

## 複数輝点レーザーポインタによる3次元情報入力装置 Three-dimensional Input Device using a Multi-spot Laser Pointer

飯尾 淳†  
Jun Iio

井上 健司‡  
Kenji Inoue

新井 健生†  
Tatsuo Arai

### 1. はじめに

3次元情報のやりとりに関して、提示技術においてはCG技術の高度化により実写と見紛うばかりの表現力が実用化されている。一方で3次元情報の入力に目を向けると、空間情報の操作に関しては研究が進められており一部実用化されているものの<sup>[1]</sup>、一般的にはマウスやタッチパッドといった既存のポインティングデバイスを利用した入力が未だに多数を占めている。これらのデバイスは通常、縦横2自由度しか持たず3次元位置の制御の自由度を満たすことができないため、直感的な操作性を提供できないという問題を有している。

ここ数年、コンピュータへの情報入力装置としてデジタルカメラが一般的なものとなり、コンピュータの周辺機器としての撮像装置は非常に手軽に入手できるようになった。我々は、簡単に入手できるデジタルカメラとレーザーポインタを利用して、安価に構築できるポインティングデバイスの開発を進めてきた<sup>[2]</sup>。

[2]で提案したシステムは、ステレオカメラを用いず単眼カメラで実現させるため、利用条件にいくつかの制約を加えていた。本提案では[2]で提案したものに更なる改良を加え、より実用的かつ3次元上での位置関係を決定し得る6自由度全てを操作できる3次元ポインティングデバイスを実現する。

### 2. 画像認識を用いた3次元ポインタの実現

提案する3次元ポインタは、レーザーポインタをポインティングデバイスとして利用し、レーザーポインタが照射するレーザー光の軌跡を画像認識により認識して追跡することで3次元情報の入力を実現するものである。

机上のマウスパッドに相当する範囲をカメラで計測し、レーザーポインタで示す点（以降、輝点と呼ぶ）の位置を認識する。実時間認識を実施した結果は逐一フィードバックされ、レーザーポインタの位置と向きおよび回転の計算に利用される。これらの認識の結果を、例えば最後に示すプロトタイプ例のように3次元CGモデル表示に関する投影像作成時の視点位置決定に利用すれば、あたかも3次元CGモデルに向けたカメラを操作しているような操作感で3次元CGモデルの姿勢制御を実現することが可能である。

なおレーザーポインタと画像認識を組み合わせたインタフェースの研究例としては、他に[3]のような例がある。このインタフェースでは、輝点を表示させるスクリーンそのものも認識対象であり、スクリーンと点の位置関係で情報を入力するという点が本提案手法と異なる。

### 3. レーザポインタ位置の認識

#### 3.1 複数輝点レーザーポインタ

単眼カメラから得られる画像からレーザーポインタの位置と向きを認識するために、3つの座標を考える。すなわち、世界座標、カメラ座標、および、レーザーポインタの発光点を中心とするレーザーポインタ座標である。便宜上、レーザーポインタ座標においては、原点を中心としてZ軸方向にレーザーが照射されるものとする。また世界座標ではポインティングデバイスとなるレーザーポインタを照射する机上の平面をXY平面として考えるものとする。

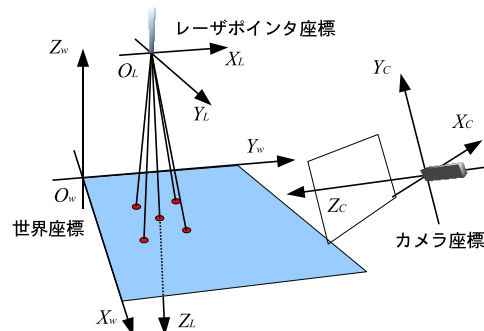


図1 世界座標、カメラ座標、レーザーポインタ座標

レーザーポインタを空中で移動させることによって3次元情報を入力するインタフェースであるため、レーザーポインタ座標は時々刻々と変化する。したがって、世界座標との対応付けを計算するために、少なくとも4点の対応点を与える必要がある。そこで、レーザーポインタの先端にレーザー光を分岐するアダプタを取り付け（図2右写真）、レーザーポインタ本来の輝点の周囲に座標変換に利用するための輝点を4点、照射するようにした。具体的には、図2左に示すように、2枚の合わせ鏡を利用して4本のレーザー光を分岐させている。これらのレーザー光は、本来のレーザー照射を中心として底辺が正方形となる四角錐を形成する位置関係にある。

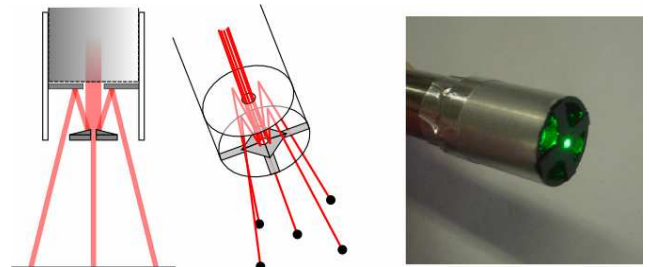


図2 レーザ光分岐アダプタ

#### 3.2 事前の準備

事前準備として、カメラのキャリブレーションと複数輝点レーザーポインタの定数を求めておく。

† (株) 三菱総合研究所, Mitsubishi Research Institute, Inc.

‡ 大阪大学大学院 基礎工学研究科, Graduate School of Engineering, Osaka University

### (1) カメラのキャリブレーション

カメラ座標と世界座標の対応をとるために、カメラを設置した後で、キャリブレーションを行う。カメラのキャリブレーションは、Tsai の方法<sup>[4]</sup>によるキャリブレーションプログラムを用いて行った。Tsai の方法では、カメラ画像と世界座標の関係における歪係数と同時変換行列を求めることができる。

### (2) レーザポインタ定数 $k$ の測定

レーザポインタ座標と世界座標の対応をとるために用いられる4点は、四角錐を形成する。その四角錐の辺上の点は、 $(p, p, pk)$  または  $(p, -p, pk)$  と表すことができる。定数  $k$  は前述のアダプタ作成時に静的に決まる定数であり、事前に求めておくことが可能である。

## 3.3 3次元位置の実時間認識手順

レーザポインタ座標と世界座標との対応は、以下の手順で計算する。

### (1) 輝点 $P_1 \sim P_4$ のレーザポインタ座標における位置

レーザポインタのスイッチを入れると、本来の輝点  $P_0$  と共に、 $P_0$  の周囲に座標の対応を計算するための  $P_1 \sim P_4$  が現れる (図3左)。

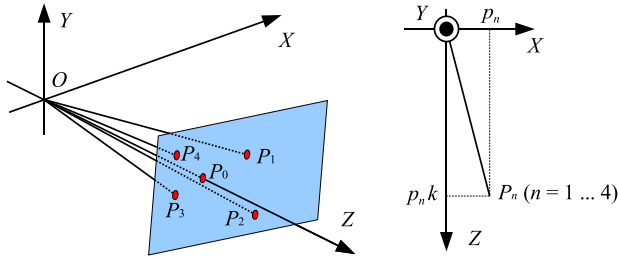


図3 レーザポインタ座標上の輝点

$P_1 (n=1 \dots 4)$  は、 $Z$  軸を中心とする正四角錐を机上の平面 (世界座標における  $XY$  平面) で切断した位置関係にあり、レーザポインタ座標におけるそれぞれの座標は、あらかじめ求めておいた定数  $k$  を用いて  $(p_n, (+/-)p_n, (+/-)p_n k)$  と表すことができる (図3右、 $Y$  座標および  $Z$  座標の符号は各点による)。

### (2) $P_1 \sim P_4$ の測定

あらかじめ実施しておいたカメラキャリブレーションの結果から、世界座標上におけるある点に対するカメラからの視線ベクトルが求められる。すなわちカメラの焦点からカメラが撮像した輝点に向かう直線が求められる。ここで、輝点は  $XY$  平面上にあるという制約から世界座標上における輝点  $P'_1 \sim P'_4$  は、一意に定めることができる。

ところで  $P_1 \sim P_4$  が形成する四角形は、同次変換において不変である。したがって、各辺の長さも変わらない。そこで、世界座標上で計測された各辺の長さを用いて、辺  $P_1P_2$  から辺  $P_4P_1$  まで長さに関する4つの方程式を立てることができる。これらは  $p_1 \sim p_4$  に関する4元2次方程式となるが、レーザポインタ座標において  $Z$  座標が正であることから  $p_1 \sim p_4$  を一意に求めることが可能である。

### (3) レーザポインタ座標と世界座標の対応

レーザポインタ座標と世界座標の間の同次変換行列を  $H$  とすると、 $P_1 \sim P_4$  および  $P'_1 \sim P'_4$  を同時座標で表したとして、以下の式が成立する。

$$({}^w P'_1 {}^w P'_2 {}^w P'_3 {}^w P'_4) = H ({}^c P_1 {}^c P_2 {}^c P_3 {}^c P_4)$$

$P_1 \sim P_4$  から構成される行列  $P$  および  $P'_1 \sim P'_4$  から構成される行列  $P'$  およびはここまでのステップで求められているため、次の計算により  $H$  が求まる。

$$H = P'P^{-1}$$

### (4) レーザポインタの位置と向き の決定

上記の手順で求められた  $H$  を用い、レーザポインタ座標の原点  $O$  を世界座標に変換すると、レーザポインタの実世界上の位置  $O'$  が求められる。またレーザポインタの本来の照射点である  $P_0$  は世界座標上で  $P'_0$  として実測されているので、直線  $O'P'_0$  を計算することによりレーザを照射する向きも求められる。

さらに、90度の冗長性があるため認識の初期値として絶対的な角度を定めることができないという制限はあるものの、対応する輝点を連続するフレーム間で追跡して対応をとることにより、レーザの照射軸を中心とした回転を認識することも可能である。

## 4. アプリケーション例

本提案のインタフェースを用いれば、前節で述べた手順により空間上の6自由度を自然な状態で入力することができるようになる。この特徴を活かし、3次元CGモデルビューアの投影視点のコントロールに応用するアプリケーションを試作した。

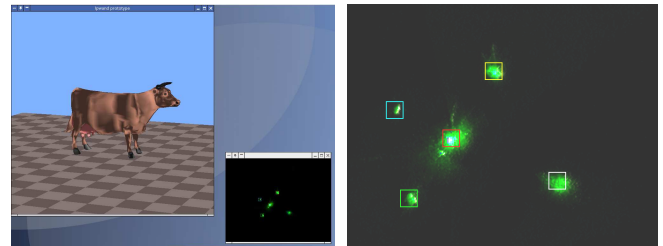


図4 3次元CGモデルビューア・プロトタイプ (左) 中心を含む5つの輝点の認識状況 (右)

図4左に、本インタフェースを実装したプロトタイプシステムである3次元CGモデルビューアの画面のスナップショットを示す。左側の画面がOpenGLによるCGの表示であり、スクリーンに投影する視点は本提案のポインティングデバイスで制御される。右側の小さなウィンドウには、レーザポインタの各点が認識されている状況が示される (図3右)。

## 参考文献

- [1] S. Subramanian, W. IJsselstein, Survey and Classification of Spatial Object Manipulation Techniques, Proceedings of OZCHI 2000, pp. 330-337, Dec. 2000.
- [2] 飯尾, 新井, レーザポインタと単眼カメラを利用した3次元情報入力装置, Workshop on Interactive Systems and Software (WISS2005), pp. 133-134, Dec. 2005.
- [3] C. Grimm, R. Pless, A New Input Device for 3D Sketching, In "Vision Interface", pp. 311-318, 2003.
- [4] 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.