

はじめに

この度は高校ロボット同好会・中学ロボット研究部合同展示「ロボットに目をつける」にお越しくださしまして、ありがとうございます。六年目を迎えた我がクラブでは「ロボカップジュニア大会」への参加を主に活動してきました。この大会は自律型と呼ばれる、人が干渉せずに自らで判断し動くロボットにサッカー競技やレスキュー競技をさせて、技術を競う大会です。

このためにはロボットは判断するための必要な様々な情報を自らで得なければならず、これまでは様々な情報の一つ一つに対応したセンサーを多く取り付け、それらを組み合わせていく方法で対応してきました。しかし、大会のルールが改定され、難易度が上がり、これまでの方法では対応しきれない場合が増えてきました。そこで、わがクラブではセンサー多く取り付ける代わりにカメラをロボットに取り付けて画像を取り込み、その画像を処理・解析して必要な情報を抽出する画像解析という手法に取り組んでいます。

画像解析という手法は今や様々な場所で実用化されており、欠かせないものとなっております。この展示ではこの画像解析という手法について説明していきたいと思えます。

では、ごゆっくりとご覧ください。

高校ロボット同好会会長

第一章 画像解析って何？

<画像解析って何？>

画像解析とは、画像を読み込み、そこに写っている物の色や形を認識することです。

普通、ロボットが何か情報（色、光量だけ・・・というように）を取得するにはセンサーが使用されてきました。しかし、基本的に一つのセンサーは一つの情報しか取得できません（光量のみ、色のみ・・・など）。たとえば、カラーセンサー（色だけを認識するセンサー。詳しくは後述）は受光部分に入ってきた色しか取得できません。ほかの情報が欲しかったら、その情報専用のセンサーを搭載する必要があります。

しかし、画像解析は違います。一般的なセンサーは目が受け取る様々な情報の一つだけ（色、光量だけ・・・というように）しか取得することができないのに対し、カメラは、色や物の輪郭、大きさ、距離などのたくさんの情報を取得することができます。そしてそれらの情報を解析することで、まさに画像解析は人間の「目」と同様の働きを果たすことになります。

画像解析が実用化されている事例として、製品の欠陥検査があります。工業製品の欠陥検査のほか、形が一樣ではない農産物の選別などにも用いられます。また現在、ロボットが外界を認識するための方法として画像解析を用いることが考えられ、研究が進んでいます。

＜画像解析の利点＞

1. 複数の情報を同時に取得することができる

前述したとおり、カメラは同時に様々な情報を取得することができます。よって、複数のセンサーを搭載する必要がなくなり、ロボットに占めるセンサーの大きさが少なくなります。それと同時に小型化、低コスト化も実現できます。しかも、状況に応じて取得する情報を取捨選択することができます。例えば、早く情報を取得するために色情報だけ読み込むということが出来ます

2. センサーでは認識できない距離、光量でも動作する

例えば、屋内においてカラーセンサーで1 m離れたテニスボールの色を認識する場合を考えてみます。カラーセンサーがテニスボールの色を認識しようにも、どうしても外光の影響を受けてしまいます。つまり、正確なボールの色を認識することができません。

しかし、画像解析においては、カメラが人間の目と同じように、画像を認識、処理するので、外光による影響を受けにくいです。

＜画像解析の流れ、方法＞

画像処理の流れの一例として、

画像入力→画像変換→得られた情報の分類

というものがあります。この場合、まず対象とする画像を入力し、この画像に対して変換処理を行います。

変換処理の方法としてはさまざまなものがありますが、

- ・濃淡画像を白黒二値にする「二値化」
- ・濃度変化から物体の境界を見出す「エッジ検出」

などがよく用いられます。これらいくつもの変換処理を重ねて行うことで必要な情報の抽出を行い、最終的に得られた情報の分類を行います。

＜パソコンか、組み込みでやるか＞

一般に画像解析しようとする場合はパソコンで行うことが普通です。しかし、僕らが作るロボットはそこまで大きいものでもなく、バッテリー駆動を基本とすることからも、デスクトップパソコンや普通の大きさのノートパソコンを載せることは重量や消費電力、大きさの面からも、非現実的です。

なので、ロボットに搭載する小型で低消費電力なIC（後述の組み込みプロセッサやDSP）、小型パソコン（今、巷で噂のネットブックなど）などがよく使われます。

第二章 組み込みプロセッサでの低コスト画像解析

<組み込みプロセッサについて>

組み込みプロセッサとは超小型、超低消費電力のコンピュータのことです。携帯電話、ビデオカメラ、テレビ、DVDプレイヤー、洗濯機、炊飯器・・・などなど、身の回りにあふれているのです。まさにこの世で一番使われているコンピュータでしょう。

<組み込みでやる利点>

	組み込み	パソコン
コスト	安い(数百～数千円)	高い(数万～数百万円)
大きさ	ICのみ(約20mm四方)	パソコン
消費電力	電池(数mW～数十W)	コンセント(数十W～数千W)
開発	難しい	簡単

このように組み込みプロセッサでやることで、開発の難しさを除いては様々な利点が得られます。

<画像データについて>

画像データは小さな色のついた正方形で構成されています。この正方形を「ピクセル」といいます。また、ピクセルは画素ともいいます。ピクセルの量を表す単位として解像度があります。例えば解像度1200*800の画像は96万個のピクセルが集まってできていることになります。

<色空間（カラースペース）>

前述のピクセルとは色空間という形式に沿って、色を座標で示すことができます。色空間は三次元的に表現されます。具体的には、円柱や円錐、多角錐、球などで表されます。色空間の例として、RGBやYUV、HSI、HSVなどがあります。

・ RGB

RGBとは赤（Red）緑（Green）青（Blue）の3色の頭文字から来ています。この3色を混ぜ合わせることによって図1のようにさまざまな色を作り出すことができます。この形式は日常のあらゆるところに使われていて、カメラから情報を取得するときにもRGB形式が使われています。

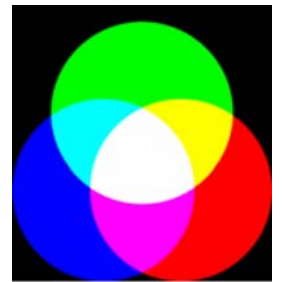


図1

・ YUV

動画によく使われる方式です。輝度（Y）と色差（輝度と青の差=U, 輝度と赤の差=V）の組み合わせで色を表現します。簡単にいえば、明るさの情報（Y）と、色の情報（U、V）の二つの種類の情報で成り立っているのです。

・ HSV

HSBとも呼ばれます。HSVとは色相（Hue）彩度（Saturation）、明度（Value）によって表現されます。色を色相（色味）と彩度の二つの情報で表すことにより、色を自然に表現することができます。明度とは明るさのことです。（図2）

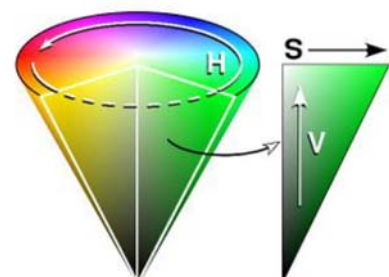


図2

・ H S I

H L S、H S Lとも呼ばれます。色相 (H u e)、色彩 (S a t u r a t i o n)、輝度 (L u m i n a n c e) の3つで表現される色空間です。前述したH S Vに非常に近い表現方法です。違いとしては、最後のアルファベットがV (明度) からI (輝度) に変わっただけです。輝度は明度と違い、より人間の目を見た場合の明るさに近いといわれます。

色相、彩度、輝度の三つに分類することにより、輝度で明るさがいくらなのか、色相で色の分類、色彩で画像のグレースケール(モノクロ画像)に変換することができます。

<二値化とは>

一般には対象の画像を白黒の二階調の画像に変換する処理のことをいいます。しかし、認識する物体が白黒以外の色であった場合、物体を認識することができません。しかし、白黒にこだわる必要はありません。例えば、黄色のテニスボールを認識する場合は、画像を「黄色」と「黄色以外の色」に分けるのも二値化にあたります。

<二値化の流れ>

カメラ撮影 → 画像の読み込み → 一番右上のピクセルを読み込む
→ 読み込んだピクセルを二値化 → 次のピクセルを読み込む
→ (画像の端まで繰り返し)
→ 画像の端まで到達したら下の列に移り、また右のピクセルから二値化
→ (一番左下のピクセルに到達するまで繰り返し)
→ 結果出力、終了

＜二値化の方法 単一手動閾値方式＞

今回、僕たちは数ある二値化の方法で一番簡単な「単一手動閾値方式」を採用しました。

この単一手動閾値方式とは、読み込んだピクセルの色情報の値があらかじめ決めておいた白と黒に分ける値である「閾値」以上か以下かを判断します。これを画像の全てのピクセルに行うことで、全体の画像を白黒二階調の画像に変換することができます。

＜カラー画像の二値化＞

先程、単一手動閾値方式は白黒二階調の画像に変換すると言いました。これを応用して、カラー画像の二値化を行いたいと思います。

今回は例として青色の物体を認識するときを考えます。まず、全体の画像を青色のピクセルか、青以外のピクセルに分けます。分ける方法としては「閾値」といわれる一定の値を設定し、読み込んだピクセルの値がその値以上だったら青、その値以下だったらそれ以外の色というふうに、分けていきます。もし、抽出する物体の青色より深い青色が存在した場合は青の値の上限範囲を設け、二値化していきます。

第三章 エッジ検出を用いた実践的画像解析

<エッジ検出とは>

物体の輪郭を認識することです。画像において輪郭とは画像の濃度の値が急激に変化するところです。これを取り出すことで輪郭を抽出することができます。処理に時間がかかるのでパソコンが向いています。

<輪郭の抽出>

輪郭の抽出について説明していきます。

前に画像を二値化しているので輪郭線をたどるようにして輪郭を抽出することができます。例として図のようなテニスボールの輪郭を抽出することを考えてみましょう。

(図1)

1. 画像の左上から右下へ順にピクセルを読み込み、輪郭を見つける。(図2)

2. その点の周りピクセルの左下から順に反時計回りにしらべていきます。(図3)

3. 左下から右のピクセルを調べて値が変わらない場合は物体の輪郭の点ではないので無視。1に戻ります。

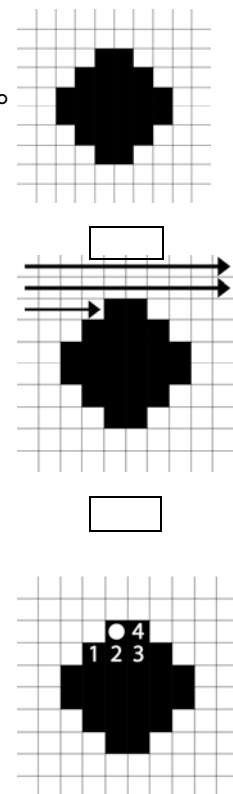


図3

4. 3で調べて最初に現れたテニスボールの画素を中心として、この周りの画素を反時計回りに調べていきます。

ここで重要となるのは、調査する最初の点をどこにするかということです。

右上から順にピクセルを調べてきたとします。いざ、ピクセルの周りを調べる際に、前回調べた右上のピクセルが今回調べるピクセルと被ってしまいます。これは処理速度の面やプログラムの安全性においても、よくありません。つまり、対象のピクセルの右上と上のピクセルはもう調べられているので、調べる必要はありません。つまり、左上から調べていったらいい訳です。

5. この操作を繰り返して、一本の輪郭線を見つけます。

6. 調べるピクセルが最初のピクセルまできたら終わり。

以上の要領でエッジ検出は行われます。この処理により、どんな形でも認識することができます。

第四章 画像解析とセンサーの比較

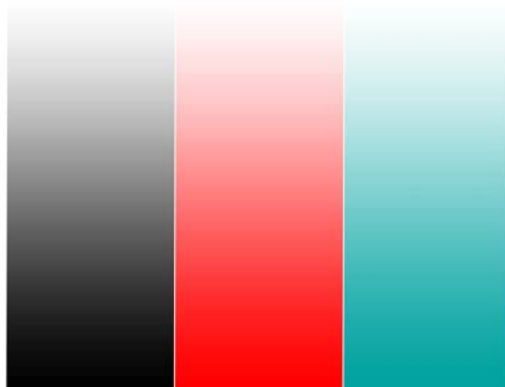
ここでは、画像解析だけにとどまらず、他の光関係のセンサーを紹介し、比較していきます。

<フォトトランジスタ>

フォトトランジスタとは、光の量を感じ取るセンサーです。また、「光の量」を擬似的に「光の色」として見ることも出来ます。

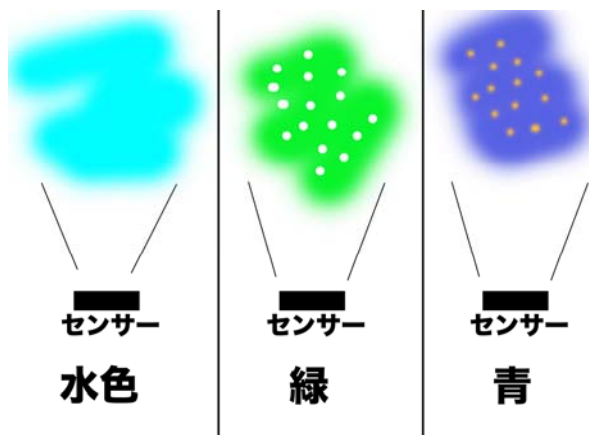
・ 実験

下のカラーテーブルを見てみてください。どれが暗いですか？どれが明るいですか？そして、それを元に色が分かりますか？



<カラーセンサー>

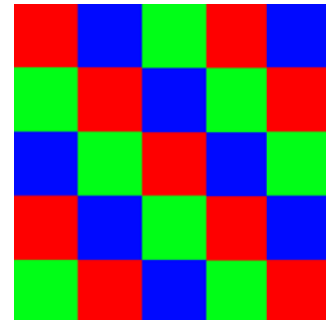
カラーセンサーとは色 だけ見ることが出来るセンサーです。フォトトランジスタに比べ、より細かく、より正確に見ることが出来ます。また、カメラは画像で情報を出しますが、カラー



センサーはその場の漠然とした「色」を感じ取ります。

・ センサーの説明

どうやって、色を見分けるのか。RGBで見分けます。このセンサーにはR、G、B各色専用の小さいフォトトランジスタが図のように並べられています。



これはカメラと構造が非常によく似ています。

カメラはこれを画像として出すのに対し、カラーセンサーは赤何個、緑何個、青何個と言うふうに光の情報を出します。

<具体的な比較 ロボカップのロボット>

ロボカップとは世界規模で行われているロボット競技の大会です。このクラブではロボカップジュニアといわれる部門に毎年出場しています。競技の種類として、サッカー、レスキュー、ダンスの三つがあります。

・ 55期レスキューロボット

55期が製作、レスキュー部門に出場したこのロボットは、前述の組み込みプロセッサと大量の光センサーを搭載しています。

レスキュー部門とは災害現場に見立てたフィールドで競技します。フィールドに引かれた黒い線をたどっていくことでゴールを目指します。途中、被災者にみたてた銀色、緑色のテープの上でロボットが止まると得点がもらえます。また、障害物をよけたり、坂を登ったりすることでも得点がもらえます。そして、最終的な合計得点で競います。

ライン専用には8個、銀色専用には4個、緑専用のカラーセンサーを1個搭載しています。その他にも方位、距離、タッチセンサーなどを搭載しています。組み込みプロセッサにはルネサス製 H8/3052 を

使用しています。

そして肝心の大会の結果ですが、センサーの量が多くメンテナンス性が悪かったことが仇となり、多数のセンサーの調整、メンテナンスが間に合わず、残念ながら入賞となりませんでした。

- ・ 53期レスキューロボット

53期が製作、レスキュー部門に出場したこのロボットは小型パソコンを搭載し画像解析を行います。二値化、エッジ検出両方の処理を短時間で行うことができます。しかし、パソコンが高価なこと、消費電力が普通のセンサーの使ったロボットに比べて高いなどの問題もあります。大会の結果は三位でした。

ここからわかることとしては、

- ・ センサーを搭載したロボット

制作費が安くできます。しかし、多数の情報を取得したいときは大量のセンサーをつけなければならないため、その分調整しなくてはならず、メンテナンス性が良くありません。

- ・ 画像解析システムを搭載したロボット

開発が難しく、パソコンを搭載するとなると制作費がかかります。しかし、多数の情報を一度に取得することができるので調整も少なくてすみます。

<総括>

	フォトランジスタ	カラーセンサー	カメラ(画像解析)
コスト	超安	安	高
性能	低	中	高
制御	易	普通	難
大きさ	極小(数 mm)	中(数十 mm)	中(数十 mm)

第五章 これまでの総括と画像解析の未来

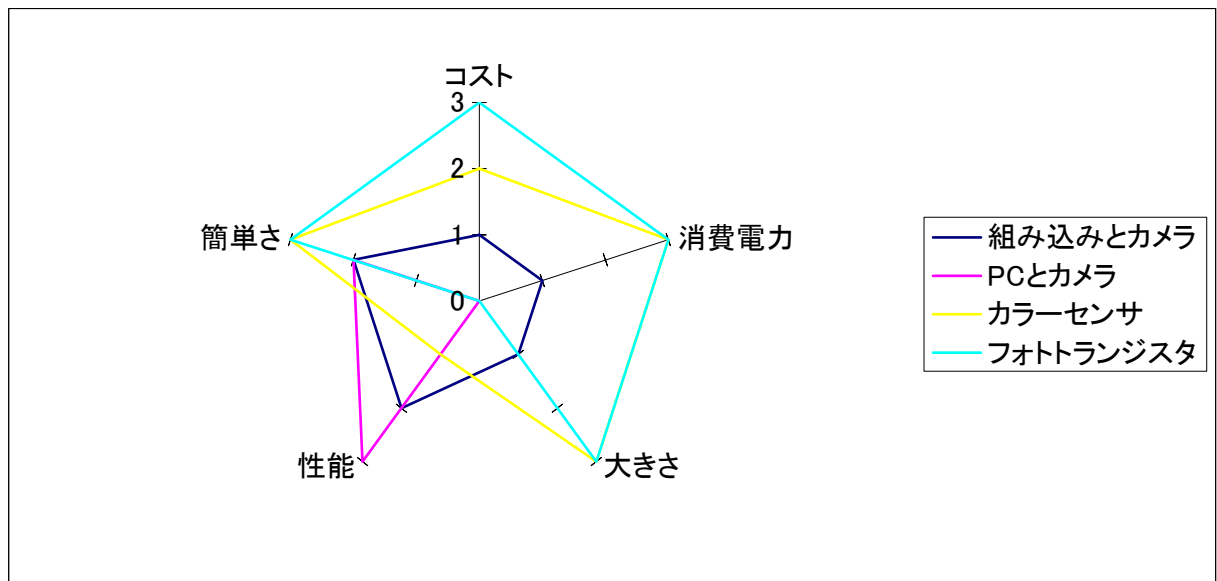
＜これまでの総括＞

下図のレーダーチャートにまとめてみました。

コスト：数値が上ほど安い 簡単さ：数値が上ほど簡単

性能：数値が上ほど高性能 大きさ：数値が大きいほど小型

消費電力：数値が上ほど低消費電力



一見するとフォトランジスタがかなり良さそうに見えますが、性能は悪いです。また、PC とカメラも、コストや消費電力は良くないですが、高性能です。

一概に、「これが良い」とは言えません。やはり、状況と用途に応じて最適な手法を選ぶのがよいです。

＜組み込みプロセッサでの画像解析のまとめ＞

パソコンに比べてのコストパフォーマンスは高いです。また、消費電力、大きさの面からもロボットに向いている画像解析であるといえます。しかし、開発はパソコンよりも難しく、性能もあまり良くありません。低コストのロボットや小型のロボット、バッテリー駆動のロボットを作りたい時に適しているといえます。また、メインはパソコンで画像解析、補助的に組み込み、などという使い方もあります。

＜超小型パソコンでの画像解析＞

パソコンは他を全く寄せ付けない処理能力が売りです。また、組み込みより簡単に開発することができます。しかし、消費電力の面においては小型ロボット、バッテリー機器には適しているとはいえません。最近では低消費電力のものも出てきましたが、依然、組み込みやセンサーとの差はかなりあります。また、コストパフォーマンスも悪く、複数個つけたいときや、低コストのロボットを作りたいときはあまり向いていないといえます。大規模なロボット、外部電力供給が可能なロボットに向いているといえます。

＜カラーセンサーやフォトトランジスタ＞

ソフトウェア（プログラム）が簡単、もしくは必要ないので電子工作初心者や開発期間を抑えたい人に向いています。値段も安く、工作事例もたくさんあるので非常に開発しやすいです。しかし、画像解析のような汎用性、正確性はありません。構造が簡単なロボットや徹底的な安さを求めるロボットに良いでしょう。

＜画像解析の未来＞

今まで以上に画像解析の技術が身近になっていくと思います。現在も、デジタルカメラの顔認識、農産物の選別、工業製品の不良品識別など様々なところで使われています。

ロボットにおいても外部情報取得の方法として昔から取り入れられてきました。これからは、研究室の中というあまり障害のない世界にしか対応できなかったロボットの画像解析が、一般社会のいろいろな障害やイベントの多い状況下で対応できる、高性能な画像解析技術が登場すると思われます。

また、ロボット以外で使われてきた画像解析はさらなる低コスト化が望まれます。ある程度の性能をもった画像解析の技術が確立した今、組み込みプロセッサなどを使って今までと同等の性能を持ちながらも、今までよりもっと安くなっていくでしょう。

＜これからのロボットの目は画像解析 or センサー？＞

レーダーチャートから考えるとロボットの目としてはセンサーが適していると考えられます。しかし、エンターテイメントの面から考えるとどうでしょうか？昔からいろんなメディアを通して描かれてきたロボットのイメージとして、センサーから情報を読み取るというよりもカメラから情報を得るという方がしっくりくると思いませんか？そして、ロボットというのは見る人を驚嘆させるものであり画像解析は十分にそれに値するもだと思います。無論、現実的に考えても画像解析は性能、汎用性の面はセンサーを凌駕しています。よって画像解析も十分ロボットの目としての要素をもっています。

以上のことにより、ロボットの目は画像解析、センサーのどちらともがあてはまります。

もし、画像解析に欠けた要素（簡単さ、コスト、消費電力、大きさなど）を補いたい場合は画像解析とセンサーの併用などが考えられます。併用することでお互いの欠点を補完しあうのです。

いずれにせよ、画像解析、センサー、これら二つがこれからいろいろなロボット活用されて行くにつれ、ロボット製作の幅が広がっていくと思います。

参考文献

- ・ T・ブラウンル著 香川博之訳 2007年4月
組込みロボット工学入門 シュプリンガー・ジャパン株式会社
- ・ CQ出版 Interface 2002年1月号
- ・ 浜松ホトニクス株式会社 デジタルカラーセンサ

S9706 データシート

- ・ 画像処理におけるアルゴリズム

<http://homepage2.nifty.com/tsugu/sotuken/ronbun/sec3-2.html>

- ・ DTV かくし味 YUV と RGB の比較

<http://dtv.sakura.ne.jp/contents1/004.htm>

- ・ wikipedia 色空間

<http://ja.wikipedia.org/wiki/色空間>