

未校正カメラと未校正ディスプレイによるビジュアルインタフェース

加藤 真弓[†] 佐藤 淳[†]

Visual Interface from Uncalibrated Cameras for Uncalibrated Displays

Mayumi KATO[†] and Jun SATO[†]

あらまし コンピュータなどを操作する場合には、一般にキーボードやマウスなどの接触型インタフェースを用いるが、手がふさがっていたり手に障害をもつ場合にはこれらのインタフェースは使用できない。そこで本研究では、カメラから取得した画像をもとにユーザの視線の動きを判断してディスプレイ上のマウスポインタなどを制御するビジュアルインタフェースを提案する。従来のビジュアルインタフェースはカメラやシステムの校正が必要であったが、カメラやシステムを正確に校正するのは容易ではない。そこで、本研究ではカメラもディスプレイも校正をすることなく、それでいて的確に動作するビジュアルインタフェースを提案する。特に、ユーザの視線の移動をもとに射影基底やアフィン基底を設けることにより、ユーザの投影像からディスプレイ画面上の注視点が安定に計算できることを示す。更に、提案した未校正ビジュアルインタフェースを用いたマウスポインタ制御の実験結果などをもとに、本手法の有効性を示す。

キーワード ビジュアルインタフェース、未校正カメラ、未校正ディスプレイ

1. ま え が き

コンピュータや家電品などの装置類を操作する場合には、一般に手足などを用いた接触型インタフェースが用いられている [9], [12]。しかし、車両運転中などで手がふさがっていたり、手に障害をもつなどの理由により、手足を用いて操作を行うことができない場合も多い。そこで本論文では、カメラ画像をもとにユーザの視線方向を認識してアクションをとるビジュアルインタフェースを提案する。

このようなビジュアルインタフェースの例として [10] などがあるが、これらにおいてはカメラの位置や姿勢や焦点距離などのカメラパラメータをあらかじめ校正した状態で視線方向を計算するなどしていた。また [3] では顔の 3 次元的な形状をあらかじめ既知として視線方向の計算を行った。更にこれまであまり意識されてこなかったが、カメラ画像を使ってディスプレイ上のマウスポインタなどを制御するには、カメラのみでなく制御対象であるディスプレイも校正されている必要があった。すなわち、ディスプレイの各画素の大きさや縦横比などのディスプレイパラメータがあらかじめ

わかっていることを前提としていた。しかし、カメラやディスプレイを正確に校正するのは手間のかかる作業であり、異なるカメラやディスプレイでは正しく動作しないなどの問題もある。また、顔の 3 次元的な形状は人によって異なるため、ある特定の顔形状でしか正常に動作しないのも好ましくない。そこで本研究では、カメラやディスプレイなどの校正を必要とせず、また顔の形状などに依存することなく、的確に動作するビジュアルインタフェースを提案する。

しかし、カメラもディスプレイも未校正である場合には様々な問題が生ずる。まず、カメラが未校正であることから、画像に投影されたユーザの像から 3 次元空間におけるユーザの視線方向を計算することが容易ではない。更に、視線方向が計算できたとしても、ディスプレイも未校正であるため、視線情報からディスプレイ上の注視点を特定することも困難である。本論文では近年注目されている未校正カメラ [2], [4], [5] に関する成果をもとにこの問題を解決する方法を示す。3 次元空間中の方向の変化を 2 次元画像から計算する方法としてモーションパララックスによる方法 [1], [6] などが提案されている。しかし、カメラパラメータが未知である場合には、モーションパララックスからでは方向変化に関する十分な情報を得ることはできない。

[†] 名古屋工業大学電気情報工学科, 名古屋市

Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466-8555 Japan

そこで本論文では、カメラ画像もディスプレイ平面も射影空間に存在する部分空間であると考え、ディスプレイ画面上に射影基底やアフィン基底を設けることにより、これらの部分空間同士の射影写像やアフィン写像を求めることにより、ユーザの投影像とディスプレイ画面上の注視点との関係を直接的に求める方法を提案する。ユーザの視線は本来、頭部運動と眼球運動の合成により決まるものであるが、ユーザの頭部全体が写るような撮影条件では、眼球運動まで検出することは難しい。そこで本研究では頭部の運動を視線の運動として考える。

以下ではまず、未校正カメラと未校正ディスプレイの幾何学的な構造について述べる。次に、射影基底をもとにユーザの像とディスプレイ上の注視点の関係を直接求める方法を述べる。次に、アフィンカメラを仮定することにより、より簡単な方法で注視点が計算可能であることを示す。最後に、提案したビジュアルインタフェースによりマウスポイントを制御する実験を行い、その性能について評価する。

2. 未校正カメラと未校正ディスプレイ

今、図 1 に示すように、3 次元空間中にカメラとコンピュータディスプレイが置かれているとする。ユーザはディスプレイ上のある点を注視しており、カメラはユーザを撮影している。このユーザの投影像から、ユーザがディスプレイ上で注視している点を特定したのであるが、カメラは未校正であり、またディスプレイも未校正である。

ユーザの顔の運動を並進を伴わない純粋な回転運動

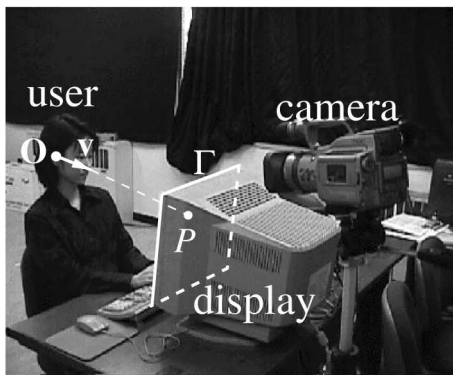


図 1 未校正カメラと未校正ディスプレイ

Fig. 1 Uncalibrated cameras and uncalibrated displays.

と考え、回転中心 O と鼻などの特徴点 X を結ぶベクトル v をユーザの視線ベクトルとする。すなわち本論文では頭部の向きを視線方向とする（図 1 参照）。ここで求めたいものはユーザのディスプレイ上における注視点であるが、これは視線ベクトル v を通る直線とディスプレイ平面 Γ との交点 P である。ディスプレイ画面上に設けた物理座標系をもとに考えた点 P の座標を $Y = [W, Z]^T$ とし、ディスプレイ上の画素を基準にした点 P の画素座標を $y = [w, z]^T$ とする（図 2 参照）。すると、 y と Y との間には次の関係がある。

$$\tilde{y} = A_D \tilde{Y} \quad (1)$$

ここで (\sim) は $\tilde{y} = [y^T \ 1]^T$ なる斉次座標を表す。また、 A_D は次に示すような 3×3 の上三角行列であり、ディスプレイ中心の画素座標 (w_0, z_0) やディスプレイの縦横のスケールファクタ a_w, a_z やディスプレイ画素のひずみ s_d よりなる。

$$A_D = \begin{bmatrix} a_w & s_d & w_0 \\ 0 & a_z & z_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

この A_D をディスプレイの内部パラメータ行列と呼ぶことにする。今ディスプレイは未校正であるから、 A_D は未知である。

次に、ディスプレイ上の点 Y を注視したときのユーザの顔上の特徴点 X が画像上で $x = [x, y]^T$ に投影されているとし、この投影点 x のカメラの画素を基準にした画素座標を $m = [u, v]^T$ とする（図 2 参照）。すると、 m と x との間には次の関係が成り立つ。

$$\tilde{m} = A_C \tilde{x} \quad (3)$$

A_C はカメラの内部パラメータを表す行列であり、よく知られているようにカメラ中心 (u_0, v_0) 、縦横のスケールファクタ a_u, a_v 、画素のひずみ s_c などのパラメータよりなる [11]。

$$A_C = \begin{bmatrix} a_u & s_c & u_0 \\ 0 & a_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

カメラは未校正であるから、 A_C も未知である。

未校正カメラにより未校正ディスプレイ上の注視点を特定するということは、 A_C も A_D も未知の状態でも m より y を計算することである。次章以降では、

ユーザの3次元的な位置姿勢やディスプレイ上の注視点の3次元的な位置などを求めることなく、直接 m から y が計算できることを示す。

3. 投影像と注視点

未校正カメラにより未校正ディスプレイ上の注視点を計算するために、図2に示すように、空間中に三つの平面を考える。第1の平面はディスプレイ平面 Γ であり、ユーザが注視する点 Y はこの平面上にある。第2の平面は画像平面 Π であり、投影点 x はこの平面上の点である。そして第3の平面は視線ベクトル v が回転運動してできる球面に対する接平面 Σ である。接平面 Σ は仮想的な平面であり、ユーザがディスプレイ中心を注視したときの特徴点 X を接点とした接平面である。この接平面 Σ はディスプレイとユーザの位置関係により一意に決まるものであり、ユーザがディスプレイ正面に座っている場合にはこの接平面はディスプレイ平面と平行となる。それ以外の位置にユーザが座った場合は必ずしもディスプレイ平面と平行ではない。視線ベクトルの運動が十分に小さいと仮定すると、特徴点 X はこの接平面上を運動すると考えることができる。

図2に示すように、接平面 Σ 上の点 X から画像平面 Π 上の点 x への投影は平面射影変換 P_1 によって表すことができる。また、頭部の並進運動がないと仮定すると、顔の回転中心 O を投影中心としてとらえることにより、 Σ 上の点 X はディスプレイ平面 Γ 上の点 Y へ平面射影変換 P_2 によって変換できる。したがって、点 x と点 Y との関係は次のように表すことができる。

$$\tilde{Y} \sim P_2 P_1^{-1} \tilde{x} \quad (5)$$

ここで \sim は定数倍の不定性を除いて等しいことを表す。式(1),(3),(5)より、投影像の画素座標 m からディスプレイ平面上の注視点の画素座標 y への変換は次のように表せることがわかる。

$$\tilde{y} \sim P \tilde{m} \quad (6)$$

ここで、 P は次に示す射影変換である。

$$P = A_D P_2 P_1^{-1} A_C^{-1} \quad (7)$$

したがって、もしも射影行列 P が求まれば、式(6)よりユーザの投影像の画素座標 m から注視点の画素座標 y を求めることができる。しかし、カメラもディス

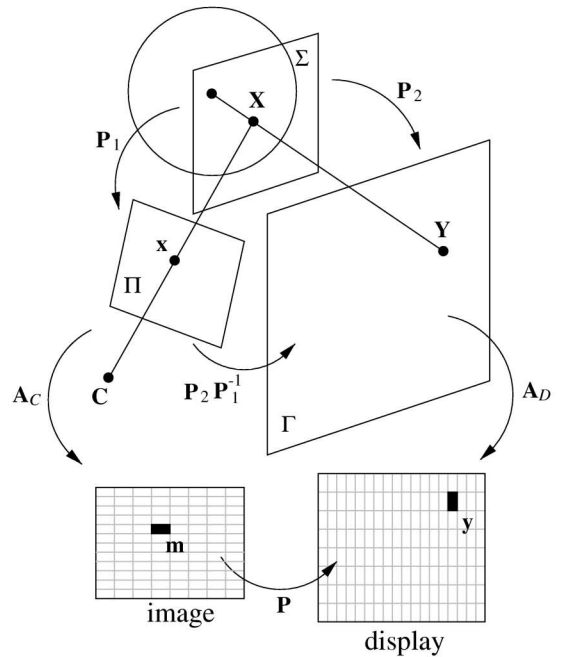


図2 空間中の三つの平面と平面間の投影
Fig.2 Three planes and planar projective transformations.

プレイも未校正であり、 A_C, A_D, P_1, P_2 はいずれも未知であることから、式(7)より P を計算することはできない。一般に射影平面上の位置は4点の射影基底により一意に決定することができる。そこで次節では、射影基底をもとに行列 P を計算する方法を考える。

4. 射影カメラによる注視点の計算

図3に示すように、ディスプレイ画面を制御して画素座標が y_i^B ($i = 1, \dots, 4$) であるような四つの点をディスプレイ画面上に表示する。ディスプレイは未校正であるから、これら四つの点の実際の座標 Y_i^B ($i = 1, \dots, 4$) は未知である。

次にユーザにこれら四つの点を順番に注視してもらうことにする。すると、各点を注視したときの特徴点の移動 X_i^B ($i = 1, \dots, 4$) が画像上で x_i^B ($i = 1, \dots, 4$) に投影される。これらの点 x_i^B を直接観測することはできないが、その画素座標 m_i^B ($i = 1, \dots, 4$) は得ることができる。 y_i^B と m_i^B の間には先に述べた射影変換の関係があるので次式が成り立つ。

$$\tilde{y}_i^B \sim P \tilde{m}_i^B \quad (i = 1, \dots, 4) \quad (8)$$

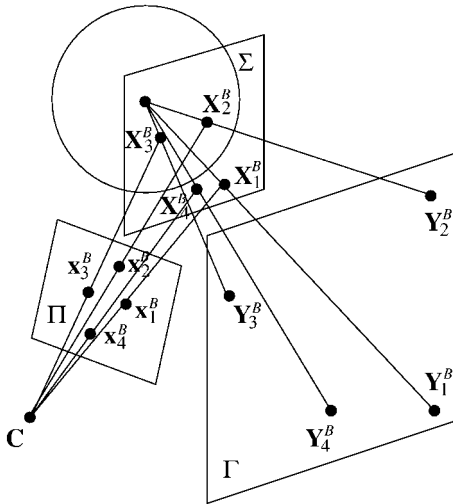


図 3 空間中の三つの平面と射影基底
Fig. 3 Three planes and projective bases.

式 (8) を解くことにより、これらの基底点から投影行列 P を計算することができる。 P は自由度 8 の行列であり、また、1 点の対応から P に関する拘束式が二つ得られることから、 P は 4 点の対応より求めることができる。 P が求めれば、式 (6) より任意の注視点の画素座標 y がユーザの像 m より求まる。このようにして、未校正カメラの画像をもとに、未校正ディスプレイ上の注視点位置を特定することができる。このとき、 y はディスプレイの画素を基準にした座標値であるため、この値をもとに直接マウスポインタの制御などを行うことができる。

5. アフィンカメラによる注視点の計算

以上述べた注視点計算法は、アフィンカメラを仮定することによりより簡単化することができる。

カメラからユーザまでの距離に比べてユーザの運動の奥行成分が十分に小さい場合にはアフィンカメラを仮定することができる。アフィンカメラを仮定した場合には、接平面 Σ から画像平面 Π への投影はアフィン変換 A_1 により表すことができる。

一方、ユーザからディスプレイまでの距離に比べてディスプレイ平面の奥行変化が十分に小さい場合には、接平面 Σ からディスプレイ Γ への写像もアフィン変換 A_2 で記述できる。一般にユーザはディスプレイ正面付近に座るため、このような条件が成り立つと考えてよい。



図 4 三つのアフィン基底を注視したときの未校正カメラ画像とユーザの特徴点（鼻）のトラッキング結果
Fig. 4 Projections of nose tips gazing at affine bases on a display.

したがって、この場合にはユーザの像 m と注視点の画素座標 y の関係は次のように表すことができる。

$$\tilde{y} = A\tilde{m} \quad (9)$$

ここで、 A は次のようなアフィン行列である。

$$A = A_D A_2 A_1^{-1} A_C^{-1} \quad (10)$$

カメラもディスプレイも未校正であるため行列 A を式 (10) より直接求めることはできないが、アフィン基底を考えることによりこれを計算することができる。まずディスプレイ上に画素座標が y_i^B ($i = 1, \dots, 3$) であるような三つのアフィン基底を表示し、ユーザがこれらを順番に注視したときの像 m_i^B ($i = 1, \dots, 3$) を得る。図 4 (a) はディスプレイに表示した三つのアフィン基底を順に注視したときの未校正カメラ画像とそのときの特徴点 m_i^B ($i = 1, \dots, 3$) のトラッキング結果である。(b) は異なるカメラ位置、姿勢、内部パラメータにおいて同じ基底点を注視したときのトラッキング結果である。

このようにして基底点注視時の像が得られると、 y_i^B 及び m_i^B に成り立つ次式の関係をもとに A を計算することができる。

$$\tilde{y}_i^B = A\tilde{m}_i^B \quad (i = 1, \dots, 3) \quad (11)$$

A は自由度 6 の行列であり、1 点の対応から A に関する拘束式が二つ得られることから、 A は 3 点の対応より求めることができる。 A が求めれば、(9) より任意の注視点位置 y をユーザの像 m から求めることができる。

射影基底のときに比べ自由度が 8 から 6 に減るため、ノイズの乗る要因が減る。このように、アフィンカメラを仮定することにより、より少ない基底点から注視点が求まり、また画像ノイズに対する安定性も増す。

6. 実験結果

6.1 ビジュアルインタフェース実験結果

まず視線によりマウスポインタをリアルタイムに制御した結果を示す．システム構成は図 5 (a) に示すとおりであり，カメラの内部，外部パラメータやディスプレイのパラメータなどはすべて未知である．使用したカメラの画像サイズは 320×240 であり，ディスプレイ画面の画素数は 1280×1024 である．

図 5 は提案した手法により視線を使ってマウスポインタをリアルタイムに制御している様子である．まず，相関トラッカを起動させ鼻をトラッキングする．その後，ユーザがディスプレイの右下，右上，左上の三つのコーナを順に注視することにより三つのアフィン基底の像を求めた．そしてこれらの像をもとに任意の注視点位置をユーザの像より計算し，マウスポインタを移動させてウィンドウをポップアップさせた．図 5 の (a) と (c) はユーザが左及び右を向いたときの様子であり，(b) と (d) はそのときのディスプレイ画面の様子である．ディスプレイ画面中央に，未校正カメラによりとらえたユーザのリアルタイム画像が表示してある．視線により制御されたマウスポインタは白丸で囲って示してある．また，マウスポインタの移動に伴い，注視しているウィンドウがポップアップされアクティブになっている様子がわかる（画面中央のユーザの動きとマウスポインタの動きは左右逆転することに注意）．実験より，マウスポインタの位置は実際に注視した位置より若干ディスプレイの中心寄りになる傾向があるが，これはユーザが注視するときに眼球運動が多少発生するために頭の運動が小さめに検出されるためと考えられる．本実験のようにディスプレイを見ながらマウスポインタの位置を動かす場合には，ユーザ自身によるフィードバックがかかるため，実際にはマウスポインタの移動に不自由を感じることはない．また，処理に要する時間のほとんどは相関トラッカにおける特徴点探索に要する時間であり，PentiumIII (600 MHz) 程度の CPU であればシステム全体として完全なリアルタイム性が得られる．

次に，提案した手法を用いて，ディスプレイ上に視線を用いて描画を行う実験を行った．描画を行うためにはマウスポインタの位置制御のみでなくマウスボタンの制御も必要である．そこで，図 6 に示すようにマイクロホンを用いて入力した「クリック」や「ドラッグ」などの簡単な音声を認識することにより手を用い



(a)



(b)



(c)



(d)

図 5 視線によるマウスポインタ制御実験

Fig. 5 Results from real time experiments of mouse motions using viewing directions.

ずにマウスボタンの制御を行えるようにした．図 7 に示すようにディスプレイ画面上には描画領域とともに筆の色などを選択するボタンを設け，視線と音声により筆の種類なども選べるようにした．図 7 (a) 及び (b) は，それぞれ視線を使って赤い三角形と青い円を描いた様子である．手を用いて描くほどの精度は得られていないが，簡単な図形であれば視線による描画が可能であることがわかる．

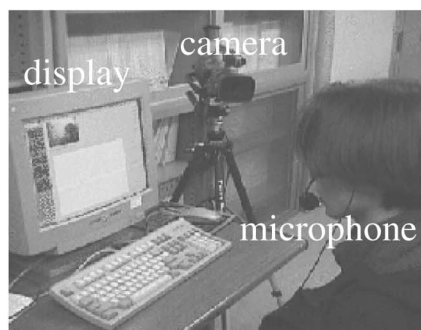
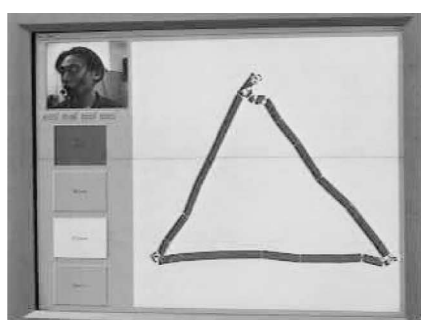
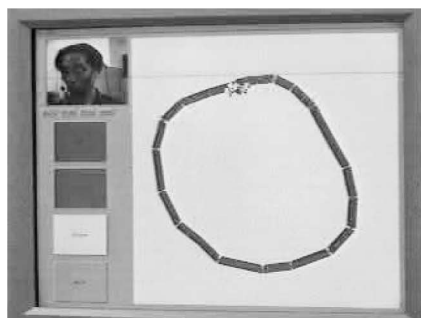


図 6 視線による描画実験システム

Fig. 6 The drawing system using viewing directions.



(a)



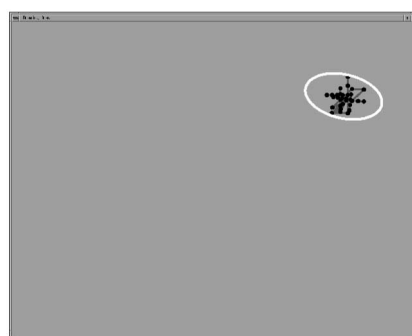
(b)

図 7 視線による描画の例

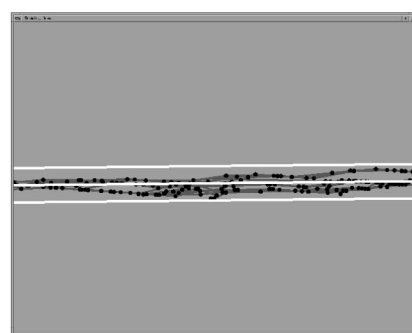
Fig. 7 Results from drawing experiments using viewing directions.

6.2 精度評価

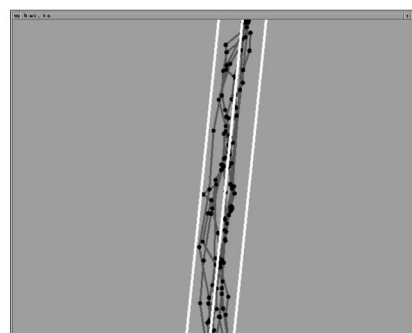
次に提案した手法によるマウスポインタ制御の安定性を示す．図 8 (a) はユーザがディスプレイ上のある 1 点を注視したときのポインタの変動を示す．黒丸と黒線はマウスポインタの位置及び軌跡であり，楕円はこれらの点から 3σ (σ は標準偏差) の不確定領域を計算した結果である．また図 8 (b) 及び (c) は，顔を左右，上下に動かしたときのポインタの軌跡とその不確定領域



(a) 1 点注視時



(b) 水平移動時



(c) 垂直移動時

図 8 ビジュアルインタフェースの安定性

Fig. 8 The stability of visual interface.

域を白線で示してある．図 8 において (a) の不確定領域の大きさは， x 方向にほぼ 224 pixel， y 方向にほぼ 126 pixel であり，これはディスプレイ全体に対し各々 18.1%，12.3% である．次に，(b) の不確定領域の大きさは， y 方向にほぼ 104 pixel であり，これはディスプレイ全体の大きさに対し 10.16% である．また (c) の不確定領域の大きさは， x 方向にほぼ 144 pixel であり，これはディスプレイ全体の大きさに対し 11.62% である．上下に運動したときにポイントが多少傾いて動くのは，アフィンカメラを仮定したことによる誤差と考えられる．

以上の結果より，ディスプレイ画面上の小さなボタンを指定するのは難しいが，比較的大きなボタンやウィンドウの選択などには支障のない安定度が得られていると考えられる．ポイントの変動の要因としては，本実験で使用した単純な相関による特徴点トラッカの安定度が悪いことや，ユーザの頭の運動が純粋な回転運動ではなく並進が発生してしまうことなどが考えられる．前者は，トラッカを工夫したりユーザをカメラ画像上でより大きくとらえるなどすることにより改善の余地がある．また後者に関しては，頭の並進によるポイントの変動の大きさを調べた結果を次に示す．

図 9 は，ユーザの頭が標準偏差 1 cm の大きさで前後上下左右に並進したときのディスプレイにおけるマウスポイントの変動を示す．カメラ，ディスプレイ，ユーザの距離関係は図 5 の状態とほぼ同じである．黒丸はポイントの位置であり，楕円は 3σ の不確定領域を表す．図 9 において不確定領域の大きさは x 方向にほぼ 144 pixel， y 方向にほぼ 72 pixel であり，これはディスプレイ全体の大きさに対して各々 11.6%，

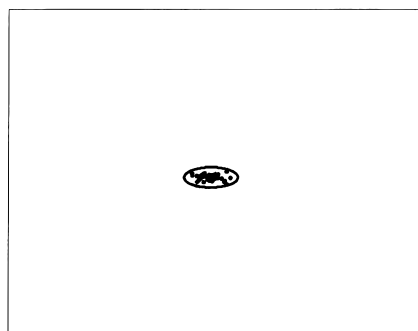
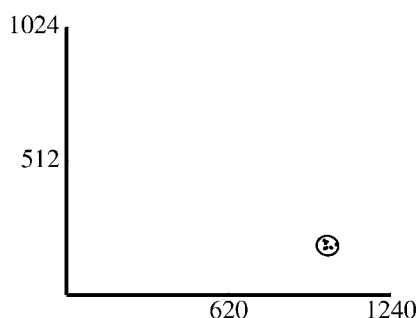


図 9 頭部の並進運動によるマウスポイントの変動

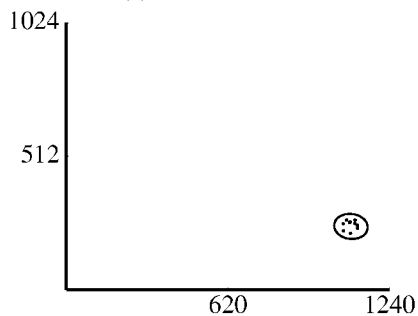
Fig. 9 The errors in mouse positions caused by head translations.

7.03% である．図 8 と図 9 を比較してみると，並進運動による変動幅は画像ノイズによる変動幅より小さく，全体の位置決め誤差に与える影響はそれほど大きくない．未校正な状態でいかに並進の影響を抑えるかは今後の課題である．

次に，アフィンカメラを仮定した場合と射影カメラを仮定した場合各々において，投影像に標準偏差 2 pixel の画像ノイズを乗せたときのマウスポイントの変動を求めた．その結果を図 10 に示す．図 10 において，縦軸，横軸は各々ディスプレイの pixel 値を示す．黒点はマウスポイントの移動位置を表し，楕円は 3σ の不確定領域を表す．アフィンカメラを仮定したときの不確定領域の大きさは x 方向にほぼ 83 pixel， y 方向にほぼ 75 pixel であり，これはディスプレイ全体の大きさに対し各々 6.69%，7.29% である．また，射影カメラを仮定したときの不確定領域の大きさは x 方向にほぼ 129 pixel， y 方向にほぼ 99 pixel であり，これはディスプレイ全体の大きさに対し各々 10.39%，9.7% である．この結果からアフィンカメラを仮定したときの方が射影カメラを仮定下時よりも画像ノイズに



(a) アフィンカメラ時



(b) 射影カメラ時

図 10 アフィンカメラと射影カメラの比較

Fig. 10 The comparison of affine cameras and projective cameras.

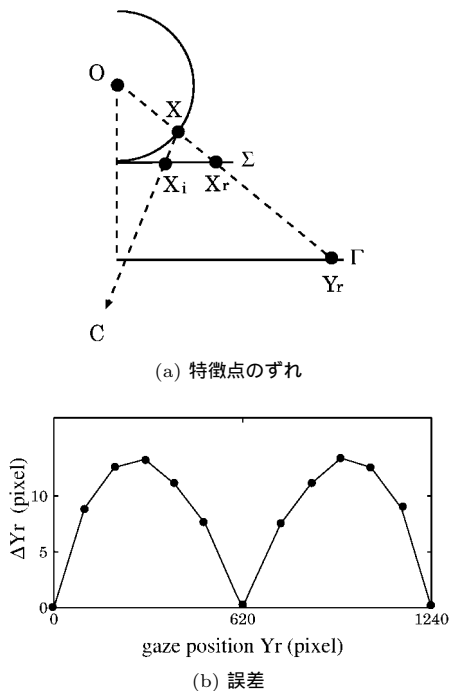


図 11 特徴点の接平面からのずれによる影響

Fig. 11 Errors caused by the difference between the tangent plane and the feature point.

対し強いことがわかる。

更に、頭部の回転に基づく特徴点の接平面からのずれにより、計算されたディスプレイ上の注視点の画素座標 y にどの程度の誤差が生じるか評価した。図 11 (a) に示すように、ユーザがディスプレイ上の注視点 Y_r を注視したときの特徴点 X が接平面 Σ からずれたとする。このとき、実際に画像に投影される接平面上の点 X_i と、接平面上にあるべき特徴点 X_r との間に差が生じる。このときに求めた注視点と実際の注視点との誤差を求め評価した。図 11 (b) にその誤差がディスプレイ上で何 pixel になるかをグラフで表示した。横軸はディスプレイ上の注視点を表す。ユーザがディスプレイ中心を注視しているとき、及び基底点のあるディスプレイ端を注視しているときの誤差は 0 であるが、これらの状態から離れるほど誤差は大きくなった。

図から明らかなように、頭部の回転により特徴点 X が接平面 Σ からずれてしまうことで生じる誤差は 10 pixel 前後であり、これはディスプレイ全体の大きさの 1% 程度である。誤差は画像ノイズや頭部の並進による影響に比べ非常に小さく、特徴点 X は接平面

上を運動するという仮定は妥当なものであることがわかる。

7. む す び

本論文では、校正されていないカメラで得られたユーザの画像をもとに、校正されていないディスプレイ上の注視点を計算し、マウスポインタ制御などを行う方法について述べた。

まず、ユーザの運動が微小であるという仮定のもとに視線ベクトルがなす球面に対する接平面を考え、この接平面と画像面及びディスプレイ面との関係を示した。次に、ディスプレイ画面上に描いた射影基底をもとに、ユーザの投影像からそのユーザの注視点を直接求める方法を示した。更に、アフィンカメラを仮定することにより、より簡単に注視点計算が行えることを述べた。

提案したビジュアルインタフェースを用いて、視線によるマウスポインタ制御がリアルタイムに可能であることを確認した。また視線を用いてディスプレイ上に簡単な図形を描画可能であることも示した。最後に精度評価を行い、本手法の有効性を確認した。今後は多数の被験者による操作性の評価が必要である。また、ユーザの頭の運動に並進が伴う場合への拡張なども今後の課題である。

謝辞 日ごろ御指導頂いている名古屋工業大学佐藤幸男教授に感謝する。本研究の一部は第 9 回堀情報科学振興財団研究助成によった。

文 献

- [1] R. Cipolla, Y. Okamoto, and Y. Kuno, "Robust structure from motion using motion parallax," Proc. 4th International Conference on Computer Vision, pp.374-382, Berlin, 1993.
- [2] O.D. Faugeras, "What can be seen in three dimensions with an uncalibrated stereo rig?," Proc. 2nd European Conference on Computer Vision, pp.563-578, Santa Margherita, Italy, 1992.
- [3] A. Gee and R. Cipolla, "Determining the gaze of faces in images," Technical Report CUED/F-INFENG/TR.174, University of Cambridge, 1994.
- [4] R.I. Hartley, R. Gupta, and T. Chang, "Stereo from uncalibrated cameras," Proc. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.761-764, 1992.
- [5] J.J. Koenderink and A.J. van Doorn, "Affine structure from motion," J. Opt. Soc. America, pp.377-385, 1991.
- [6] H.C. Longuet-Higgins and K. Pradny, "The interpretation of a moving retinal image," Proc. R. Soc.

Lond., vol.B208, pp.385-397, 1980.

- [7] J.L. Mundy and A. Zisserman, "Projective geometry for machine vision," in Geometric Invariance in Computer Vision, ed. J.L Mundy and A. Zisserman, pp.463-519, MIT Press, Cambridge, USA, 1992.
- [8] V.S. Nalwa, A Guided Tour of Computer Vision, Addison Wesley, 1993.
- [9] 大須賀節雄 (編), ヒューマンインターフェイス, オーム社, 1992.
- [10] 酒井善則, "ビジュアルインターフェイス—画像による論理情報の新しい伝達法," 情報処理, vol.33, no.2, 1992.
- [11] 佐藤 淳, コンピュータビジョン—視覚の幾何学, コロナ社, 1999.
- [12] 鳥脇純一郎, ヒューマンインターフェイスと画像処理, コロナ社, 1995.

(平成 12 年 7 月 5 日受付, 11 月 16 日再受付)



加藤 真弓 (学生員)

平 11 名工大・電気情報卒・平 13 同大大学院修士課程了。同年トヨタ自動車(株)入社。コンピュータビジョンの研究に従事。



佐藤 淳 (正員)

昭 59 名工大・工卒・平 8 ケンブリッジ大大学院博士課程了。同年ケンブリッジ大・工助手。平 10 名工大・工助教授。この間に, ATR 人間情報通信研究所客員研究員など。コンピュータビジョン, 視覚誘導, 視覚的ユーザインタフェースの研究に従事。博士 (PhD)。著書に「コンピュータビジョン—視覚の幾何学—」(コロナ社)など。BMVC'94 最優秀科学論文賞, BMVC'97 最優秀科学論文賞, 第 5 回画像センシングシンポジウム論文賞など受賞。情報処理学会, British Machine Vision Association 各会員。