

レーザーポインタと単眼カメラを利用した3次元情報入力装置

A Three-dimensional Information Input Device using Laser Pointer and Monocular Camera

飯尾 淳 新井 健生*

Summary. There are growing demands for some devices which can input three-dimensional information in real-time, with development and spread of three-dimensional model handling technologies for CAD software and some kind of modeling software. We propose a novel three-dimensional information input device using a laser pointer and monocular camera. This input device is based on recognitions of two end points of laser beam emitted from the laser pointer. In addition to its intuitive operation, it has some advantages of using the off-the-shelf camera and laser pointer.

1 はじめに

近年、3次元CADや3次元モデリングソフトウェアが普及し、またエンターテインメントコンピューティング分野においても3次元情報を直感的かつリアルタイムで入力したいという要求が生じている。

コンピュータに対する入力装置として主流となっているマウスやタッチパッドといったポインティングデバイスは、通常、縦横の2自由度しか持たない。ホイールマウスのように新たな軸の導入や、特定のマウスボタンを押しながら操作するというような工夫で制御できる自由度の数を増やしているが、一般的には3次元位置の制御に対して直感的な操作性を提供しきれていない。

縦横の2自由度に回転の自由度をうまく組み込んだTwo-Ball Mouse [2]のような例や、専用のソフトウェアで利用することを前提とした3次元入力装置は存在するものの、一般にまだ特殊な機器であり高価であるという問題がある。

そこで我々は、簡単に入手できる機器を用いて、市販の部品を使って安価に構築し得る3次元ポインティングデバイスの開発を進めている。簡単に導入できるだけでなく、直感的に操作できること、安定して位置情報を入力できることも重要な要素である。

これらの条件を鑑み、レーザーポインタと単眼カメラを利用した3次元ポインティングデバイス「レーザーポインタマウス」を提案する。カメラは市販のいわゆるウェブカメラを利用すればよく、レーザーポインタも通常の市販品で問題ない。

なお画像認識による3次元ポインタの実現としては、通常のマウスにカメラを設置して3自由度以上の制御を試みたVisualMouse [1]がある。VisualMouseでは、マウスパッド上で持ち上げた際にパッド上に描画した格子点を読み取ることにより上下の

高さ方向を計測する。ただしマウスとしてはかなり構造が複雑なものとなるという難点がある。

2 位置計測の方法

図1にレーザーポインタマウスの原理を示す。

あらかじめカメラのキャリブレーションを実施しておき、カメラ座標と世界座標の対応を付けておく。カメラのキャリブレーションはTsaiの方法 [3]を用いる。Tsaiの方法により、スクリーンに映った点と世界座標の対応を計算することができる。

世界座標上の点 ${}^t(X_w, Y_w, Z_w)$ が与えられたとき、まずその点に対してカメラ座標上の点 ${}^t(x, y, z)$ が求まり(式(1))、投影面上の点 (X_u, Y_u) が定められる(式(2))。

現実にはレンズの歪により中心からの距離の2乗に比例した歪が生じ、歪誤差を含んだ画像上の点 (X_d, Y_d) が生成される(式(3)~式(5))。さらにCCDカメラの内部パラメータ N_{cx}, N_{fx} および補正係数 s_x 、中心位置の補整 (C_x, C_y) を経て、実際の画像 (X_f, Y_f) が求まる(式(6))。

$${}^t(x, y, z) = R {}^t(X_w, Y_w, Z_w) + T \quad (1)$$

$$X_u = f \frac{x}{z}, \quad Y_u = f \frac{y}{z} \quad (2)$$

$$X_d = X_u - \delta_x, \quad Y_d = Y_u - \delta_y \quad (3)$$

$$\delta_x = \kappa X_d r^2, \quad \delta_y = \kappa Y_d r^2 \quad (4)$$

$$r = \sqrt{X_d^2 + Y_d^2} \quad (5)$$

$$X_f = s_x \frac{X_d}{d_x N_{cx} / N_{fx}} + C_x, \quad Y_f = \frac{Y_d}{d_y} + C_y \quad (6)$$

3次元ポインタとしての位置の測定は、図1におけるレーザーポインタの端点 q を計測することで実現する。レーザーがマウスパッド相当の面に照射された点(以下、輝点という)を p 、対応する投影面上の

点を $p' (= (X_u, Y_u))$ とすると、画面上の点 $P_f = (X_f, Y_f)$ が計測されてから前述の式を逆に辿ると、点 p は直線 op' 上のいずれかの点となる。 p はマウスパッド相当の平面上、すなわち YZ 平面にあることから一意に定めることができる。

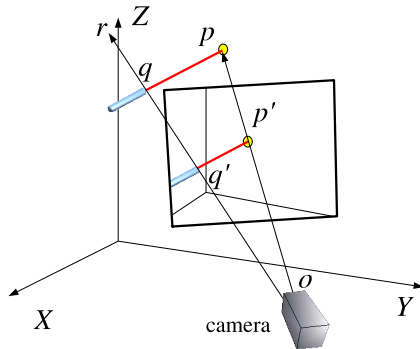


図 1. レーザポインタマウスの原理

一方、レーザポインタの端点 q は、同様に直線 oq' 上にあるという制約を持つものの一意に定めることができない。そこで、レーザポインタマウスとして使う場合はレーザポインタの端点と輝点の位置が近いこと、またそれ故にレーザポインタは照射面にほぼ垂直に当てることが多いという性質を利用して、点 p と点 q の Y 座標および Z 座標が等しくなるように点 q を定める。

3 キャリブレーション

カメラを設置した後で、カメラ座標と世界座標の対応を取るためにキャリブレーションを行なう。

キャリブレーションは 50mm 間隔の格子点を 3 面に配したキャリブレーションシートを用いて実施し、Tsai の方法によるキャリブレーションプログラムを利用して歪係数や同次変換行列のパラメータを求めた。

なお本キャリブレーションの課題として、キャリブレーションの自動化の必要性が挙げられる。現時点では画面上の格子点の位置をひとつひとつ手で拾っており、数が多いため手数のかかる作業となっている。またカメラ位置がずれるとその都度キャリブレーションしなおさなければならず、可能なかぎり自動化できることが望ましい。

4 輝点とレーザポインタ端点の認識

撮像した画像上での輝点 P_f とレーザポインタの端点 Q_f の認識は、以下の手順で実施した。

1. 背景差分により背景を除去。その後、輝度の高い部分をレーザの輝点 P_f を構成する画素として抽出し、その重心を求める。

2. 差分画像のうち、レーザの輝点の候補となる画素およびその周辺に存在する雑音成分を除去し、 P_f から最も近い点を Q_f とする。

上記の手順で、点 P_f および点 Q_f を認識することができる (図 2)。

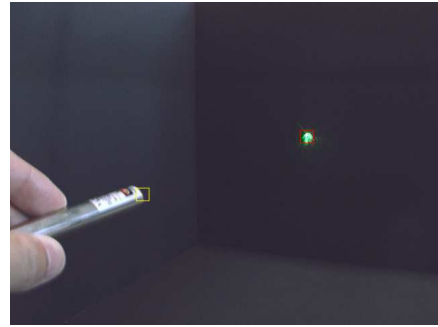


図 2. 輝点とレーザポインタ端点を認識している様子

5 アプリケーション例

アプリケーションの例として、OpenInventor に組み込んでプロトタイプを実装した。高さ方向で 3D モデル表示の奥行きを制御する例である。この他にも、google map のように解像度の大小を伴う地図の閲覧等に有効であると考えられる。

また、本質的に 3 次元ポインタが必要になる例としては、3 次元モデルを表示するソフトウェアにおいて 3 次元モデルの構成要素そのものを移動させる場合である。現在の 3D モデリングソフトウェアでは構成する部品の移動は 2 次元のポインティングデバイスを用いて操作せざるを得ないことから、側面図や上面図等の別のビューを介して実施する。本研究で提案するレーザポインタマウスを用いることで、自然な 3 次元表示である投影画像上のモデルを構成する部品を、投影画像内で直接操作することが可能となり、その意義は大きい。

参考文献

- [1] K. Hinckley, M. Sinclair, E. Hanson, R. Szelisk, and M. Conway. The VideoMouse: A Camera-Based Multi-Degree-of-Freedom Input Device. In *ACM UIST'99 Symp. on User Interface Software & Technology, CHI Letters*, Vol. 1, No.1, pp. 103-112, 1999.
- [2] I. S. MacKenzie, R. W. Soukoreff, and C. Pal. A two-ball mouse affords three degrees of freedom. In *Extended Abstracts of the CHI '97 Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 303-304, 1997.
- [3] Tsai. A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses. In *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No.4, pp. 323-344, 1987.