

[Original article]

(2008年2月26日 Accepted)

## 彩色マーカとステレオカメラを用いた3次元マウス

吉野 慶一<sup>1</sup>, 野村 烈<sup>2</sup>, 渡辺 義明<sup>3</sup>

- 1) 北九州工業高等専門学校・電子制御工学科 2) 奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科  
3) 佐賀大学・理工学部

**要約:** 低コストの3次元マウスを実現する事を目的に, 3色に彩色したマーカと2台のWebカメラを用いて, 実時間で多点の3次元位置計測が出来る装置を製作した。この3次元マウスはノートPCとWebカメラで構成できるため, 様々なアプリケーションへの利用が期待できる。実験では, 二つのカメラを100mmの間隔で設置した場合, カメラの前方600mmにおいて誤差10mmの精度が得られた。また少なくとも空間内の3点を毎秒30回の速さで計測できた。例として3本の指にマーカを取り付け, PCで作った仮想空間内にある物体をつかんで移動させる事ができた。

キーワード: マウス, 3次元, 多点

## Three Dimensional Mouse System Using Two Movie Cameras and Colored Markers

Keiichi YOSHINO<sup>1</sup>, Tsuyoshi NOMURA<sup>2</sup>, Yoshiaki WATANABE<sup>3</sup>

- 1) *Department of Electronics & Control Engineering, Kitakyushu College of Technology*  
2) *Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology*  
3) *Department of Information Science, Saga University*

**Abstract:** To realize low-cost 3D mouse system, a multi-points 3D measurement system is proposed. The system has two video cameras and acquires 3D coordinates of three colored markers. As the system uses only common devices, it is applicable to various fields. The measurement error of the marker position was 10mm at 100mm in front of the cameras. The system acquired 3D coordinates of the markers 30 times per second. As an application, we implemented a 3D mouse system, in which an object in the virtual space is picked and moved.

**Keywords:** Mouse, 3D, Multi-pointing

---

Keiichi YOSHINO

5-20-1, Shii, Kokuraminami-ku, Kitakyushu-shi, 802-0985, Japan

Phone: +81-93-964-7283, Fax: +81-93-964-7288, E-mail: yoshino@kct.ac.jp

## 1. はじめに

コンピュータやビデオカメラ等のハードウェアの急速な発展により、3次元の画像情報も高速に処理できるようになって来た<sup>[1]-[4]</sup>。一方、3次元の入力装置であるポインティングデバイスについては、様々な方式のものが開発されている<sup>[5]-[9]</sup>。加速度センサやジャイロセンサを用いて指や掌の位置情報を得るバーチャルグローブや、光ファイバーの屈曲で3次元位置情報を得る装置、超音波と赤外線伝達時間差により位置を計算する方式の装置等がある。しかし、何れも専用の入力装置を用いているため、コストの点で不利であり、一般への普及には至っていない。

ここでは、簡単にコンピュータに接続できるWebカメラを用いて、3次元マウスを作成する事を考えた。近年カメラは急速に高性能化すると同時に大量生産のため安価になってきており、3次元入力用の専用デバイスに比べ一般人にも入手が容易であり、多くの応用が見込まれる。

本論文では、3次元位置情報の取得のために、3色に彩色した紙のマーカと、2台のWebカメラを用い、視差を利用して複数点の3次元位置計測を行う。彩色マーカを用いたのは、手の認識に比べ処理が簡単のため特定が速いのと、環境に依存しにくいからである。また、パターンマッチングに比べて距離に関係なく位置情報が得られる点や、赤外線マーカと比べて電源等の特別な装置が必要ないからである。また、マーカ本体も色を塗るだけで容易に製作出来る。更に、彩色の色の組み合わせを変える事で、同時に複数個のマーカに対応できる特徴がある。まず、ステレオカメラを用いて彩色マーカの位置を三角測量により測定し計測精度を検討する。次に3本の指にマーカを取り付け、PC内の仮想空間内にある物体を操作しその有効性を検討する。

## 2. システムの概要

図1に示すように、二台のカメラを使って色分けしたマーカの中心を簡単な画像処理により見つけ出し、視差を利用して三角測量で3次元位置を求める。彩色の組み合わせを変えた複数のマーカの位置情報を、同時に得る事が出来る3次元位置情報の入力装置とする。

まず、3次元位置計測に用いる彩色マーカについて検討する。装置は屋内外の自然光及び室内灯の下で利

用することを前提とする。マーカの位置はマウスの操作を想定し、カメラから600mm以内に提示されるものとする。

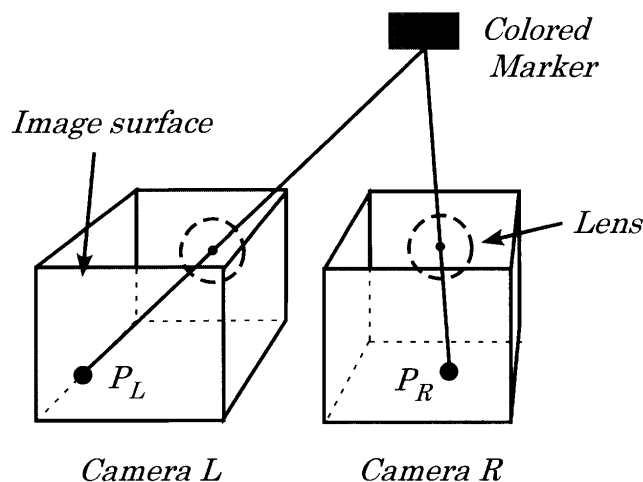


図1 視差による3次元位置検出

### 2.1 3色カラーマッチング

マーカは色分けする事でその境目を線として認識する事ができる。3色に塗り分ければ境界線は2本となり、その交点を求めればマーカの位置が特定できる。線はカメラからの距離に依存しないため、距離に関係なく位置の特定が可能となる。

図2(a)に実験に用いたマーカを示す。赤と青、下を黄色とし、3色の境界線の交点を探索する。Webカメラから取り込んだ各フレームにおいて、マーカの赤と青の境界を取得画像から探索する。まず色の条件を満たしている赤が3ピクセル続きであるものを探索し、もしそれが存在すれば、次に青の探索を同様にを行う。このとき、計算量を減らすために、赤の探索は3ピクセル飛ばしで行うものとする。また、図2(b)のように境界は色が明瞭でないため、赤3ピクセルと青3ピクセルの間を4ピクセル空けて青の探索を行う。青も3ピクセル続きのものを発見したとき、赤と青の中心を境界線とする。

その後、その境界線の下を黄色を探索を行う。図2(b)に示すように赤のラインから7ピクセル下を黄3ピクセルを探索し、水平方向の境界線を検出する。即ち最初に赤領域、その右に青領域、その下に黄領域それぞれ3ピクセル連続のときマッチングしたと判断する。但し、マーカが回転したときも認識できるように、青と赤の境目を検出する場合よりも、飛ばすピクセル数を多くした。図3に実行画面を示す。(b)の三つの

黒点が認識点である。この場合マーカは、図の状態を  $0^\circ$  とすると、 $\pm 45^\circ$  の回転を許容できた。なお、認識の際に用いる赤、青、黄の RGB 各成分の範囲は、実験室の環境下で撮影した画像からサンプルを取り、その上限と下限から設定した。

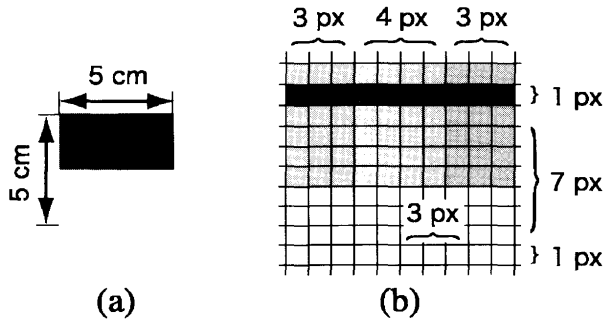


図2 3色カラーマッチングに用いたマーカ(a)と色テンプレート(b)

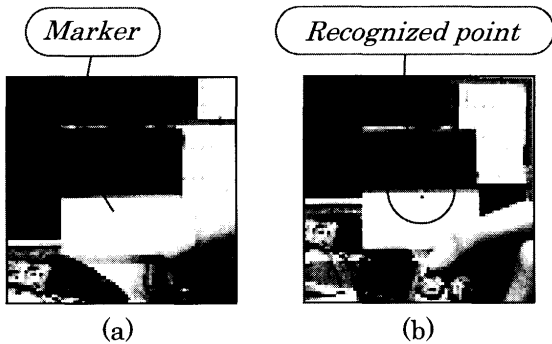


図3 実行画面

### 3. ステレオカメラによる3次元位置計測

ステレオ画像を用いて、マーカの3次元位置を次の二つの方法で計測する。画像におけるマーカの中心座標は、先述の方法により得る。次に、左右の画像のマーカ位置情報による視差を使って三角測量により3次元位置を求める。三角測量による方法はレンズの歪に影響される。その誤差を補正するために、実験値から視差距離の近似式を得て、3次元位置を求める方法も試みた。

#### 3.1 視差を使った三角測量による計測

一つのマーカについて、左右のカメラで取得した画像から、マーカの中心座標をそれぞれ探索する。その値を元にマーカの3次元位置を、三角測量により計算

する。図4に示すように、カメラ間の距離を  $d$ 、レンズの焦点距離を  $f$ 、それぞれのレンズの中心座標を  $O_L$ 、 $O_R$ 、マーカの位置を  $P$ 、マーカの画像面での位置を  $P_L$ 、 $P_R$  とおくと、三角形  $PO_LO_R$ 、 $PP_LP_R$  の底辺と高さには、 $d : d + (X_R - X_L) = Z_p : Z_p + f$  という比例関係がある。以上より、カメラからマーカまでの距離は以下の式で示される。

$$Z_p = \frac{d \cdot f}{X_R - X_L} \dots \dots \dots (1)$$

#### 3.2 近似式による3次元位置計測

左右のカメラでそれぞれ探索した認識点の視差と、そのときのカメラからマーカまでの距離を実際に測定し、視差距離の近似式を求める。ただし、カメラからマーカまでの距離が200~600mmで実測値との誤差が小さくなるように、近似式の係数を調整した。

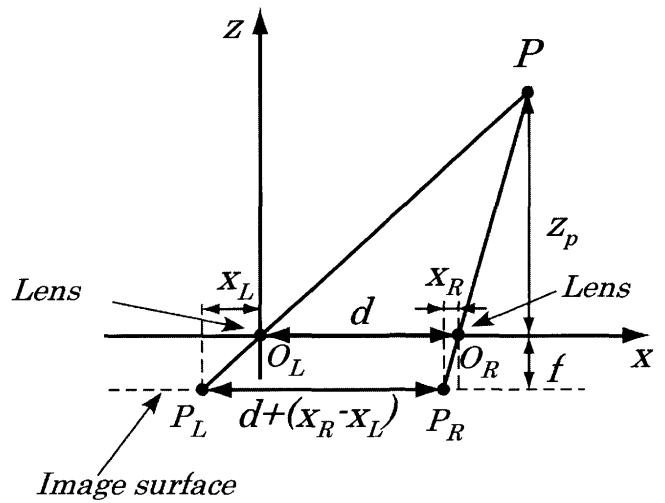


図4 視差を使った三角測量の方法

#### 3.3 実験環境

実験は次の環境で行う。室内において自然光の入射が伴う蛍光灯下で、カメラはApple iSightを2台使用する。解像度はカラーの320×240ピクセル、フレームレートは30 fpsで、2台ともノートPC上部に固定して撮影する。レンズの焦点距離  $f = 7$  [mm]である。撮影した画像は、IEEE1394ケーブルで接続したノートPC (PowerBookG4, OS: Mac OS X 10.4.8, CPU: 1.67 GHz, RAM: 1 GB) でキャプチャし、各処理を行う。

#### 4. 実験結果

マーカ位置の測定精度を検討するために、カメラからの奥行き方向の距離（z軸）を一定にした時の、2次元平面上の上下（y軸）左右（x軸）の2点を識別できる分解能と、カメラとマーカの距離の測定精度について実験を行った。

先ず2次元位置の分解能を図5に示す。上下（y軸）と左右（x軸）の方向の分解能は同じであったので、左右（x軸）方向についてマーカの位置を実測した結果から分解能を評価した。図5の縦軸は2点が二つの点として識別できる最小の間隔を示している。実験はカメラの真正面で、マーカまでの距離を300mmのとき分解能は1.11mmであった。また600mmのとき2.25mmであった。これらの結果から画像面のピクセルの間隔は0.0261mmとなる。

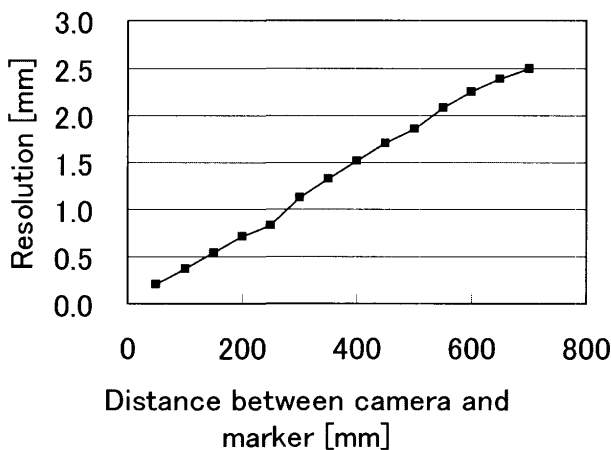


図5 マーカ位置の2次元分解能

次に、ステレオ画像を用いた方法により得た、カメラとマーカとの距離（z軸方向）の計測結果を図6に示す。図は三角測量による方法と、測定結果を近似式に置き換えて補正した方法の二つの結果を示している。また、図7に各距離における実際の値との誤差を示す。ここで、三角測量による方法では、カメラ間の距離  $d = 100$  [mm]とした。なお、近似式を使う方法では、実験から距離の計算式に  $Z_p = 22865 \cdot (X_R - X_L)^{-0.900132}$  を用いた。

図7より、三角測量を用いた場合の誤差は、200mmを付近を基準にすると400mm近傍で約11mm、600mm近傍で約40mmであった。左右画像の認識点の視差から計算するため、等距離におけるフレーム間の視差の

精度が良く、良好な値が得られた。また、500mm以上では誤差が急激に大きくなった。これはカメラのレンズの歪みが原因と考えられる。

近似式を使って視差から距離を求める方法では、400mm近傍で約3mm、600mm近傍で約10mmとなった。この方法では、三角測量で問題だったレンズの歪みの影響が、近似式により補正され良い結果となった。以上、2台のカメラを用意しなければならないが、マウスとして用いるには十分な精度と考えられ、安定した値が出力された。更に、マーカも小さくできることから、PCやウェアラブルコンピュータなどで使用するポインティングデバイスに利用できると思われる。

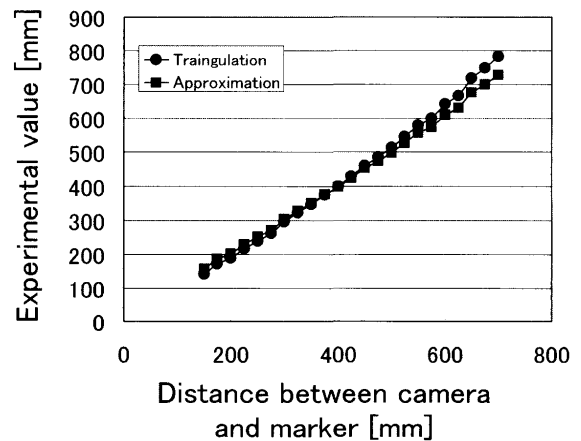


図6 三角測量と近似法により得られたカメラとマーカとの距離計測結果

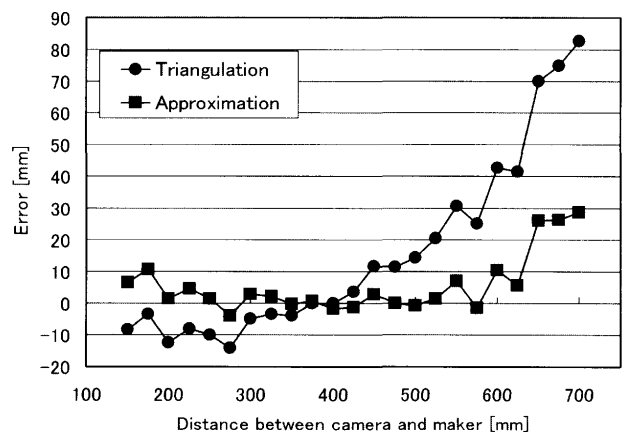


図7 マーカの計測位置と測定誤差の関係

#### 5. 仮想物体の操作

以上の結果を利用して、3次元マウスへの応用を行った。例として、仮想空間内の仮想物体を利用者の手を使って、自由に移動することができるアプリケーションを開発した。マーカの距離計算には、認識点の視差-距離の近似式を用いた。

図8に、プログラムの実行画面を示す。マーカはカラープリンタで印刷して親指、人差し指、中指の先の三箇所両面に両面テープで付けた。マーカのサイズは10mm角で、色は、赤、青、緑、黄色、水色の中から三色組み合わせたものを使用する。まず、3色カラーマッチングで、左右のカメラ画像上の各マーカの位置を求める。その情報は仮想空間上に立方体の仮想物体と一緒に表示する。3次元位置がわかり易いように補助線も同時に表示する。

仮想物体を操作するために、まず掴む動作を判断する。ここでは、人差し指に付けたマーカの位置が仮想物体と接触または中に入っていて、更に三つのマーカのそれぞれの間隔が15mm以下のとき掴む動作であると判断した。掴んでいる状態で手を動かし、仮想空間内の物体を3次元的に自由に移動させることに成功した。

## 6 考察

### 6.1 画面操作

仮想物体の操作では、3次元空間内でのクリックとドラッグ操作を三つの指先の距離の関係を使って、またその物体を指定しているかを手差し指との重なりで判断した。今回は行っていないが、3本の指の関係を使えば、追加の情報を与える事もできる。

マウスとしての応用を考えた場合、例えば人差し指に親指が近づけば左クリック、中指に親指が近づけば右クリックというような操作が可能である。また、人差し指だけの場合は空間上でペン入力、人差し指と中指の場合は2本の指で指示した物体回転を行う等、組み合わせを利用した操作の入力も可能となる。更に、2次元画面の操作において、クローズアップの指示を手を近づけたり遠ざけたりすることで行うような応用に利用できる。

### 6.2 測定精度

マーカの位置の測定については、レンズ径が大きくなるとピントずれや収差によって、マーカの像がぼけて正確に点として捉えることが出来ないため精度に影響が出る。本実験では図2に示したように色の境目にグラデーションができた。マーカの色境目を見つけるのに、最初に水平方向に赤色を見つけ、その後、4ピクセル飛ばして青色を探し操作を行った。即ち赤から青へ変化して行く中で青色のピクセルを特定する。青色が見つかる、次に垂直方向に7ピクセル飛ばして黄色を探索する。色は段階的に変化していると仮定し、発見した二つの境界のそれぞれ2ピクセル前を実際の境界であるとみなしてマーカの中心を求めた。最大で水平方向4ピクセル、垂直方向7ピクセルの誤差が考えられるが、実際にはほとんどマーカの一定の場所を特定できていた。更に、仮定した点と実測の点の位置を比較して補正を行い精度の向上を図った。

次に、深さ方向の精度であるが、ここでは二つのカメラのレンズを結ぶ直線上の midpoint から前方の、距離  $Z_p$  とその点の深さ方向の精度について考える。図4において、 $x = d/2$  における  $P$  点の  $z$  方向の値  $Z_p$  は式(1)より以下のようなになる。

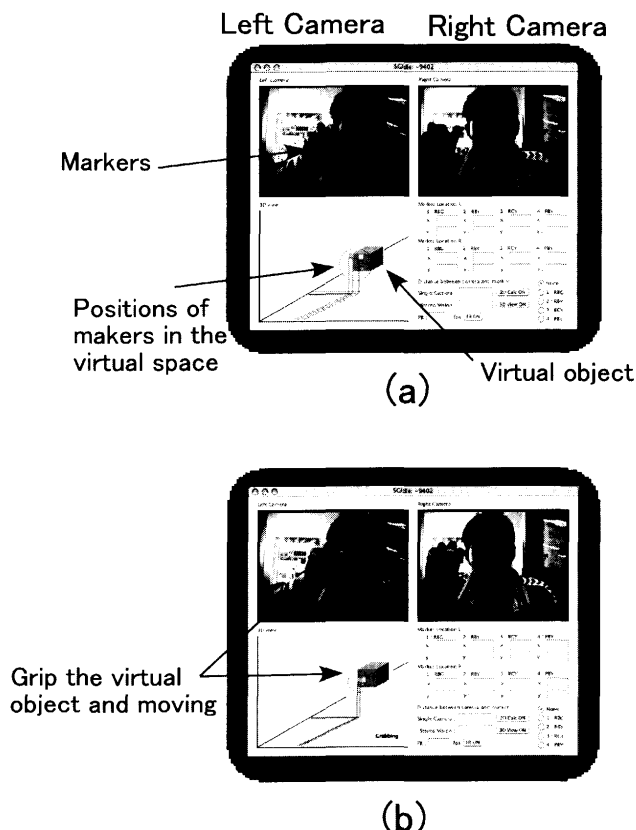


図8 仮想物体を移動させている様子

$$Z_p = \frac{d \cdot f}{2X} \dots \dots \dots (2)$$

ただし,  $X_R = -X_L = X$  とする。

従って, 式(2)より画像上の測定誤差  $\Delta X$  による  $P$  点での誤差  $\Delta Z_p$  は以下の式で求められる。

$$\Delta Z_p = \frac{d \cdot f}{2X} - \frac{d \cdot f}{2(X + \Delta X)} \dots \dots \dots (3)$$

ここで,  $\Delta X$  をピクセルの間隔の図5より求めた  $0.0261\text{mm}$  とすると, 式(3)に距離  $Z_p = 400\text{mm}$  の時の  $X$  を代入して  $P$  点における誤差を求めると  $11.5\text{mm}$  である。また  $Z_p = 600\text{mm}$  では  $25.6\text{mm}$  である。実験では  $400\text{mm}$  の時が約  $11\text{mm}$ ,  $600\text{mm}$  のとき約  $40\text{mm}$  であり, カメラから近い場所では良い一致がみられた。

本実験で使用したカメラは安価で容易に入手できる  $320 \times 240$  ピクセルの解像度のものを使用した。この程度のカメラでもカメラからの距離が  $600\text{mm}$  の時, 水平方向で  $2.25\text{mm}$  の分解能が確保できた。この性能はカメラに使用されている撮像素子の分解能に支配されており, カメラの性能が上がれば, 3次元の測定精度が改善する。また, 実験では2台のカメラの間隔を  $100\text{mm}$  としたが,  $200\text{mm}$  にすれば精度は倍にする事が出来るであろう。なお, 三つのマーカの特定制と3次元位置の算出に必要なCPU計算時間は,  $1\text{ms}$  以下であり画面表示等に比べて十分小さく, 現在のPCでアプリケーションに組み込む事が出来る。今回のマーカによる3次元位置計測の方法では, 測定精度がカメラの画像分解能に依存するため, 精度向上に関しては, カメラの高性能化による所が大きい。

### 6.3 仮想物体の操作について

3次元空間情報をそのまま利用するアプリケーションの例として, 仮想物体を掴んで移動させるものを作った。操作に関しては画面の取り込みと同じ回数で処理を行う事が出来るため, 時間的な遅れによるストレスはほとんど感じなかった。

今回試作した装置は, カメラから  $600\text{mm}$  で上下左右方向の分解能は  $2.25\text{mm}$ , 奥行き方向は  $10\text{mm}$  であった。この性能は高精度の位置決めには利用できないが, マウスとして奥行き方向の情報を利用する使い方は種々あるものとする。

## 7. まとめ

本論文では, 携帯可能なカメラを用いて, 背景が単純でない場合や, 自然光下や室内等での光の状況や, 色々な背景で使用出来るような3次元マウスの検討を行った。その結果, マーカの認識方法では, 3色の彩色マーカを用いて, その位置情報を得る方法が, 実用的である事がわかった。また, 二台のカメラを使った視差によるマーカの3次元位置計測は, 実時間で多点の計測が可能であり, マウスとして利用出来る事がわかった。更に, 簡単な応用例として仮想物体を掴んで移動する操作を行う事ができた。なお各指の位置や変化の情報を用いれば, 回転, 変形等その他の機能を持たせる事が可能となると考えるが, 今後の課題としたい。

## 参考文献

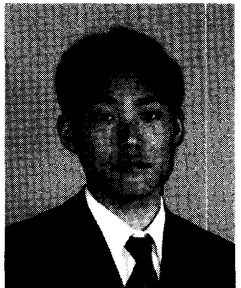
- [1] 河北真宏, 飯塚啓吾, 飯野芳己, 菊池宏, 藤掛英夫, 會田田人: 実時間距離検出 3次元テレビカメラ (Axi-Vision カメラ), 信学論, J87-D-2, 6, pp.1267-1278, 2004.
- [2] 五十嵐弘也, 斎藤英雄, 小沢慎治, 山本恵一, 佐藤広充: 単眼カメラを用いたインストルメンタルパネル操作用ハンドシェープスイッチの構築, 電学論, 124-C, 9, pp.1820-1826, 2004.
- [3] 佐藤清秀, 山本裕之, 田村秀行: カメラと3次元センサの組み合わせによる現実空間と仮想空間の位置合わせ手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 4, 1, pp.295-301, 1999.
- [4] M.Fukumoto, Y.Suenaga, and K.Mase: Finger-Pointer: Pointing interface by image processing, Comput. and Graphics, Vol.18, No.5, pp.633-642, 1994.
- [5] 齋藤真希子, 佐藤洋一, 小池英樹: Perceptual Glove: 多視点画像に基づく手形状・姿勢の実時間入力とその応用, 情報処理学会論文集, 43, 1, pp.185-194, 2002.
- [6] 園田智也, 岡村洋一: 空中での手書き文字入力システム, 信学論, J86-D-2, 7, pp.1015-1025, 2003.
- [7] 福田修, 有田潤, 辻敏夫: EMG 信号を利用した全方位型ポインティングデバイス, 信学論, J87-D-2, 10, pp.1996-2003, 2004.

[8] 野中秀俊, 伊達惇: 超音波の位相差を利用したポインティング装置 (PSD) の開発, 計測自動制御学会論文集, 29, 7, pp.735-744, 1993.

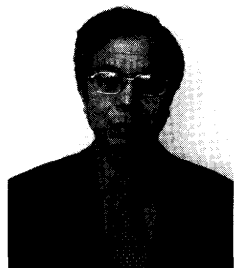
[9] 加藤博一, Mark Billingham, 浅野浩一, 橘啓八郎, マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 4, 4, pp.607-616, 1999.



**吉野 慶一 (よしの けいいち)**  
北九州工業高等専門学校電子制御  
工学科教授  
1980年佐賀大学理工学部電気工学科  
卒。同年シャープ株式会社入社。  
1984年九州工業大学文部技官。1992  
年北九州工業高等専門学校, 助手, 講  
師, 助教授, 現在に至る。1995年佐賀  
大学大学院博士後期課程修了。博士  
(工学)。電気学会, 電子情報通信学  
会会員。ニューラルネットワークに関  
する研究に従事。



**野村 烈 (のむら つよし)**  
奈良先端科学技術大学院大学情報  
科学研究科像情報処理学講座博士  
前期課程在学中。  
2005年北九州工業高等専門学校  
電子制御工学科卒。2007年同高専・  
制御工学科修了。



**渡辺 義明 (わたなべ よしあき)**  
佐賀大学理工学部知能情報システム  
学科教授  
1972年九州大学工学部電子工学科卒。  
1977年同大学院博士課程修了。同年  
同大・工・情報工・助手, 以後同大  
・医・講師, 佐賀大・理工・情報科学・  
教授。工学博士。日本ME学会会員。  
生体工学, 医用情報処理, ニューラル  
ネットワーク等の研究に従事。