-Camera System, Spatial Augmented Reality, Visual Marker

1. はじめに

カメラとプロジェクタを用い、任意の物体にその関連情報を提示することで人間の活動を支援するシステムが研究されている[4][5]。しかし、プロジェクタによる情報提示の適用範囲が限定される[2]、人間が提示された情報を見ながら作業ができない[3]、さらにはシステムが周りの環境を認識する能力を持っていない[1]、などの問題がある。そこで本研究では、パン・チルト操作可能なカメラ・プロジェクタを搭載した移動ロボット Campro-RIS (図 1) を用い、さらに環境側へ積極的にビジュアルマーカを付加し、システムの環境認識能力及び物体認識能力を大幅に向上させ、この問題を解決することを試みる。本報告では、Campro-RIS と ARTToolKit を用いたビジュアルマーカ追従投影方式を提案する。

2. ビジュアルマーカ追従方式の提案

Campro-RIS は人間の生活空間で活動することを想定している。そのため、Campro-RIS は常に変化する周りの環境を認識し、人間にとって有益な情報を投影しなければならない。本研究では、移動ロボットの環境認識能力を向上させるために環境側へビジュアルマーカを付加し、さらにビジュアルマーカの認識に、ビジュアルマーカの位置・姿勢情報、種類の判別が可能な ARTToolKit を用いた。また、Campro-RIS は任意の場所と姿勢から、マーカで規定された場所に情報を投影する機能が必須であるが、これはシステムが、見つけたマーカを追従投影する機能を実装することで実現することができる。本報告では、以下に示すパン・チルト動作による追従 (以下ハード追従) と画像処理による追従 (以下ソフト追従) を同時に行う、二重の制御でこの追従機能を実現する方式を提案する。

2.1 ハードウェア追従方式

この追従方式では機械的なパンチルト動作による追従を行う。動作はカメラの光軸を常にマーカの中心に合わせる制御となる。この制御を実現するため、カメラ座標系におけるマーカの位置から、カメラの光軸との横方向、縦方向の角度の偏差を算出、補正を行う。(図 2) θ_1 および θ_2 は ARTToolKit の関数によってカメラの取得画像から得たマーカの位置情報から、式 (1) のように算出することができる。

$$(\theta_1, \theta_2) = (\arctan(X/Z), \arctan(Y/Z)) \quad (1)$$

追従アルゴリズムは、以下に示すように、 (θ_1, θ_2) とパン・チルトそれぞれの方向の角度の現在値の和をサーボモジュールに与え続ける。

- カメラ画像から (θ_1, θ_2) を算出
- パン・チルト方向の現在値 (角度) (θ_p, θ_t) を取得
- $(\theta_p + \theta_1, \theta_t + \theta_2)$ の値をサーボモジュールに目標値として与え、i に戻る

2.2 ソフトウェア追従方式

この追従方式では、プロジェクタの投影範囲において画像処理によるソフトウェア的な追従を行う。動作は任意の位置・姿勢にあるマーカで規定された場所に情報を歪みなく投影する制御となる。例えばマーカの左側の平面に一边が 20cm の正方形を表示させたいときなど、この制御を行うことにより、人間が認識できる形の情報を投影することが可能となる。この制御を実現するためには、プロジェクタから見たマーカの位置・姿勢、すなわちマーカからプロジェクタへの座標変換行列 m_pT を元に、投影内容を出力する必要がある (図 3)。しかし、 m_pT はプロジェクタから直接求めることはできない。以下マーカからプロジェクタへの座標変換行列の導出方法について述べる。

(a) マーカからプロジェクタへの座標変換

m_pT は以下の式 (2) で求めた。

$${}^m_pT = {}^m_cT \cdot {}^c_pT \quad (2)$$

ここで、 m はマーカ、 p はプロジェクタ、 c はカメラの座標系を表す。 m_cT は ARTToolKit によってカメラの取得画像から得られる。しかし c_pT を求めるには別に処理が必要となる。その方法を次に示す。

(b) カメラからプロジェクタへの座標変換

式 (2) の c_pT はプロジェクタから一時的にキャリブレーション

オン用のマーカをプロジェクタから投影し、それをカメラで捉え (図 5), 式 (3) のようにして、マーカ情報によって得られた mT_c の逆行列 ${}^mT_c^{-1}$ と mT_p の積で求める。

$${}^cT_p = {}^mT_c^{-1} \cdot {}^mT_p \quad (3)$$

ここで、 m' はキャリブレーション用のマーカの座標系を表す。 mT_p はあらかじめ指定する大きさになるように、キャリブレーション用のマーカをプロジェクタの投影方向と垂直な平面に投影することで、プロジェクタのビューボリュームと投影変面の幾何学的関係から計算可能である。なお、ここでのキャリブレーションは mT_p の導出に必要な cT_p を以上の方法で求めることである。

以上2つの追従制御を独立かつ同時に行うことで、機械的な粗調整および、画像処理による微調整の二重のフィードバック制御を行うシステムを構築した。(図 4)

3. 実験結果と考察

提案手法の妥当性を確認するために 1)マーカ固定+ロボット移動, 2)ロボット固定+マーカ移動, 3)両者移動, の3通りの条件下で、パンチルト動作での追従手法と画像処理での追従手法を同時に行う実験を行った結果、設計通りの追従投影が実現できた。図 6 の A は追従投影を行う前の状態で、B は追従投影を行っているときの状態である。図 6 の B を見ると投影内容 (画像) が指定した場所に合わせて表示されていることが分かる。追従の速度と追従の精度について、ハード追従、ソフト追従それぞれの結果を以下の表 1 に示す。

Table 1 Comparison Hardware tracking with Software tracking

	ハード追従	ソフト追従
追従速度	約1Hz	約2Hz
追従精度	誤差数mm以内	cT_p の算出精度とマーカとの距離に依存

この結果を見ると、追従速度はソフト追従のほうが速いことが判る。しかし、このソフト追従の追従速度ではハード追従の追従速度を補うことができず、動的に追従を行った場合、カクついた投影追従になってしまう。ただし、現段階では動的に情報を投影することが目的ではないので、動的投影追従における投影情報の視認性について問題はないと考える。

4. まとめ

移動型プロジェクションシステム Campro-RIS と ARTToolkit によるビジュアルマーカ追従方式を提案し、その妥当性を実験により確認した。

参考文献

- [1] 町野保 ほか：“カメラとプロジェクタを搭載した移動ロボットによる実空間視野共有型コラボレーションシステム”，日本ロボット学会誌, Vol.24 No.7, pp.830-837, 2006
- [2] 岩城敏 ほか：“FreeTagpaper: A Pen-and-Paper-Based Collaboration System Using Visual Tags Printed on Paper”，The Fifth International Conference on Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology (CSTST'08)
- [3] Oliver Bimber, Ramesh Raskar “Spatial Augmented Reality Merging Real and Virtual Worlds”, Mobile Projectors, pp.288-291, 2005
- [4] 佐藤知正 ほか：“生活環境をセンシングする環境知能化”，ロボット工学セミナー第 50 回シンポジウム, 2009 4/24
- [5] 出戸 ほか：“カメラとプロジェクタを搭載した実世界指向情報提示移動ロボットに関する研究”，電気・情報関連学会 2009

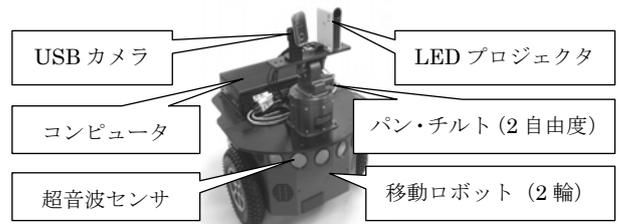


Fig.1 Campro-RIS

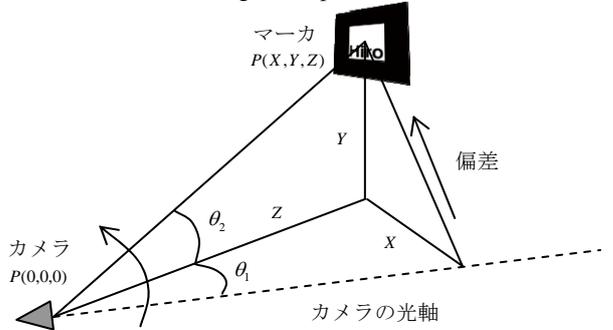


Fig.2 Geometrical relation between camera and marker

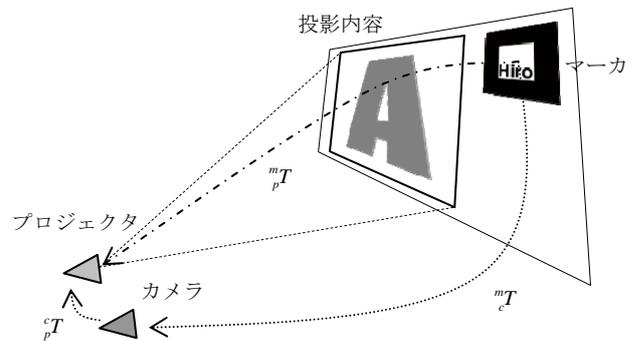


Fig.3 Coordinate transformation from marker to projector

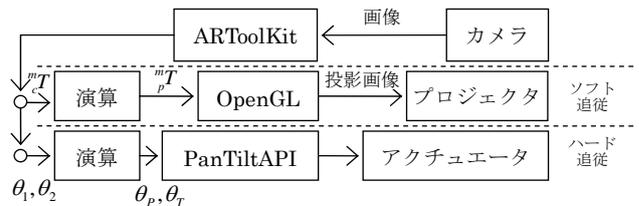


Fig.4 Functional block diagram of the system

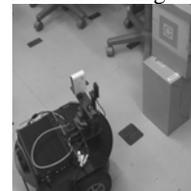


Fig.5 Calibrating the coordinate transformation matrix cT_p

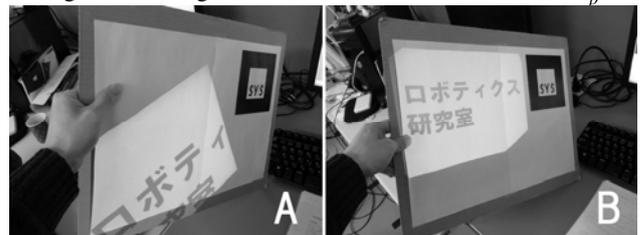


Fig.6 Overview of tracking projection experiment