

Display-Based Computing の研究 第五報： ライトペンの試験的実装

小島隼¹⁾，児玉和樹²⁾，中村享大¹⁾，杉本麻樹¹⁾，稲見昌彦²⁾³⁾

- 1) 電気通信大学大学院 電気通信学研究科
- 2) 電気通信大学 電気通信学部
- 3) 科学技術振興機構 さきがけ

概要: 筆者らはディスプレイを主体として、位置計測、制御、通信を行う Display-Based Computing を提案している。本研究では、従来のカメラを用いた位置検出方法ではなく、ディスプレイに表示したグラデーションパターンの指標画像と小型の受光素子であるフォトトランジスタを用いることで、CRT だけでなく LCD や PDP 等でも正確に位置を検出可能なライトペンを試験的に実装する。また、異なる明るさの環境で精度に関して評価を行い、ポインティングデバイスとしての実用性を考察する。

Display-Based Computing (V) -A design and implementation of a light-pen-

Minoru KOJIMA¹⁾, Kazuki KODAMA²⁾, Akihiro NAKAMURA¹⁾, Maki SUGIMOTO¹⁾, Masahiko INAMI²⁾³⁾

- 1) Graduate School of The University of Electro-Communications
- 2) The University of Electro-Communications
- 3) Japan Science and Technology Agency, PRESTO

Abstract: We suggest the Display-Based Computing which enables to communicate, control and measure based on display devices. In this paper, we design and implement the light-pen by using a new measurement method of position and orientation using a fiducial marker on display device and photo transistor without camera. This device can work not only on CRT but also on LCD or PDP display panel. Furthermore, we measure precision of this device in environment of different brightness and consider utility as a pointing device.

1. 緒言

近年、我々の身の回りのあらゆる場所や商品にコンピュータが存在し、それらを使用することにより、ユーザは様々な情報を取得・利用できるユビキタス・コンピューティング環境が整いつつある。ユビキタス・コンピューティング研究分野と密接に関連してユーザインタフェースの研究が盛んに行われている。本研究では、ユビキタス環境において遍在化の進む画像提示装置自体を利用して、提示映像面内に配置した受光部の二次元平面における位置計測を行うシステムとして、液晶ディスプレイに適応したペン型ポインティングデバイスを開発する。

2. Display-Based Computing

Display-Based Computing (DBC)[1]とは、筆者らが提唱する画像提示装置を主体とした計測や制御、通信等を実現する概念である。画像提示装置は、撮像装置と対をなす装置であるといえる。

撮像装置は光学情報を記録・再生するための装置としてのみだけでなく、得られた画像情報に基づいた計測や制御

に用いられている。これと同様に、DBC では画像提示装置を計測や制御のために利用することを一つの目的としている。DBC の特徴としては、画像提示装置のフレームレートに制限されない高速計測の実現の可能性がある。また、提示映像のスクリーン座標系と同一の座標系で計測を実現でき、実世界に対して映像投影を行っている拡張現実空間において大きな利点となると考えられる。

3. 位置・姿勢の検出方法

本研究では、画像提示装置を用いて表示する光学情報を指標画像 (Fig.1 左) と呼称する。また、十字に 5 つの受光素子を配置した受光部 (Fig.1 右) に局所的に指標画像を提示し続け追従計測を行う、動的指標画像提示による移動対象の位置・姿勢の検出方法を用いた。

追従による位置計測は、まず、受光部の初期位置・姿勢検出後、受光部に対して指標画像を提示する。そして受光部に搭載されている受光素子によって情報を読み取り、指標画像と受光部の相対位置・姿勢を算出する。指標画像を

提示した絶対位置を受光部と指標画像の相対位置に加算することで提示面上での受光部の絶対位置を求めることができる。この指標画像の提示と計測を繰り返すことにより追従計測が行える。(Fig.2)

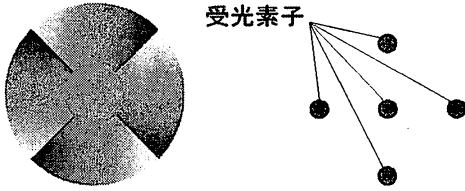


Fig.1 指標画像と受光部

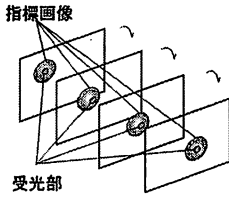


Fig.2 追従計測概要

次に具体的な計測手法について示す。

本研究の計測手法では、あくまで指標画像に対する相対位置および相対姿勢しか求めることができない。そのため、画像提示装置の提示面上で静止している受光部に対し Fig.3 に示すような明暗の二値のパターン[2]を提示し、受光素子が明暗どちらに存在するかを順次求めることにより初期位置を検出する必要がある。

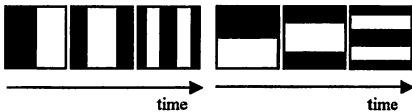


Fig.3 初期位置検出パターン

初期位置を検出することができたら、次に、Fig.4 に示す指標画像を受光部に対して投影し初期角度を求める。5つの受光素子から取得した輝度値をそれぞれ a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 とすると、以下に示す式 (1)(2)(3) により初期角度を求めることができる。ただし、 x_i, y_i は受光素子 a_i の位置、 n は受光素子の個数、 j は複素記号とする。

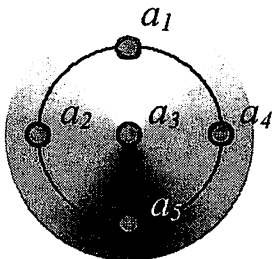


Fig.4 初期角度検出用指標画像

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \times x_i)}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (1)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \times y_i)}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (2)$$

$$\theta = \arg(x + jy) \quad (3)$$

このように、受光部の初期位置および初期角度を求めたら、受光部に対して、Fig.5 のようなグレースケールの指標画像を投影する。

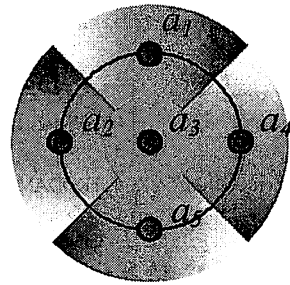


Fig.5 相対位置・姿勢同時計測用指標画像

例えば、受光部が x 軸方向に平行移動した場合を考えると、Fig.6 左では5つの受光素子の出力は均衡が取れているが、Fig.6 右では受光部が右に移動し、受光素子 a_1 と a_5 が指標画像内の濃淡を移動している。すると受光素子の出力に変化が生じ、位置は式(4)に示すように a_1 と a_5 の差分として求められる。 y 軸方向に平行移動した場合も式(5)のように同様に求めることができる。

次に、受光部が回転した場合を考えると、Fig.7 右では受光部が右回りに回転し、受光素子 a_1, a_2, a_4, a_5 それぞれが指標画像内の濃淡を移動している。回転角は式(6)のように各受光素子の値から中心輝度である a_3 の値を引いた値から求めることができる。

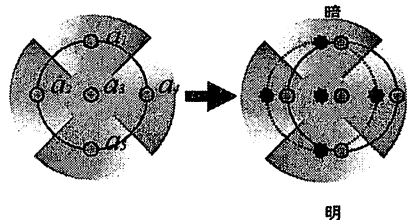


Fig.6 受光部と指標画像のずれ (平行移動)

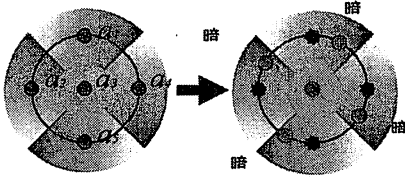


Fig.7 受光部と指標画像のずれ (回転移動)

$$x \propto a'_1 - a'_5 \quad (4)$$

$$y \propto a'_2 - a'_4 \quad (5)$$

$$\sin \theta \propto a'_1 + a'_2 + a'_4 + a'_5 \quad (6)$$

$$(a'_i = a_i - a)$$

ここで、先の指標画像を改良したものを Fig8 に示す。

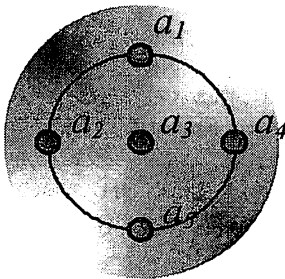


Fig.8 改良版相対位置・姿勢同時計測用指標画像

この指標画像と先の指標画像の違いは、 a_b, a_5 に関する濃淡の変化の方向を、先の指標画像とは異なる方向へ変化させていることと、 a_3 に関する中心輝度を示すための部分を削除していることである。

これは、 a_b, a_5 に関する濃淡の方向を逆にしたため、位置・姿勢を求める式が先の式(4) (5) (6)の a'_b, a'_5 の符号を逆にしたものになり、これを計算すると以下の式(7) (8) (9)に示すように、中心輝度を得るための受光素子 a_3 の値が必要なくなるためである。

$$x \propto a_5 - a_1 \quad (7)$$

$$y \propto a_2 - a_4 \quad (8)$$

$$\sin \theta \propto a_2 + a_4 - a_1 - a_5 \quad (9)$$

また、先の指標画像では、濃淡の境目が不連続であったのに対し、 a_b, a_5 に関する濃淡の変化の方向を逆にすることで、連続した濃淡の変化になった。このことから、例えば先の指標画像において受光素子が境目付近まで移動した際に、素子から得られる値が、境目の急激な輝度の変化に強い影響を受ける可能性があったのに対し、この指標画像ではそういった影響がないという利点も生まれた。

この Fig.8 の指標画像は、ほぼ同時期に同一のパターンが文献[3]でも提案されている。

4. 位置・姿勢検出に用いるシステム

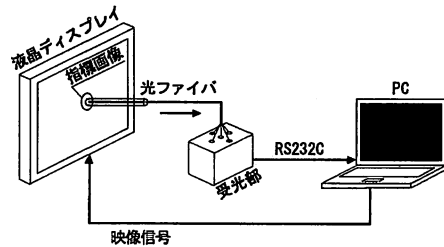


Fig.9 システム概要

Fig.9 は今回実装したペン型ポインティングデバイスのシステム概要を示している。液晶ディスプレイからの指標画像の輝度情報は、Fig.1 に示すように配置した光ファイバを通して、東芝セミコンダクター社製フォトトランジスタに届く。その出力電圧は OP アンプで増幅され、Microchip 社製 dsPIC へと送られ、各受光素子について 10bit の A/D 変換が行われる。これを RS-232C で制御 PC に送信している。製作した受光部の外観を Fig.10 に示す。

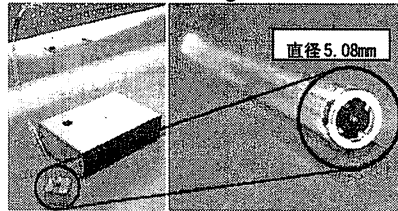


Fig.10 製作した受光部

5. 実験

5.1. 受光部静止状態における評価

ペン型受光部を、液晶ディスプレイとの距離 1mm に固定し、受光部が静止状態である場合の精度を評価した。環境光のパラメータとして暗闇状態(0.0lx)と蛍光灯点灯状態(745lx)を用意した。5000 回のサンプリングに基づく標準偏差を Table.1 に示す。ここで、Pinwheel (1)とは Fig.5 に示す指標画像、Pinwheel (2)は Fig.8 に示す指標画像、Position とはプロトタイプ[1]の指標画像で位置のみの計測を行うことができる指標画像のことである。

Pinwheel (1)	暗闇	蛍光灯
x [mm]	8.3×10^{-3}	9.6×10^{-3}
y [mm]	6.6×10^{-3}	8.1×10^{-3}
angle [deg]	4.3×10^{-1}	5.6×10^{-1}
Pinwheel (2)	暗闇	蛍光灯
x [mm]	8.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}
y [mm]	6.6×10^{-3}	1.2×10^{-2}
angle [deg]	1.5×10^{-1}	2.4×10^{-1}
Position	暗闇	蛍光灯
x [mm]	7.0×10^{-3}	8.0×10^{-3}
y [mm]	7.7×10^{-3}	9.6×10^{-3}

Table.1 受光部静止状態における標準偏差

すべての指標画像で、わずかではあるが暗闇状態での静止状態精度の方が高い精度を示したが、暗闇及び蛍光灯点灯状態ともに、ポインティングデバイスとして十分な静止精度であると考えられる。(液晶ディスプレイのピクセルピッチ 0.264mm)

5.2. 受光部移動状態における評価

ペン型受光部を x 及び y 軸方向に約 100mm 平行移動させ、PC 内と実空間での移動距離の誤差を求めた。実空間での移動距離計測にはハイトゲージを用いた。結果を Table.2 に示す。

距離誤差 [mm]	暗闇 (x)	蛍光灯 (x)	暗闇 (y)	蛍光灯 (y)
Pinwheel (1)	-0.10	-0.07	-0.07	-0.06
Pinwheel (2)	-0.10	-0.11	-0.05	-0.09
Position	-0.07	-0.11	-0.04	-0.04

Table.2 受光部直進移動状態における距離誤差

x 及び y 軸方向の受光部直進移動状態における各指標画像、各照度におけるの距離誤差は、 $-0.11 \sim -0.04$ mm の範囲に収まる誤差となった。

受光部が回転移動状態における計測精度の実験は、回転台を用いて受光部を約 360° 回転運動させ、その軌跡を計測した。回転半径は 76.0mm とした。結果を Fig.11 に示す。

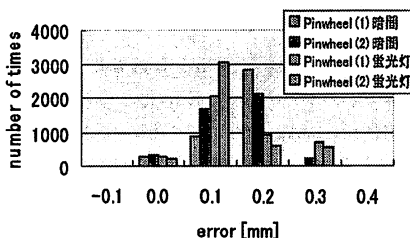


Fig.11 回転中心からの距離誤差

受光部回転移動状態における各指標画像の回転中心からの距離誤差は $0.1 \sim 0.2$ mm の範囲が多くなっている。

以上、2 つの受光部移動状態における実験結果より、ポインティングデバイスとして十分な移動精度であると考えられる。

5.3. 受光部と提示面の距離及び指標画像追従速度に関する評価

初期位置検出が可能な、ペン型受光部と液晶ディスプレイの提示面との距離は Pinwheel (1): 4.00mm, Pinwheel (2): 8.00mm, Position: 7.00mm となった。また、提示面からの各距離におけるの静止状態における精度の計測も行った。ペン型受光部と提示面の距離が大きくなるに従って、標準偏差が大きくなることが確認できた。これはペン型受光部と提示面の距離が大きくなると正確な輝度情報の取得が困難になることが原因であると考えられる。

受光部に対する指標画像の追従速度を目視により計測した。 x 軸方向速度及び角速度は、Pinwheel (1): 8.3mm/s, 215.7 deg/s, Pinwheel (2): 18.5mm/s, 370.0 deg/s, Position: 31.1mm/s となった。

6. 結言

本研究では、動的指標画像提示による移動対象の位置・姿勢の検出方法により、画像提示装置として液晶ディスプレイを用いたペン型のポインティングデバイスを製作した。そして、実験により各種精度、受光部と提示面の距離、追従速度を検証した。液晶ディスプレイの提示範囲内において移動するペン型受光部に対して動的指標画像提示による追従計測を高精度で実現できた。

以上より、本研究での手法によるポインティングデバイスの実用の可能性を示すことができたと考えられる。

7. 参考文献

- [1] 杉本, 小島, 中村, 新居, 稲見: "画像提示装置で表示した指標画像を用いた位置・姿勢計測", 日本バーチャルリアリティ学会論文集 第 10 巻, pp485-493, 2005
- [2] Raskar, R.; Beardsley, P.; van Baar, J.; Wang, Y.; Dietz, P.H.; Lee, J.; Leigh, D.; Willwacher, T., "RFIG Lamps: Interacting with a Self-Describing World via Photosensing Wireless Tags and Projectors", ACM Transactions on Graphics (TOG) SIGGRAPH, Vol. 23, Issue 3, pp. 406-415, August 2004
- [3] 川本海, "光センサと加速度計を用いたタグの位置・姿勢計測に基づくタンジブルテーブルトップインタフェース", 筑波大学工学システム学類卒業論文, 2006
- [4] 児玉和樹, "画像提示装置を用いたポインティングデバイスの開発", 電気通信大学電気通信学部卒業論文, 2006