

4M-5

自律移動車を用いた環境理解の研究
— 色情報を用いた目標物追跡

小野一則 石川 実 渡辺 陸

株式会社東芝 総合研究所

1. はじめに

我々は環境を理解し、目的地まで自律的に走行する屋内移動ロボットシステムの開発を行っている。本システムは、画像中から目標物を抽出し、それを追跡することにより移動ロボットを目的地まで誘導する。画像から目標物を抽出する手法としては、エッジから形の情報(楕円や四角形)を抽出するものがあるが⁽¹⁾、形の情報だけでは目標物が小さく解像度が低い場合、輪郭線がはっきり出ず抽出が難しい。また、照明の変化に伴うエッジの切れに弱い。目標物抽出をロバストにし、環境に対する適応力を高めるためには、複数の情報を用いたり、視点を変えた複数枚の画像を用いたりして、目標物抽出の不確実性を減らすことが必要である。これを実現するための前段階として、色の情報を用いて目標物を抽出し、追尾する移動ロボットシステムEXTASY-1(External-world Analyzing System)を構築した。色領域抽出手法としては、目標物を表す色が安定に抽出できるように従来手法に対し改良を施した。

色という領域情報を用いることにより、形状情報では抽出が難しい目標物が抽出できる。また、追尾しながら目標物に接近することで目標物の詳細を捕らえ、抽出した目標物が目指す目標物であるか否かを検証することができる。

2. システム構成

図1に、システムの全体構成を示す。移動ロボットは、模型のラジオコントロールカーをベースに、カラーカメラ、画像送信モジュール(無線)及び、電源を搭載した移動車である。

EXTASY-1から送信された画像の受信は、市販のカラーテレビのチューナーを用いて行われ、このテレビの映像出力をNTSCアコードに通してRGB信号に変換した後、イメージプロセッサ⁽²⁾に入力される。ここで入力画像の解析を行い、ステアリング、走行/停止に対する制御信号を作成する。計算機には、エンジニアリングワークステーション(EWS: AS-4260)を用い、EXTASY-1の制御、画像処理を行う。

EXTASY-1の制御は、プロポーショナルラジオコントローラ(以下プロポ)で行うが、この制御を計算機で行えるように、プロポを改良し、プロポI/Fを付加した。

3. 色領域追跡手法

エッジ画像から目標物の輪郭を抽出し、その形状から目標物を探索する目標物抽出手法は、目標物が小さい場合や周囲に強い影が生じた場合に正しい輪郭が得られないときがある。このため、不整備な照明環境下の目標物を離れた位置から安定に抽出するには、輪郭を用いた形状以外の情報が必要となる。今回、この情

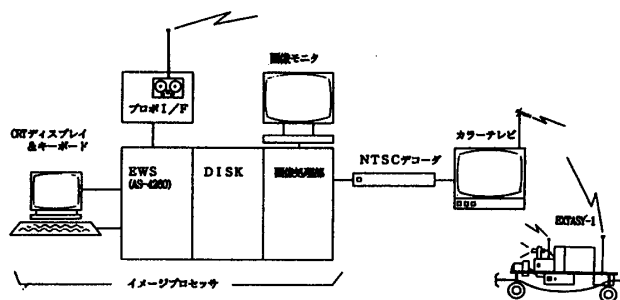


図1. システム構成

報として、輪郭が明確に抽出されなくとも比較的安定に抽出できる色領域に着目した。そして、移動ロボットEXTASY-1が特定の色領域を目標物として追跡する実験システムを構築した。色の領域抽出としては、ルックアップテーブルを用い、カラーカメラから入力されたR, G, B値を直接色と対応付ける手法があるが、この手法はルックアップテーブル作成時の照明状態が保存されないと適用できない。このため、R, G, B値から人間の知覚標色系である明度、彩度、色相を求め、明るさの変化の影響を受けにくい色相値を用いて領域分割する手法が従来良く用いられている⁽³⁾。色相値は、図2に示すRGB空間中の主対角軸OA回りの回転角に対応するが、色の変化に対し、色相値の変化量が一定ではないため、色相値がわずかに変化しても、対応する色が大きく変わってしまう部分があり、ノイズの影響で抽出し難い色が存在するという問題がある。このため、色相算出の際の回転角の始点を、抽出したい色に応じて設定するよう改良し、目標とする色の抽出精度を向上させた。

目標物として記述された色領域をこの手法により抽出し、EXTASY-1に追跡させるアルゴリズムを以下のstep1~step9に示す。

- step1: 画像入力
- step2: 彩度の高い領域Rcを抽出
- step3: Rc中で色相を算出
- step4: 指定した色の色相値を持つ領域RhをRc中で抽出。
- step5: Rh中で微小領域を除去
- step6: 面積最大の領域RmをRh中で選択
- step7: Rmの画像中の位置LをRmの外接長方形を求めることで算出
- step8: Lが画像の中心となるようEXTASY-1のステアリング切り角を算出
- step9: EXTASY-1にステアリング制御信号を送信

Research for Scene Understanding with Autonomous Vehicle

— Target Tracking Using Color Information

Kazunori ONOBUCHI, Minoru ISHIKAWA, Mutsumi WATANABE

Research and Development Center, TOSHIBA Corporation

step2では、step1で入力したR,G,B画像の各画素(i,j)に対し、

$$\max(R_{ij}, G_{ij}, B_{ij}) - \min(R_{ij}, G_{ij}, B_{ij})$$

なる演算を施して彩度画像を求める。R_{ij}, G_{ij}, B_{ij}は各画素(i,j)のR,G,Bの輝度である。上記演算は、画像処理ハードウェアの持つ3画像間及び2画像間演算機能により高速に実行することができる。彩度の低い領域は色相値の誤差が大きく信頼性に欠けるため、彩度画像を予め設定しておいたしきい値で2値化して彩度の高い領域のみをR_cとして抽出する。

step3では、step2で求めた高彩度領域R_cに含まれる画素の色相値を算出する。画素PのR,G,B値が図2に示すRGB空間中の点Pであるとする、Pから主対角軸OAに下ろした垂線P'PとRGB空間中に設定した基準平面との成す角θがPの色相値となる。P'Pは図2から以下のようを得られる。

$$\begin{aligned} \vec{OA} &= (1, 1, 1) \\ \vec{OP} &= (R, G, B) \end{aligned}$$

$$\vec{OP}' = \frac{|\vec{OP}'|}{|\vec{OA}|} \vec{OA} = \frac{R + G + B}{3} (1, 1, 1)$$

$$\begin{aligned} \vec{P}'P &= \vec{OP} - \vec{OP}' \\ &= \frac{1}{3} (2R - G - B, -R + 2G - B, -R - G + 2B) \end{aligned}$$

点O, A, P r (Rr, Gr, Br)を含む平面を基準平面とすると、この平面の法線ベクトルO'Hは
O'H = (Br - Gr, Rr - Br, Gr - Rr)
となるため、P'PとO'Hとの成す角ψは、

$$\cos \psi = \frac{|\vec{O'H} \cdot \vec{P}'P|}{|\vec{O'H}| |\vec{P}'P|} \quad \text{--- (1)}$$

$$|\vec{O'H}| = \{(Br - Gr)^2 + (Rr - Br)^2 + (Gr - Rr)^2\}^{1/2}$$

$$|\vec{P}'P| = \frac{\sqrt{6}}{3} \{R(R - G) + G(G - B) + B(B - R)\}^{1/2}$$

$$\vec{O'H} \cdot \vec{P}'P = R(Br - Gr) + G(Rr - Br) + B(Gr - Rr)$$

より求めることができる。

よって、RGB空間中の点Pの色相θは
θ = π/2 - ψ

として得られる。

ψの値は基準平面の取り方により変化する。(1)式のcos ψの値がψの値に対して大きく変動する部分、すなわちcos ψ = 0の近傍になるよう基準平面を設定すれば、点Pの色を表す色相値と他の色を表す色相値との差が大きくなり、点Pの色の抽出が容易になる。よって、抽出したい色をRGB空間中のPrとして基準平面を設定する。これにより、RGB空間において基準平面の近傍に抽出したい色の点が集まり、これらの点から算出されるcos ψの値が0に近くなる。

以上のように色相値θを算出すると、θが0に近い値を持つR_c中の領域が抽出すべき色領域R_hとなる。このため、step4では、θ ≐ 0の色相値を持つ画素をR_c中から選択してR_hを求める。

R_hは、画像のノイズによる多くの微小領域を含んでいるため、step5においてこれらの微小領域を除去する。今回の手法では、追跡する色領域は常にR_h中で最大面積を占めると仮定しているため、微小領域除去後の領域R_hに対し、step6において最大面積を持つ領域R_mを抽出し、step7においてその外接長方形の重心を求めて追跡すべき領域の画像中の位置Lとしていた。

step8では、まず、画像中心を原点とした際のLのx方向の位置L_xを求める。L_xの値が0に近ければEXTASY-1は追跡領域に向かって進んでいるためそのまま直進すれば良いが、L_xの値が大きくなるとEXTASY-1の進行方向と追跡領域との間のずれが大きくなるため、L_xが正の値の時には右方向、負の値の時には左方向にステアリングを切る必要がある。目標物への方向DとL_xとの間には

$$D = \arctan(L_x / f) \quad f: \text{焦点距離}$$

なる関係が成り立つため、角度Dだけステアリングを切れば車輪を目標物の方向に向けることができる。このため、この値Dをstep9においてEXTASY-1に送信し、追跡領域に向かうよう制御する。

以上述べたstep1からstep9までの処理を繰り返し実行することにより、指定した色領域を追跡する。

本手法を用いた色領域抽出結果を写真1に示す。目標物として選んだ赤色の箱は、置かれている床面との間の濃度差が小さいため、輪郭エッジを正しく抽出することが難しいが、特徴として色を用いた結果、矩形で囲まれた領域が目標物として抽出できた。また、1サイクル当たりの処理時間は赤色領域の面積に比例するが、5000画素程度の領域では約1.5秒であり、オーバーシュートによる多少の蛇行はあるが、十分目標物を追跡することができた。

4. まとめ

色情報により目標物を追跡する手法を検討し、移動ロボットEXTASY-1を用いて追跡実験を行った結果について述べた。

今回は、目標物抽出において色情報が有効な特徴の一つであること、また、単純な走行制御を用いても頻繁な視覚フィードバックにより目標物追跡が可能であることを報告したが、環境の変化に強い目標物の追跡を実現するためには、複数の特徴を融合したり、積極的に視点を変えたりして不確実性を減らしていくことが必要である。今後は、これらの検討を重ね、動的に変化する環境においても安定に目標物が追跡できる移動ロボットシステムを構築していく。

(参考文献)

- (1) K. Onoguchi, et. al., Proc of Robotics and Automation'90, pp. 767-774 (1990).
- (2) 石川他、S63年度信学会春期全国大会予稿集、pp2-187 (1988).
- (3) 富永、信学会論文誌、vol. J68-D, No. 3, pp. 300-307 (1985).

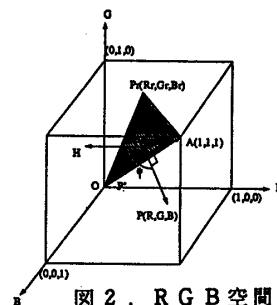


図2. RGB空間

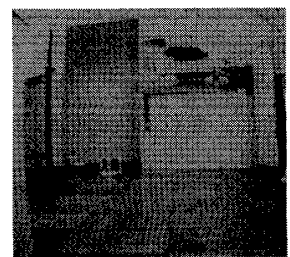


写真1. 抽出結果