

力覚および視線により操作可能なモニタデバイスの開発

河合有記、森谷秀文、澤田秀之

香川大学 工学部 知能機械システム工学科

〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20

Email: sawada@eng.kagawa-u.ac.jp

あらまし：近年の画像処理技術の発達により、様々な画像や仮想空間を計算機で作り出すことができる。しかし既存のマウスと GUI によるインタフェースでは、直接的、直感的な操作が困難であるという問題点があげられる。本研究では、3 段のアームと 5 つの角度センサによって保持されたモニタデバイスを制作し、角度センサからの入力情報を利用することでモニタへの力覚操作によって計算機を扱うことのできるインタフェースを開発した。またモニタ上部にカメラを装着してユーザの視線を認識することにより、視線と力覚によりモニタ内の仮想オブジェクトあるいは仮想空間を操作できるシステムを構築したので報告する。

Development of a Monitor Device driven by Gaze and Haptic Manipulation

Yuki KAWAI, Hidefumi Moritani and Hideyuki SAWADA

Department of Intelligent Mechanical Systems Engineering, Faculty of Engineering, Kagawa University
2217-20, Hayashi-cho, Takamatsu-city, Kagawa, 761-0396, JAPAN

Abstract - In the human to human communication, we are able to communicate with each other by using not only verbal media but also the five senses. With the widespread availability of computers, the media which directly affect our emotions will be effectively utilized together with the audio and images. In this paper a monitor device driven by gaze and haptic manipulation will be introduced together with two application systems, in which a user is able to directly manipulate a virtual 3D object with the gaze and haptic senses.

1. はじめに

計算機の処理能力の急速な向上により使用者である人間との関わり合いの形も大きく変化し、ヒューマン・マシンインタフェースの重要性が注目されるようになってきた。人間どうしのコミュニケーションにおいては、言語に加えて視覚、聴覚、触覚といった五感が有効に利用されている。これらを通して伝達される情報は、感性や感情に直接的に働きかけ、円滑なコミュニケーションに大きな役割を果たしている。例えば電話に始まっ

た遠隔地どうしの通信では、マルチメディア技術を基盤として電子メール、テレビ電話と、距離を感じさせないコミュニケーション手段が実現されてきている。通信容量の拡大により、今後はますます高音質の音響と高画質の映像へのニーズが高まるであろう。そこでは単に相手が映っていればよいというだけではなく、背景や周りの様子に関する情報や、あるいは言葉以外の応答、例えば視覚や触覚、力覚に直接的に訴えるメディアが有効に使われる必要があると考えられる。

本研究では人間と計算機を結びヒューマンインタフェースに着目し、手で直接力覚操作することのできるディスプレイ装置を提案する。更にディスプレイ上部にカメラを装着し、ユーザの顔画像を取得することによって視線の認識をおこなう。ユーザによる直接操作を入力情報とすることで、モニタデバイスを通して意思や意向を計算機に伝えることのできるインタフェースの開発をおこなっている。またこのモニタを用いた二つのインタフェースシステムの提案をおこなう。ひとつは、ユーザが見たい位置、姿勢に直接モニタを移動させることにより、あたかも「のぞき穴」から仮想 3 次元物体を見るようにその画像を提示することのできる「直接提示モード」である。二つめはユーザのモニタ操作および視線を認識し画面内の仮想対象物とインタラクションがおこなえる「動作認識モード」である。最後にこれら 2 つのシステムの評価と有用性について述べる。

2. 本提案に関する従来研究

2.1 力覚操作可能なデバイスの従来研究

SPIDAR [1]は糸やワイヤをユーザの指先に取り付けるハプティックデバイスであり、その張力を利用して指先の位置、姿勢を計算することによりユーザへの力覚提示を可能としている。また、PHANTOM [2]はアームの先にペンやサックなどを取り付けることが可能なデバイスで、その位置情報を利用して力覚フィードバックをおこなうことができる。このような力覚提示デバイスを利用した仮想空間作業のオペレーション支援の提案がおこなわれているが、視覚情報提示のためにこれらデバイスの他にディスプレイ装置を必要とするという問題がある。また提示画像とハプティックデバイス間の同期も未だ研究課題である。Z モニタ [3]は LCD を 2 段アームで保持したデバイスで、従来からの計算機操作手法であるウインドウシステムに変わるインタフェースを提案しているが、動作認識や画像処理手法を統合したインタラクションについては考慮されていない。

2.2 動作認識に関する従来研究

計算機の操作の複雑化にともない、人間の 3 次元空間内での動作を計算機によって認識し、これを計算機とのインタラクションに利用しようとする研究がさかんにおこなわれている。このよ

うな研究は一台または複数のカメラによって得た画像を利用し動作を認識するもの(例えば [4],[5])や、データグローブに特殊なセンサを取り付けて動作を抽出するもの(例えば [6],[7])などがある。しかし人間が何らかの対象物进行操作しようとする場合、力覚をともなった方が直感的に理解がしやすい。また人間の意志や感情は、手などの位置よりもむしろ身体に加えられる力に顕著に現れる。本研究のように力覚操作可能なモニタデバイスと直感的操作を直接結びつけたものはこれまでに見当たらない。

3. 力覚・ジェスチャにより操作可能なモニタデバイス

力覚操作可能なモニタとして、図 1 に示すような「直感モニタ」と呼ぶモニタデバイスを製作した。このデバイスは、液晶ディスプレイ、アーム、角度センサ、カラー CCD カメラ、計算機によって構成されている。

液晶ディスプレイは図 2 に示すようにステンレス製の 3 段のアームによって保持されており、ユーザの力覚操作により 3 次元可動域の任意の位置に移動、静止可能である。角度センサとしてオムロン社のアブソリュート形ロータリーエン

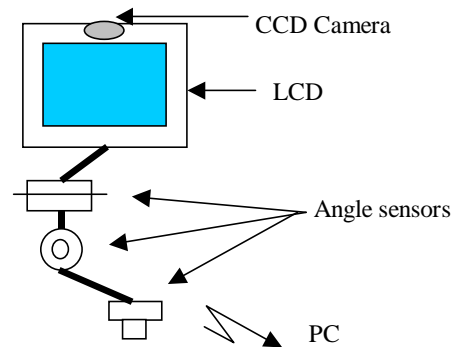


図 1 モニタデバイスの概略図

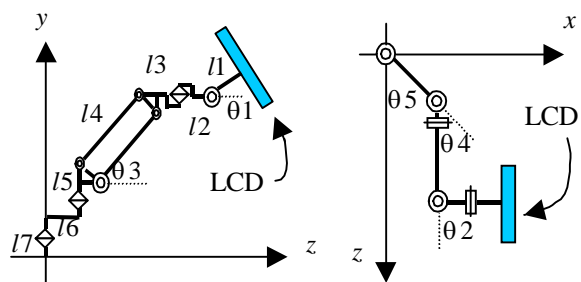


図 2 モニタデバイスのリンク図

コーダ(E6CP-AG5C)を使用した。エンコーダはアーム間のリンクとディスプレイ接続部に5つ取り付けられており、角度データはInterface社のPCI-2703 デジタル入出力ボードを介して実時間で計算機内に取り込まれる。同時に、LCD 上部に装着された CCD カメラからの画像が、画像処理ボード(日立製作所 IP5000)から入力される。またディスプレイは計算機と接続されており、計算機で生成された画像を表示させることが可能である。図3に本デバイスの操作の様子を示す。

上述のとおり、構築された本モニタデバイスには、

- 1) アーム間の角度を実時間で取得可能
- 2) ユーザの力覚操作により3次元可動域の任意の位置に移動、静止可能
- 3) モニタ上部のカメラにより、ユーザの表情、視線、ジェスチャなどの画像を取得可能

という特徴がある。まず1),2)の特性を利用することによってモニタの位置、姿勢を計算により実時間で取得することが可能である。これによりユーザが力覚操作でモニタを動かし、見たい位置、姿勢からの仮想3次元物体の画像を生成し、提示をおこなうことが可能となる。

更に3)の機能に画像処理技術を適用することにより、例えば視線や表情などを積極的に画面操作に利用することが可能となる。本稿では、視線とモニタへの力覚動作を用いた仮想オブジェクトの操作について述べる。

以下にこれらのアルゴリズムについて順に述べる。

4. 直接提示システム

4.1 画像提示アルゴリズム

直感モニタによって仮想3次元空間にある3次元物体を任意の位置、姿勢から見た画像を生成するためには、仮想3次元物体のおかれた仮想空間の座標系 $(= (O; e_x, e_y, e_z))$ とモニタ面上の3



図3 直感モニタの操作

次元座標系 $(= (O'; e'_x, e'_y, e'_z))$ の関係の記述が必要となる。ここでは図4に示すように、各座標系を設定した。またモニタのアームの長さ $l_1 \sim l_8$ とアーム間の角度 $\theta_1 \sim \theta_5$ は図2のとおりに設定している。

以上のパラメータを用い、アームとモニタの拘束条件により、仮想3次元空間内におけるモニタ座標系の位置 (x, y, z) と、モニタの姿勢を表すモニタ面の3つの基底ベクトル (e'_x, e'_y, e'_z) が、

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ l_7 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_6 \sin \theta_5 \\ 0 \\ l_6 \cos \theta_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ l_5 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_4 \cos \theta_3 \sin(\theta_5 + \theta_4) \\ l_4 \sin \theta_3 \\ l_4 \cos \theta_3 \cos(\theta_5 + \theta_4) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_3 \sin(\theta_5 + \theta_4) \\ 0 \\ l_3 \cos(\theta_5 + \theta_4) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_2 \sin(\theta_5 + \theta_4 + \theta_2) \\ 0 \\ l_2 \cos(\theta_5 + \theta_4 + \theta_2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1 \cos \theta_2 \sin(\theta_5 + \theta_4 + \theta_2) \\ l_1 \sin \theta_1 \\ l_1 \cos \theta_2 \cos(\theta_5 + \theta_4 + \theta_2) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} e'_x &= \begin{bmatrix} \sin(\theta_5 + \theta_4 + \theta_2 + 1/2\pi) \\ 0 \\ \cos(\theta_5 + \theta_4 + \theta_2 + 1/2\pi) \end{bmatrix} \\ e'_y &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + 1/2\pi) \sin(\theta_5 + \theta_4 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + 1/2\pi) \\ \cos(\theta_1 + 1/2\pi) \cos(\theta_5 + \theta_4 + \theta_2) \end{bmatrix} \\ e'_z &= \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \sin(\theta_5 + \theta_4 + \theta_2) \\ \sin \theta_1 \\ \cos \theta_1 \cos(\theta_5 + \theta_4 + \theta_2) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

で得られる。以上の位置、姿勢データを用いてモニタ面上の投影面に投影変換をおこなうことで、任意位置、姿勢からの画像生成をおこなうことが可能である。

次に投影面となる2次元座標系 $(= (O'; e'_x, e'_y))$ への3次元物体の投影変換について述べる。

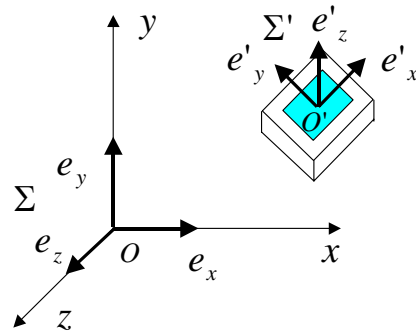


図4 仮想3次元空間座標系とモニタ座標系

$(e'_x), (e'_y), (e'_z)$ を並べてできる 3×3 行列を

$$R = ((e'_x)_{\Sigma}, (e'_y)_{\Sigma}, (e'_z)_{\Sigma}) \quad (3)$$

とおく。このとき 3 次元物体上の点 P の に関する座標 p と Σ' に関する座標 $p_{\Sigma'}$ には、

$$p_{\Sigma'} = R p_{\Sigma} + t_{\Sigma} \quad (4)$$

が成り立つ。ここで、 t は仮想 3 次元ユークリッド空間の座標系の原点 O とモニタ上の座標系の原点 O' を結んでできるベクトルである。したがって上式は、

$$p_{\Sigma'} = R^{-1}(p_{\Sigma} - t_{\Sigma}) \quad (5)$$

となる。これは点 P の に関する座標から、 に関する座標への変換式であるので、この式は形式的に

$$\begin{pmatrix} 1 \\ p_{\Sigma'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ x_{\Sigma} - t_{\Sigma} \end{pmatrix} \quad (6)$$

と書き換えられる。これは同次座標の間の変換とみなすことができる。

ここで、点 P の同次座標を $(\eta_0, \eta_1, \eta_2, \eta_3)$ 、視点 S の同次座標を $(\xi_0, \xi_1, \xi_2, \xi_3)$ とする。また、 S を視点として投影面を Π とした点 P の投影像 $Q(q_x, q_y)$ の同次座標を $(\eta_0, \eta_1, \eta_2, \eta_3)$ とするとこれらには、

$$\begin{pmatrix} \eta_0 \\ \eta_1 \\ \eta_2 \\ \eta_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sigma_3 & 0 & 0 & \sigma_0 \\ 0 & -\sigma_3 & 0 & \sigma_1 \\ 0 & 0 & -\sigma_3 & \sigma_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_0 \\ \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{pmatrix} \quad (7)$$

が成り立つ。

ここでは直交座標どうしの対応となるので $(\eta_0, \eta_1, \eta_2, \eta_3) = (1, (p_x)_{\Sigma'}, (p_y)_{\Sigma'}, (p_z)_{\Sigma'})$ を代入すると、

$$q_x = \frac{\eta_1}{\eta_0} = \frac{\sigma_3(p_x)_{\Sigma'} - \sigma_2(p_z)_{\Sigma'}}{\sigma_3} \quad (8)$$

$$q_y = \frac{\eta_2}{\eta_0} = \frac{\sigma_3(p_y)_{\Sigma'} - \sigma_2(p_z)_{\Sigma'}}{\sigma_3}$$

と表すことができる。

しかるに本モニタデバイスにおける視点の位置とは、ユーザの目の位置である。画像処理による視線認識については後述するが、画像直接提示モードにおいては、視点 S がモニタ平面上の法線ベクトル (f_x, f_y, f_z) の延長上無限遠にあると考え、垂直投影変換をおこなった。よって視点 S の同次座標は、

$$\sigma_0 = \sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 \neq 0 \quad (9)$$

となる。ゆえに同次座標の条件を考慮すると、

$$q_x = (p_x)_{\Sigma'}, q_y = (p_y)_{\Sigma'} \quad (10)$$

と表すことができる。これによりモニタ上の投影面に投影された 3 次元物体上の点 P の座標が求まる。しかし垂直投影としたためにモニタと原点の距離が考慮されていない。そこでモニタと原点との距離 l を

$$l = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (11)$$

で求めて (q_x, q_y) に反映させることにより、投影像に対してズーム機能を持たせることが可能となる。

以上を 3 次元物体上のすべての点に対して計算することで画像を生成し、ユーザに提示することができる。

4.2 画像提示実験

ユーザがモニタを直接操作することによって仮想 3 次元物体を見ることのできるモードを「直接提示モード」とする。このモードによってユーザはあたかも「のぞき穴」から対象を見るように、仮想 3 次元物体を任意の方向、姿勢、大きさで見ることが可能となる。

上述の画像提示アルゴリズムを用いて、仮想 3 次元物体の表示実験をおこなった。1640 頂点、3200 面の三角パッチで構成されたソファが仮想空間の原点におかれており、ユーザはこれを、モニタを任意位置に移動させることにより見ることが可能となった。ここでは 60Hz で角度データを取り込み画像生成をおこなった。生成された画像の例を図 5 に示した。なお 4 つの画像を表示した際のモニタの位置を図 6 に示した。

5. 動作認識システム

5.1 動作認識について

人間どうしのコミュニケーションにおいては、身振りや手振りが言葉と並んで重要な意思伝達手段となっている。そこでユーザがモニタに対して加えた力覚操作による運動に着目し、直感モニタの位置計測機能を用いた動作認識を試みた。これによりユーザがモニタに直接的にアクションを起こし、画面内の対象物を操作することが可能となる。

5.2 モニタ位置、姿勢データの速度成分への変換

ここでは、モニタの位置、姿勢データから差分演算によって速度成分を実時間で取得することが可能であることに着目し、これをユーザがモニタに対しておこなう動作の認識に用いた。

図7に実時間で得られるモニタ位置と姿勢データの関係を示す。仮想3次元ユークリッド空間座標系 Σ において、時刻 t から $t+1$ の間にモニタ位置 $r(t)=(x(t), y(t), z(t))$ が $r(t+1)$ へ移動したとする。座標 $r(t+1)$ を、時刻 t におけるモニタ座標系 $(\prime)(t) = (O'; e'_{x(t)}, e'_{y(t)}, e'_{z(t)})$ に対する位置 $(x'(t), y'(t), z'(t))$ に座標変換すると、これは時刻 t と $(t+1)$ 間のモニタ位置の変化量 $(dx'(t), dy'(t), dz'(t))$ に相当する。この変化量を時間差分 Δt で割ることにより、時刻 t のときの速度 $(v_{x(t)}, v_{y(t)}, v_{z(t)})$ が得られる。

右回りの円動作をおこなった時の速度データの例を図8に示す。

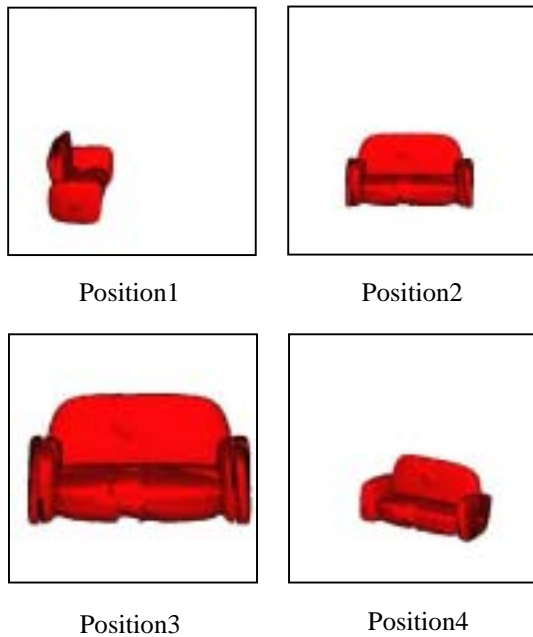


図5 直接提示モードによる画像表示

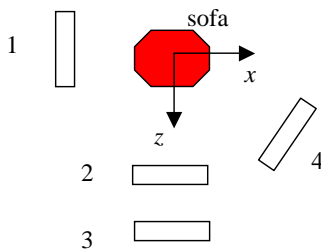


図6 仮想ソファとモニタ位置

5.3 動作認識アルゴリズム

本研究では動作の特性パラメータとして、3次元の速度成分ベクトルから3つの2次元ベクトル

$$v_{xy}' = (v_x', v_y'), v_{yz}' = (v_y', v_z'), v_{zx}' = (v_z', v_x') \quad (12)$$

を求め、動作の大きさの特性、動作の方向の特性、動作の回転方向の特性として各2次元ベクトルについて10個の特性パラメータを取得する。この特性パラメータを用いて、直線運動、振動、回転に関する特徴をもとに認識をおこなった。以下に各特性パラメータについて述べる。

1) 動作の大きさの特性パラメータ

過去数サンプルの間に動いた大きさを動作の大きさの特性パラメータとし、

$$P1_{xy(t)} = \sum_{i=0}^{S-1} \sqrt{v_{x(t-i)}'^2 + v_{y(t-i)}'^2} \quad (13)$$

で求める。 S は過去のサンプル数を表す。

2) 動作の方向の特性パラメータ

過去数サンプルから得られる動作方向の分布を表すパラメータを、方向の特性パラメータとする[8]。例えば x - y 平面での動作の方向は、

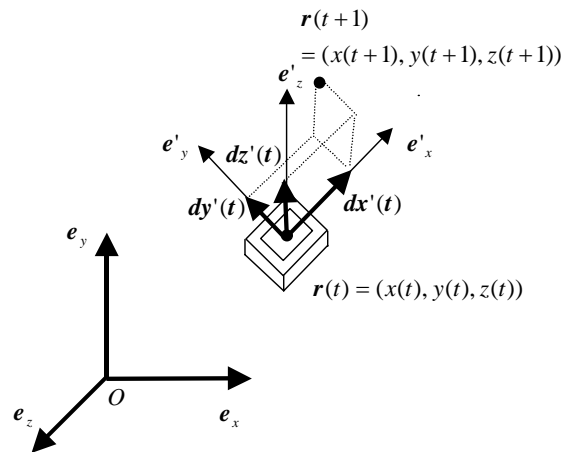


図7 速度データへの変換

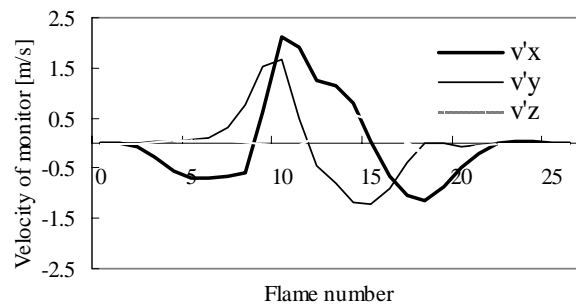


図8 円動作の速度データ例

$$\theta_{xy} = \tan^{-1} \frac{v_y'}{v_x'} \quad (14)$$

で求めることができる。次の $d_{xy1} \sim d_{xy8}$ は x - y 面での $\pi/4$ ごとの 8 つの方向への動作の速度データの偏りを表しており、

$$d_{xy1(t)} = \sum_{i=t-S}^t u_{1(i)} \quad u_{1(i)} = \begin{cases} -\frac{4}{\pi}\theta_{xy(i)} + 1 & (0 \leq \theta_{xy(i)} < \frac{\pi}{4}) \\ \frac{4}{\pi}\theta_{xy(i)} - 7 & (\frac{7\pi}{4} \leq \theta_{xy(i)} < 2\pi) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_{xy2(t)} = \sum_{i=t-S}^t u_{2(i)} \quad u_{2(i)} = \begin{cases} -\frac{4}{\pi}\theta_{xy(i)} + 2 & (\frac{\pi}{4} \leq \theta_{xy(i)} < \frac{\pi}{2}) \\ \frac{4}{\pi}\theta_{xy(i)} & (0 \leq \theta_{xy(i)} < \frac{\pi}{4}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

⋮

(15)

で計算される。

3) 動作の回転方向の特性パラメータ

過去数サンプル間の動作の回転方向を表すパラメータであり、下記の外積演算により求める。

$$P3_{xy(t)} = \sum_{i=0}^{S-2} w_{(t-i)} \quad (16)$$

$$w_{(t)} = \begin{cases} 1: \mathbf{v}_{xy(t-1)}' \times \mathbf{v}_{xy(t)}' > 0 \\ -1: \mathbf{v}_{xy(t-1)}' \times \mathbf{v}_{xy(t)}' < 0 \\ 0: \mathbf{v}_{xy(t-1)}' \times \mathbf{v}_{xy(t)}' = 0 \end{cases}$$

以上を、 \mathbf{v}'_{xy} 、 \mathbf{v}'_{yz} 、 \mathbf{v}'_{zx} について求めることにより、計 30 個の特性パラメータを得る。

特性パラメータを用いて下記の手順により動作認識が実行される。

1) 動作開始点の認識と動作候補の仮決定

大きさの特性パラメータ値を監視することにより動作開始が検出可能である。各動作をおこなったときのパラメータ値をもとに直線、振動、回転動作についてそれぞれ閾値をあらかじめ決めておき、動作開始が認識されてから数サンプル間に、いずれかの動作の閾値が得られた場合、その動作の候補とする。

2) 動作方向の決定

直線動作をおこなったとき、動作の方向は一方方向のみとなり他の軸の分散は小さくなる。一方、振動動作をおこなったときは一つの軸方向の分散が大きくなる。回転動作をおこなったときは回転をおこなった面の 2 つの軸の方向に対して分

散が大きくなる。これらの特性を利用し、各動作におけるパラメータの閾値を定めた。直線動作が認識された場合は動作方向の偏りの値からその方向を導き、回転動作が認識された場合には回転の方向は次の回転方向の特性パラメータより導く。

3) 回転方向の決定

3 つの 2 次元ベクトルに対して左右回転方向の閾値を定めた。回転動作がおこなわれたときの回転面は、分散が大きい 2 つの軸でつくられる面となる。これにより回転動作がおこなわれたときにその面における動作の回転方向の特性を用いて、方向の認識が可能である。

5.4 動作認識実験

以上示したアルゴリズムを用いて動作認識実験をおこなった。サンプリング周期は 20Hz とし、認識対象は、左右上下前後の直線動作、左右、上下、前後方向の振動動作、および左右回転の合計 11 の動作とした。各動作について 20 回づつの認識実験をおこなった結果を表 1 に示す。上方向への移動において認識率の低下が見られるが、これはリンクの構造とモニタ自体の重さのためにユーザの動作が阻害されたためと考えられる。

表 1 動作認識実験結果

動作	認識率
左直線	100%
右直線	100%
上直線	85%
下直線	100%
前直線	100%
後ろ直線	100%
左右振動	100%
上下振動	100%
前後振動	100%
右回転	100%
左回転	100%

表 2 動作と画像操作の対応

動作	物体への操作
左・右直線	左・右方向への回転
上・下直線	上・下方向の回転
前・後直線	拡大・縮小
左・右振動	左右回転の undo
上下振動	上下回転の undo
前・後振動	拡大・縮小の undo
左・右回転	直接提示モードとの切替

5.5 動作認識システム

動作認識システムは上述の動作認識アルゴリズムをベースにしたものであり、モニタへの力覚操作により仮想空間内の対象と論理的なインタラクションが可能となる。今回、認識した動作に対する仮想3次元物体への操作を表2の様に設定し、動作認識システムを構築した。

6. 視線認識を利用した対象物の操作

モニタの直接操作によって、仮想対象物のおおまかな操作が可能であることを前章で示した。本章ではユーザの視線を利用することにより、より細かで直感的な操作をおこなう手法を提案する。

6.1 視線方向推定のためのキャリブレーション

まず頭部の動きによる測定値に対する影響を回避するため、図9に示す装置を用いて被験者の頭部を固定してキャリブレーションをおこなう。カメラから得られる顔画像から目領域を抽出し、虹彩の中心・半径・眼球中心の位置を求める。眼球モデルに基づき眼球の回転角度を計算することによって視線方向を推定する。以下にその手順を示す。

6.2 顔特徴点の抽出

入力画像をYUVに変換し、肌色領域の抽出をおこなう。ここで得られた領域に対して二値化をおこなうことにより、画素のX、Y軸投影によって顔領域を決定する。次に、顔がほぼ正面を向いている、かつ傾きが無いことを仮定し、顔部品の

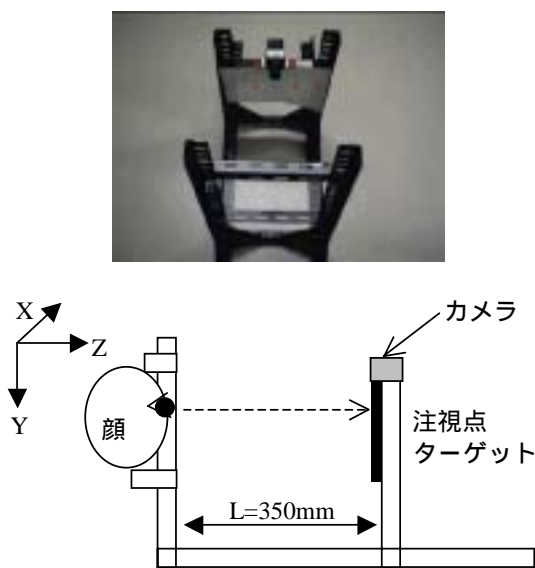


図9 キャリブレーション装置概略図

平均的配置モデルに基づき左右の目の領域の抽出をおこなう。以上の処理結果の例を図10に示した。

6.3 虹彩領域の抽出

得られた左右の目の領域から虹彩領域の中心および半径を求め、眼球中心の推定をおこなう。

まず、抽出された左右の目の領域に対して適当な値で閾値処理を施す。得られた二値画像に対して画素のX、Y軸投影をおこない、虹彩領域を抽出する。黒色で得られる虹彩はほぼ円形であると仮定し、それぞれの投影軸での画素分布の中央値を虹彩中心とする。更に虹彩半径を求め、前項で求めた目領域の幅と比較して標準モデルから外れる場合には閾値処理に戻って虹彩抽出を再度おこなう。虹彩領域抽出の結果の例を図11に示す。

6.4 視線方向の推定

眼球を球形、虹彩の輪郭を円とし、眼球中心を原点とする眼球モデルを用いて視線方向の推定をおこなう。ここでは眼球中心と虹彩中心とを結ぶ方向を視線方向とする。

図12に示すように、画像から得られた眼球中心と虹彩中心のずれを d 、虹彩領域の直径を a とすると、眼球の回転角度 θ は次式で得られる。

$$\theta = \sin^{-1} \frac{d}{a} \quad (17)$$



図10 顔、目領域の抽出処理



図11 虹彩の抽出

6.5 視線認識実験

カメラ下に設置した60mm間隔に配置された5つの注視点について視線認識実験をおこなった。まず被験者にディスプレイの四隅および中心を順に注視してもらい、キャリブレーションを行った。被験者は3名で、注視点1~5を順に注視していく動作を10回繰り返し行った。視線推定結果を図13に示す。

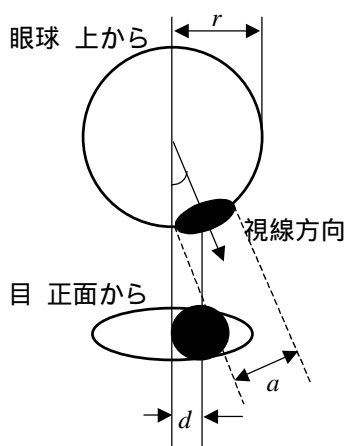


図12 眼球モデルと回転角の推定手法

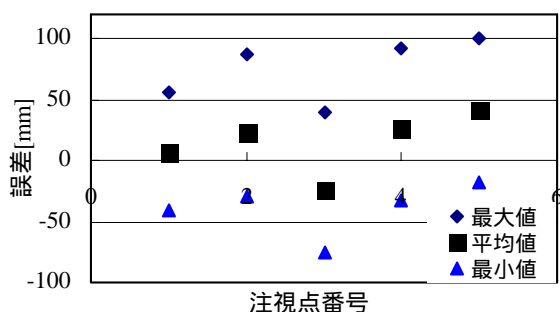


図13 視線認識結果

7. 評価実験

本モニタデバイスを用いた「直接提示モード」および「動作認識モード」について評価実験をおこなった。20人の被験者にこの2つモードからなるシステムで仮想対象物の操作をおこなってもらい、アンケートで意見聴取をおこなった。

直接提示モードについては、直接対象物を見ているように見たい位置、姿勢から見る事ができるといった良好な意見が得られた。動作認識モードについては、簡単な動作によって対象物の見たいところを見られ、直接提示のようにモニタを大きく移動させる必要がなく扱いやすいといった

意見が得られた一方で、動作と画像の反応との不一致や違和感を指摘する意見もみられた。

8. まとめと今後の課題

新しいヒューマンインタフェースデバイスとして、力覚および視線で操作可能なモニタデバイスの提案をおこなった。またこのモニタからの入力を利用した直接提示システムと動作認識システムについて述べ、新しいヒューマンインタフェースデバイスとしての有用性を示した。既存のヒューマンインタフェースデバイスよりも直接的に対象物を扱っていると感じを得られるという評価を得られたが、動作と画像への操作の対応付けについては幾つかの問題も指摘された。今後は人間の動作と意向、感情表現の関係について更に調べていく必要がある。

今後は更に本モニタデバイスを用いた双方向の力覚遠隔コミュニケーションシステム構築のための検討を進めていく。

参考文献

- [1] ワライラット ソムサク 山田 啓太 長谷川 晶一 小池 康晴 佐藤 誠：力覚提示を伴う仮想物体の両手多指操作環境の開発、電子情報通信学会論文誌 DII, Vol. J84-DII, No.6, pp.1140-1148 (2001)
- [2] MIT Touch Lab.: <http://touchlab.mit.edu/>
- [3] 山本吉伸、仁木和久：Z モニタ - インタラクティブ性を高めるインタフェースデバイス、情報処理学会インタラクシオン'97 論文集、pp.65-66 (1997)
- [4] 呉海元、小林弘知、陳謙、塩山忠義、島田哲夫：色彩動画像からの頭部ジェスチャ認識システム、情処論、Vol.40, No.2, pp. 577-584 (1999)
- [5] 内海章、大谷淳、中津良平：多数カメラを用いた手形状認識法とその仮想空間インタフェースへの応用、情処論 Vol.40, No.2, pp.585-593, (1999)
- [6] 坂口貴司、岡林孝志、金森務、井口征士：運動覚センサと筋電位センサを併用したジェスチャ認識、信学論、Vol. J81-DII, No.10, pp. 2385-2393 (1998)
- [7] 西野浩明、凍田和美、宇津宮孝一：オンライン学習機能を備えた対話型両手ジェスチャインタフェース、信学論、Vol. J81-DII, No.5, pp. 897-905 (1998)
- [8] 澤田秀之、橋本周司：加速度センサを用いたジェスチャ認識と音楽制御への応用、信学論 VOL.J79-A No.2, pp.452- 459, 1996