

報 文

# 表色系座標を用いたレーザーレンジファインダ

石川職業訓練短期大学校 木戸口 隆夫

## A Laser Rangefinder Using Chromaticity Diagram

Takao Kidoguchi

**要 約** 物体の距離や・姿勢情報を得る代表的な方法は、両眼立体視法と光切断法である。両眼立体視法では、左右両眼の画像の対応点を検出することによって、画像内の任意の物体の距離を計測しようとしている。しかし、対応点決定にはかなりの計算処理時間が必要であり、その解決法もまだ研究段階にある。従ってロボットの視覚部分への適用には不都合が生じる。また、光切断法と組み合わせた手法で、色々な研究が報告されているが、多くは実験室的な環境を前提とし、形状の認識に力点がおかれた研究が多く報告されている。また計測する距離も比較的短い場合が対象である。本報告では両眼を2点の光源に変え、それをシンドリカル系のレンズを用いて平行光とし、二等辺三角形を構成する幾何光学系を構成し、単眼視の手法を用いている。また、室内歩行ロボットの視覚部分への適用を前提としているために、推定距離の範囲を3m～8m程度とした。さらに、レーザ光の検出法において、表色系における色度図の概念の導入を報告している。そして、その表色系の色度図上において、レーザ光に対応する色度領域を設定し、その設定した色度領域を用いて画像データの中から二本の平行光の位置情報を検出する。その検出した2点の位置情報を手がかりにして、CCDカメラから対象物までの距離を推定する手法を提案した。

### I はじめに

近年、画像処理の手法を用いて対象物を認識し、障害物であるときはこれを回避して移動させるロボットの研究<sup>(1),(2),(3)</sup>が盛んに行われている。一般に、対象物までの距離を求めるためには、カメラ2台による複眼視による手法がとられることが多い。しかし今回の実験では、光源を二点設定する。各光源からのレーザ光は2つのシンドリカル系のレンズを用いて平行光に変換し、幾何光学系による二等辺三角形を構成し、単眼視の手法を用いて、CCDカメラから対象物までの距離を推定する<sup>(4)</sup>。今回は、表色系のスペクトル三刺激値の導入について検証をしたので報告する。

一般に、物体は光が当てられた時、その反射は物体を構成する物質によって決まる固有の特性を示す。従ってCCDカメラを用いて、物体から反射されるスペクトル三刺激値を観測すれば、観測された光のスペクトル分布は、照射された光のスペクトル分布やCCDカメラと対象物との間の空気特性に依存して変化する。しかしスペクトル特性は、対象物の識別のための重要な情報を持つ。そこで今回の実験では平行光の検出法として、表色系におけるスペクトル三刺激値の概念を導入する。導入した表色系の色度図上における、平行光に対応した色度領域を解析する。それを手がかりに、画像データから二本の平行光の位置情報を検出し、CCDカメラから対象物までの距離を推定する手法を提案する。

## II 表色系座標によるレーザー光の検出法の確立

まず、CCDカメラによって取り込まれた画像データの中から、シリンドリカル系のレンズを経て垂直方向にスリット状となったレーザー光の色度成分を調べる。

色度図を用いる場合、一般的には修正マンセル系またはXYZ表色系を用いるが今回の実験では、色空間としては、等色性が厳密に保証されるCIE (国際照明委員会) 採用のXYZ表色系を用い、それに対応する色度x,y,zを求め、それを利用してレーザー光の色度図上の固有の領域を設定する。固有の領域をクラスタ化するためには色分布のヒストグラムを分析すればよい。そのクラスタ化した固有の領域を抽出することで、画像データから二本の平行光の位置を検出する。その検出した二本の平行光の位置情報を手がかりにして、CCDカメラから対象物までの距離を推定する。

抽出の手順として、CCDカメラから入力した画像データをフレームメモリに入力する。今回の実験に使用するフレームメモリの画素数は、250 \* 200 で、64階調のR, G, Bの値に量子化される。そのR, G, B値からXYZ系に関する三刺激値X,Y,Z値を式(1),(2),(3)を用いて算出する。

$$X=2.7689*R+1.7518*G+1.1302*B \quad (1)$$

$$Y=1.0000*R+4.5907*G+0.0601*B \quad (2)$$

$$Z=0.0565*G+5.5943*B \quad (3)$$

(下線は三刺激値に各々対応する視感度係数<sup>(12)</sup>)  
さらに、式(4),(5)を用いて輝度成分を除き、色度x,yの値を求める。

$$x=X/(X+Y+Z) \quad (4)$$

$$y=Y/(X+Y+Z) \quad (5)$$

次に、色度x,yの値よりレーザー光に該当する画素を検出する。今回使用したスリット光の光源はHe-Neレーザーで、その波長は632.8nmで、これを図1の色度図と比較すると、x=0.7,y=0.3に相当し、この付近を先ず検出した。ところが、これではレーザー光の検出は全く

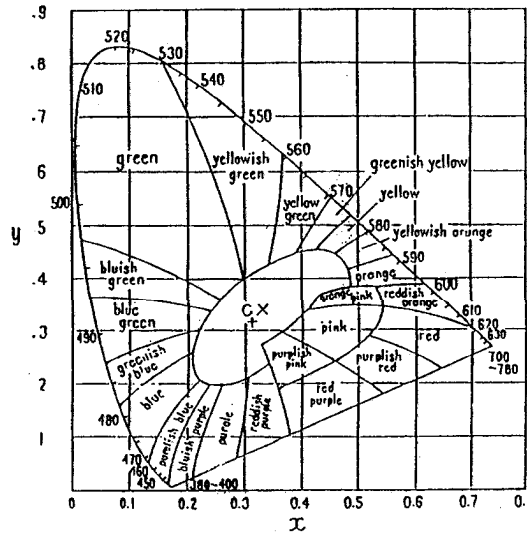


図1 XYZ系のx,y色度図

環境、特に照明条件が天井からの蛍光灯によるものと、窓越しに入射する太陽光との2つの影響を考慮しなければならないことを示している。しかし一般に物体に光が当てられた時、その物体を構成する物質によって決まる固有の反射特性、すなわち、標準2色性反射モデルとして考えることの出来る物体の場合には、鏡面反射成分と拡散反射成分の2つの成分に分離して考えることができる。そして色知覚の問題としては前者の鏡面反射成分光が照明光の色を、後者の拡散反射によるものが、物体色固有の情報であるとされている。本実験のように複数の光源を有している場合には、適当なモデルはないため、実際にレーザー光の部分の色度x,y値を計測する事は、限定された物体についてのみ成り立つという制約はあるが有効となる。その一部を図2に示す。その計測値と、xy色度図と比較検討した結果、レーザー光に該当する色度値が、x:0.36~0.44, y:0.28~0.32の範囲付近に集中していることが明らかになった。図1の色度図においてpinkの部分とpurplish pinkの領域付近であり、レーザー光に相当していることを示している。

そこで、この二つ(pinkとpurplish pink)の領域に該当するx,yの画素を検出するため、次の4式(6),(7),(8),(9)の色度図から求めることができる。今回は

座標 X,Y	R, G, B	X, Y, Z	色度 x,y
98,123	91, 79, 75	480, 460, 420	0.35,0.34
99,123	115, 95,103	600, 560, 580	0.35,0.32
100,123	95, 51, 79	440, 330, 440	0.36,0.27
101,123	127, 67,111	590, 440, 260	0.36,0.27
102,123	211,151,191	1100, 920,1100	0.35,0.30
103,123	127, 79, 95	600, 500, 540	0.37,0.30
104,123	95, 63, 63	440, 390, 360	0.37,0.33
105,123	103, 79, 75	510, 470, 420	0.36,0.34
106,123	95, 79, 75	490, 460, 420	0.35,0.34
107,123	103, 91, 87	540, 530, 490	0.35,0.34
154,123	55, 51, 55	300, 290, 310	0.34,0.32
155,123	55, 43, 55	270, 260, 310	0.34,0.30
158,123	67, 39, 63	330, 250, 350	0.35,0.37
157,123	59, 11, 55	240, 110, 310	0.37,0.17
158,123	95, 15, 83	380, 170, 470	0.38,0.17
159,123	179, 79,147	800, 550, 830	0.37,0.25
160,123	167, 63,119	710, 460, 670	0.38,0.25
161,123	95, 11, 43	330, 150, 240	0.46,0.21
162,123	87, 15, 39	310, 160, 220	0.45,0.23
163,123	83, 35, 47	340, 250, 260	0.40,0.29

図2 レーザー光付近の x y 色度値の例

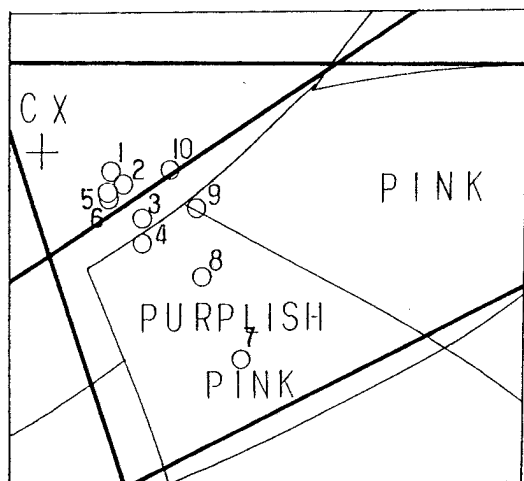


図3 特徴領域の検出範囲と  
10画素分の色度図上の軌跡

少し広く領域を設定した。その概略を図3に示す。  
行われなかった。これは、今回の実験においては、外部

$$y \leq 0.68x + 0.06 \quad (6)$$

$$y \geq -3.16x + 1.27 \quad (7)$$

$$y \geq 0.52x \quad (8)$$

$$y \leq 3.45 \quad (9)$$

この4つの式(6),(7),(8),(9)を用いてレーザー光の色度図上の領域を設定することが出来る。以降この領域を特徴領域と定義する。特徴領域を設定することで、対象物にレーザー光が平行光として照射されているとき、CCDカメラから入力した画像を解析し、画像平面上における2本のレーザー光の検出と、その座標値 x1,x2を求めることが可能となる。

さらに、検出すべきレーザー光は線幅を有していることに注目した。その制約を満たすための条件を付加するため、レーザー光に相当している部分の色度データの分布を分析した。スリット状となっているレーザー光を含む10画素分が、特徴領域に含まれるか否かについての累積度数に関するヒストグラム分布は、中心部分が特徴領域からはずれる図4のような分布を有し、更に色度図上における、同じ10画素分の軌跡を図3の上を示す。

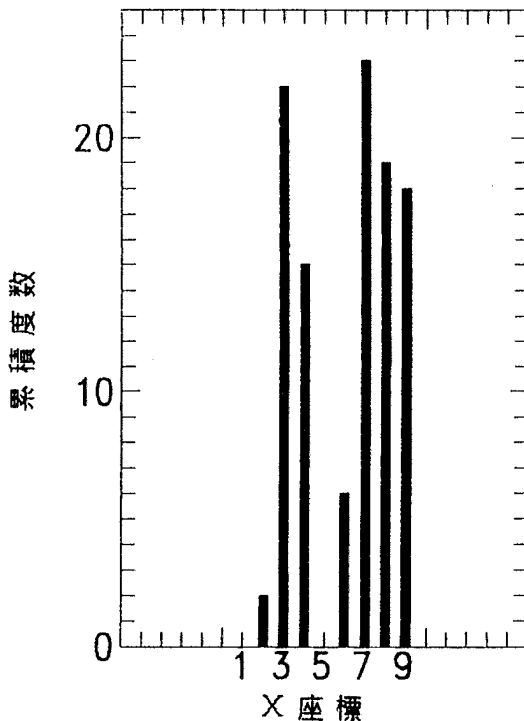


図4 特徴領域に関する累積度数分布

よってその特徴を利用して今回の実験では、距離の推定が可能な対象物は、可視状態でレーザー光が pink または、purplish pink の反射光を有する状態にあり、その特徴領域を pink, purplish pink としたとき、図4に示すように中心部分の色度領域が1~2ピクセル特徴領域から

はずれ、両端が特徴領域に入ったとき線幅を有するレーザー光と判定し、その画像平面上における座標値 $x_i$ を検出し、投票空間に投票する。その投票空間の集積点を求めることによって2本の平行光の画像平面上の座標値 $x_1, x_2$ を求める。その求めた座標値の差  $x_2-x_1$ を以降CRT距離と定義する。この CRT距離を求める手法を、先に報告した文献(4)の平行光の検出法の部分に適用すると、図5に示すアルゴリズムとなる。

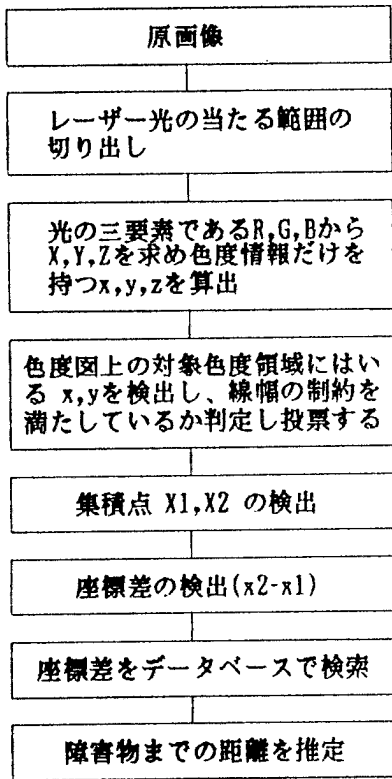
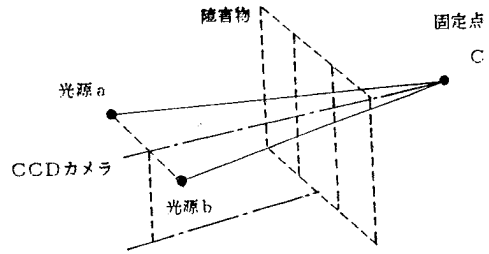


図5 対象物までの距離の推定アルゴリズム

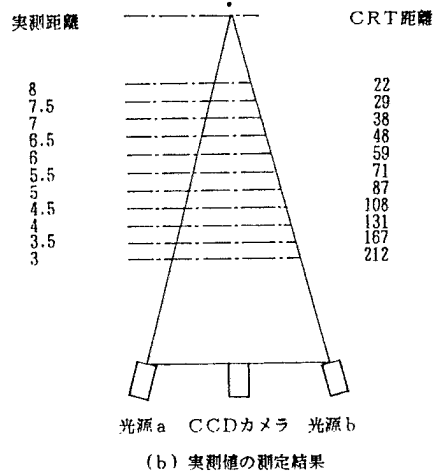
### III シミュレーション実験

#### 1 データベースの作成

図6 (a) に示す機器の構成を用い、図6 (b) に示すように、対象物とカメラとの距離3m~8mを50cmずつ移動させ、CCDカメラから画像データを、フレームメモリに入力する。入力されたデータは64階調の値を有し、図5に示す本手法のアルゴリズムを適用して検出した2本の平行光の、画像平面上の座標差の値 $x_2 - x_1$



(a) 構成概念図



(b) 実測値の測定結果

図6 データベース作成時の機器構成と CRT距離と実測距離の関係

を計測する。以降座標差  $X_2 - X_1$ をCRT距離と表す。

一方、そのときのCCDカメラと対象物との距離を測定し、以降これを実測距離と定義する。この実測距離とCRT距離とを用いて、図7に示す区分的直線近似化曲線を作成する。これは主として光学系、特にレンズ系の歪が、レンズの周辺部分ほど大きくなることに起因すると考えられる。以降、補間法による距離の推定が可能となる。

#### 2 距離の推定

3mから8mの範囲の任意の距離の画像を読み込ませて、CCDカメラと対象物までの距離を推定する。

本手法による実験の結果を表1に示す。また、対象物が人物である場合の、処理の概要を図8に示す。

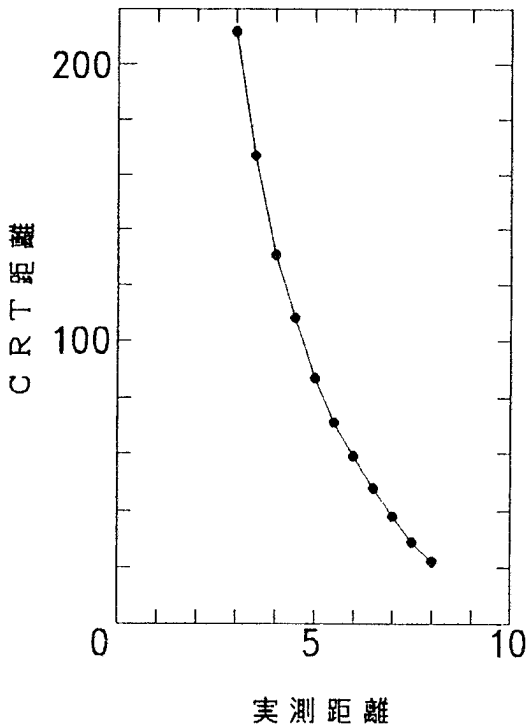


図7 CRT距離と実測距離を用いた区分的直線近似化曲線

表1 本手法による距離推定の結果

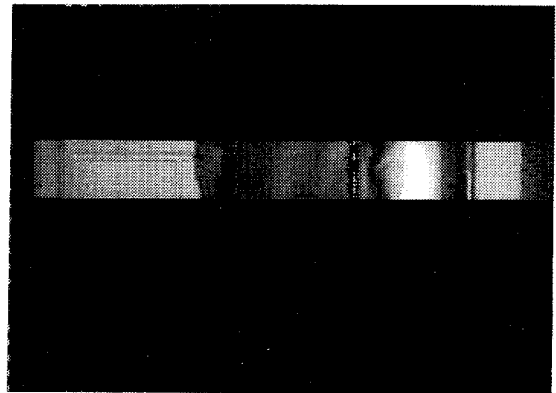
任意距離 (m)	CRT距離	推定距離 (m)	誤差 (%)
7.20	34	7.22	0.27
6.35	50	6.41	0.94
5.10	85	5.06	0.78
4.70	99	4.71	0.21
4.40	112	4.41	0.22

### 3 考察

本手法による推定値と実測値を比較すると誤差は最大1%程度であり、近い値で推定できていると考える。さらに精度を向上させるためには、原理的には、5.0cmきざみのステップを更に小さくすれば良いことになる。また報告[4]の実験時においては外部環境の明るさの影響により2メートルの区間における推定で、3回のしきい



(a) 距離を推定する入力画像



(b) 距離を推定した後の画像

図8 人物を対象としたときの処理の様子

値の変更を必要としたが、今回の手法の確立によってそれが解決できたと考える。従って、xy色度図上の特徴領域によるフィルタリングの手法と、線幅による制約が有効であることが検証出来たと考える。また、今回は実験データに基づいて、線幅の制約を提案しているが、この分布の成立過程の検討が十分出来なかったので今後の課題としたい。また、平行光の当たる対象物の色や材質、複数の光源との関係等、更に基礎データを収集することが必要であると考え。また、平行光の検出法として線幅を有する場合の Hough変換についておよび、対象物の面が傾きを有する場合の距離画像の導入等について検討していきたいと考えている。

#### IV おわりに

屋内のような、壁や障害物の有る空間における、歩行ロボットの視覚部に用いるため、CCDカメラと障害物との距離の推定法を提案した。本手法は、スリット光投影法による計測技術のうち、二点の光源を用いた三角測量の原理と、単眼視の手法を適用した。また画像処理によるレーザー光の検出法として、色度図上の特徴領域を提案し、その特徴領域によるフィルタリングの手法と、線幅による制約法の有効性を明らかにした。

#### 謝辞

今回の実験は平成3年度の卒業研究として以下の4名の学生諸君に協力頂いたものであることを記し報告を終わります。

磯部 元一 (現 富山富士通)  
 川縁 伸彦  
 (現 北陸日本電気ソフトウェア株式会社)  
 北谷 良夫 (現 P F U)  
 山口 貴弘 (現 予備校進学)

#### [参考文献]

- (1) 小野口、他 「注視点追跡による移動制御」  
 情処研報、cv73-12,pp.89-96,(1991)
- (2) 武野、「衝突回避ロボット研究の1報告」  
 Robot No.71,pp.82-92,(1989)
- (3) 久野、「ロボットビジョンと光システム」  
 光学 第19巻第5号,(1990)
- (4) 木戸口、「カメラ中心座標系による画像データからの距離の推定」、石川職業訓練短期大学校  
 紀要 第1号,(1992)
- (5) 尺長、「単眼視画像からの3次元情報復元」  
 情報処理、Vol.32、No.2(1991)
- (6) 高見堂、増田、「光軸方向制御による室内構造線の抽出」、信学春季全大 D-628 (1991)
- (7) 高見堂、増田、「室内移動ロボットのための単眼による対称物の視覚的捕捉」 信学技報 Vol.91  
 No.252,(1991)

- (8) 安居院、中嶋、長尾：画像処理の実際、工学社  
 (1988)
- (9) 田村 (監修)、日本工業技術センター (編)  
 コンピュータ画像処理入門  
 (10) NEWPORT総合カタログ (1990)
- (11) 井口、佐藤 三次元画像計測、昭晃堂 (1990)
- (12) 日本放送協会編 カラーテレビジョン (1969)
- (13) 社団法人 計量管理協会、光応用計測技術調査研究委員会編 「光計測のニーズとシーズ」  
 コロナ社、(1987)
- (14) 浅見 (監修) 「レーザー光学」、東京電気大学出版局  
 (1989)