

画像処理の基礎

加藤 博一* 井口 征士*

1. 画像処理とは

人間は、目や耳などの感覚器より得た情報を基に環境を認識し、行動する。コンピュータも科学計算や事務処理のための数値演算を行うかぎりでは、そのような感覚器は必要とされなかったが、外界の情報を取り込み、計測や認識をさせるためには何らかのセンサを必要とする。なかでも、人間の目に代わる視覚センサは、産業用ロボットや自動検査システムにおいて、非常に重要なものとなっている。はがきの郵便番号を自動的に読み取り、仕分けを行うシステムは、視覚センサをもつロボットの代表的なものとして有名である。

画像処理とは、このような視覚センサから得られた情報を入力として行う処理のことである。これには様々な分類方法があるが、表1のように出力される情報の違いから2つに分類することができる¹⁾。1つは画像自体を

表 1. 画像処理の分類

出力 入力	画像・図形	記 述
画像・図形	狭義の画像処理 (画質改善・ 画像変換)	画像解析または認識
記 述 (数値・記号) データ	コンピュータ グラフィックス	他の情報処理一般

出力とするもので狭義の画像処理と呼ばれ、劣化した画像やノイズの混じった画像を人間にとって見やすい画像に変換する画質改善などの処理が含まれる。最近、惑星探査衛星より送られてきた惑星表面の鮮明な写真を新聞等で見かけるが、これらの画像は、画質改善技術を駆使して生成されたものである。もう1つは、入力された画像を様々な目的に応じて解析し、計測結果や認識結果を画像ではなく記述として出力する処理のことである。工場における目視検査システムや子宮癌などの検診に使われている自動細胞診装置は、この画像認識技術の応用例

である。食品と関係のあるところでは、キュウリなどの野菜を形状や大きさから自動的に分類するシステムなどがある²⁾。

ここでは、画像処理の基本的な技術として、2で画質改善、3で形状分類の簡単な処理の例を紹介する。4では、近年検査システムなどで実利用化が定着してきた3次元画像処理について述べ、さらに、5では最近注目を集めているカラー画像処理について概説する。

2. 画質の改善

カメラから画像を入力するとき、ピントや露出の調整により画質が大きく左右される。画像の入力環境が安定している場合には、事前にうまく調整することにより常に良い画質が得られるかも知れないが、入力環境が不安定な場合、ピントがぼけたり露出不足になる場合もある。また、遠くから伝送されてきた画像には、その途中で多くのノイズが入ったり、信号が劣化してしまうかもしれない。そのような画像は、人間にとって非常に見にくいものである。これを見やすい画像に変換する処理が画質改善処理である。

図1(a)は、暗い場所で撮影した画像例である。画像が全体的に暗くはっきりと細かな部分が見えない。この画像のヒストグラムが(b)である。コンピュータの取り扱う画像はデジタル画像と呼ばれ、画像平面を正方格子状に分割し、各格子点(これを画素と呼ぶ)の明るさを数値に置き換えたものである。つまり、長方形状に縦横整然とならべられた数値の羅列に過ぎない。ヒストグラムとは、その数値の頻度をグラフにしたものである。このヒストグラムから、この画像では0から85までの数値しか使われていないことがわかる。これは、画像が全体的に暗くコントラストが低いことを表しており、実際の画像から見て取れることと一致している。この画像を見やすいものにするには、ヒストグラムが0から255の範囲全体に広がるように数値の置き換えをすれば

* 大阪大学基礎工学部制御工学科

画像処理の基礎

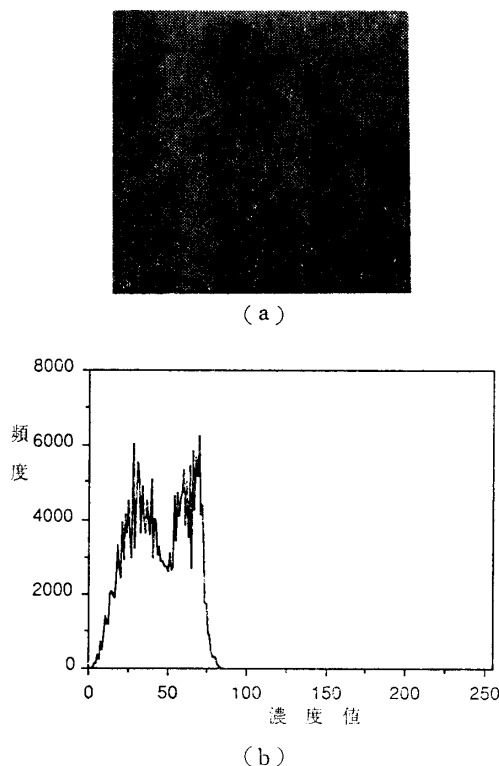


図 1. (a) 入力画像, (b) ヒストグラム

よい。そこで、85が255に対応するように線形変換した場合の画像とヒストグラムを図2に示す。図1に比べ、明るさやコントラストが改善されたのがわかる。

図3は、ピントのぼけた画像の例である。このような

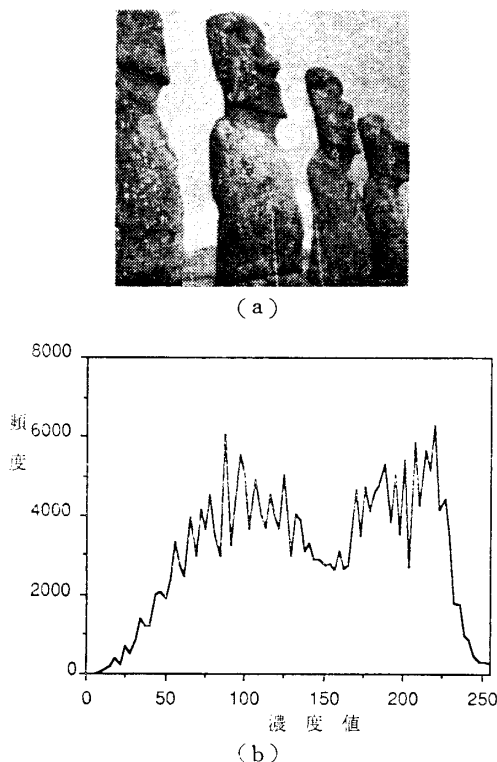


図 2. (a) 変換後画像, (b) ヒストグラム



図 3. ピントのぼけた画像

画像では、本来濃淡の急激に変化しているエッジがぼやけ、なだらかな変化を見せる。これは、画像信号の高域の周波数成分が弱められたと考えることができる。そこで、高域の周波数成分を強調する処理を行うことにより、エッジのはっきりとした画像が再現される。もっとも簡単な例として、図4のマスク（加重マトリクス）を画像全体に畳み込む手法がある。加重マトリクスの畳み込み

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

図 4. 加重マトリクス

は画像を操作する最も基本的かつ簡単な処理で、マスクの値を変更することにより画像の様々な特徴を抽出することができる。この場合、以下の式の演算が全ての画素に対し行われる。

$$g(i, j) = 5f(i, j) - [f(i+1, j) + f(i-1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1)]$$

図5は、その結果である。(a)は1回、(b)は2回の畳み込みを行った画像である。それぞれ図3と比較して輪郭が引き締まったのがわかる。しかし、(b)では高域が強調され過ぎて、逆にコントラストのきつい画像になっている。

このほかにも画質改善技術としては、高速フーリエ変換を利用した空間周波数領域でのフィルタリング処理など画像の性質や目的に応じ多くの手法が提案されている。

3. 形の識別

視覚センサを利用した自動検査システムや自動分類システムでは、センサによって得られた画像に対し計測や解析をする必要がある。ここでは、簡単な例として図6の画像から、円と四角形を分類する処理を考える。先にも述べたように、デジタル画像は明るさを表す数値の羅列に過ぎない。つまりこのままの画像では、どこに物体があるのかということも、コンピュータには認識でき

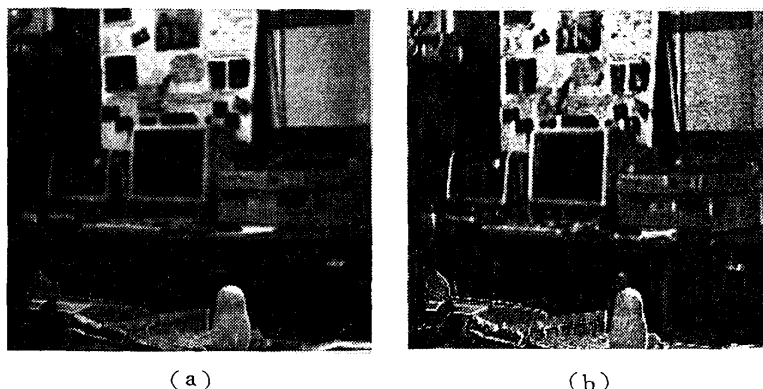


図 5. 高域強調処理を施した画像 (a) 1回, (b) 2回

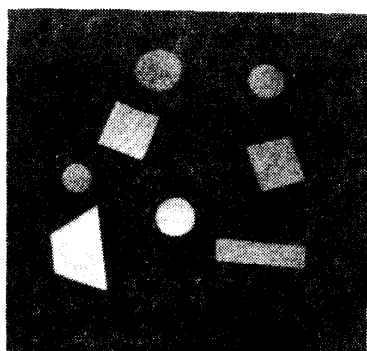


図 6. 積木の画像

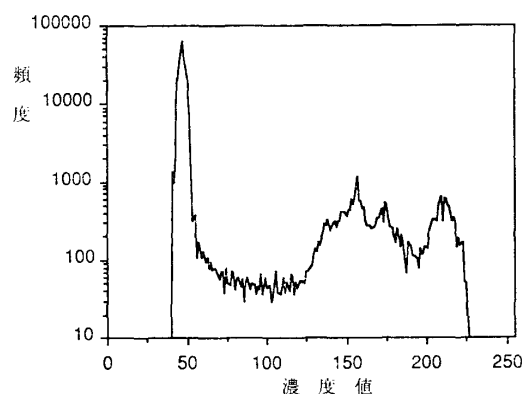


図 8. 図6のヒストグラム

ない。そこで、まず濃淡の値が150以下の画素は0, 151以上の画素は1という値に置き換えてみる。図7は、0を黒, 1を白で表した画像である。このような2つの数値のみからなる画像を2値画像と呼び、この処理を2値

化という。図7では、黒が背景、白が物体の領域を表していることがわかる。しかし、この画像では物体領域が完全には抽出されていない。これは2値化に使用した150という値(しきい値)に起因している。そこで、図6の画像のヒストグラムをとって見たのが図8である。このヒストグラムには山が2つあり、濃度値の低いほうの山が背景の領域、濃度値の高いほうの山が物体の領域を表していると考えられる。この2つの山の間の谷の最

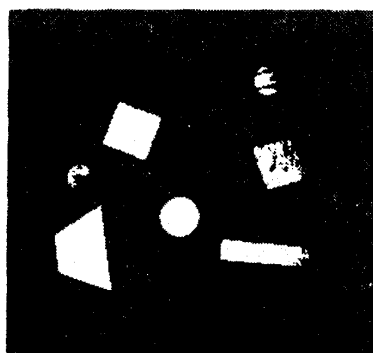


図 7. 図6の二値化画像

小値86をしきい値として2値化を行った画像が図9である。この画像では、背景と物体との境界がきれいに現われているのがわかる。このしきい値の決定方法はモー

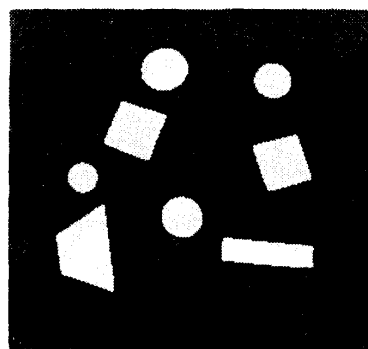


図 9. 図6のモード法による二値化画像

ド法と呼ばれ、背景と物体の濃度差が大きい場合に利用される。他にも画質状態により、様々な2値化手法が提案されている。

次に、画素値が1の物体の領域に注目し、画素が連結する一塊の領域毎に1からの数値を順に割り当てていくラベリング処理を行う。この処理により、画像中の物体の数がわかる。また2つの異なる画素が、同一の物体の領域に属するのか、異なる物体の領域に属するのかもわ

画像処理の基礎

かる。ラベル画像では、各物体領域を独立に取り扱うことができる。つまり、各領域の特徴を計測し、その値を解析することにより、認識や分類を行うことができる。

領域の形状的特徴を表す量の中で、最も容易に計測できるものに面積と周囲長がある。面積は、同一のラベルの与えられている画素数を数えればよい。周囲長は、背景と接する画素を追跡すればよい。このとき通常、縦横方向に連結する場合は長さ1、斜方向に連結する場合は長さ $\sqrt{2}$ として計測する。円と四角形の分類に対しては、

$$(\text{複雑度}) = (\text{周囲長})^2 / (\text{面積})$$

の式で定義される複雑度が利用できる。円の場合、この値は常に 4π であり、四角形の場合は16を最小とする。そこで、この中間にしきい値を設定することにより、円と四角形は分類できる。表2は、図9の画像の各領域に対して重心、面積、周囲長、複雑度を求めたものである。

表 2. 抽出された特徴量

ラベル	重心(x, y)	面積	周囲長	複雑度
1	214.0, 84.9	2742	190.3	13.2
2	363.3, 99.9	1747	152.3	13.3
3	173.7, 168.7	4138	255.9	15.8
4	376.8, 213.4	3985	251.0	15.8
5	101.6, 234.1	1213	127.0	13.3
6	238.5, 286.9	2265	173.1	13.2
7	107.8, 333.0	6014	325.9	17.7
8	355.8, 335.7	3676	306.6	25.6

このほかにも様々な特徴量が定義されており、目的に応じて利用される。簡単なものとして、おおよその大きさを表す外接長方形、向きを示す主軸方向などが、よく使われる。

4. 三次元画像計測

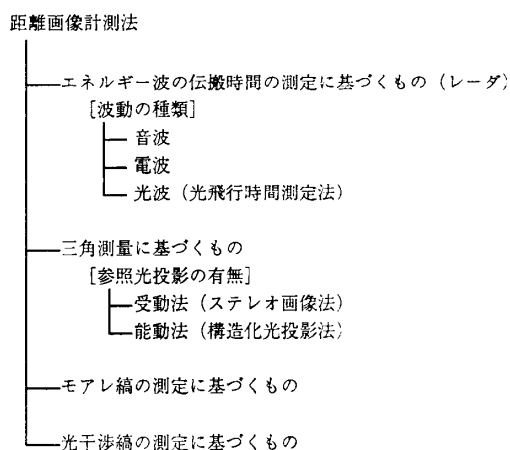
カメラで捕えた画像は、通常2次元的な情報しか持ち合わせない。しかし、移動ロボットなどでは空間の認識能力、すなわち、3次元計測機能が必要となる。非接触で3次元計測を行う方法は、すでに数多く提案されており、限定された環境においては安定した計測のできるシステムも実現されている。このため最近では、工場内の多くの検査システムにおいて3次元計測装置が利用されるようになった³⁾。

3次元計測の原理は、表3のように分類できる。以下ではこの分類に基づき代表的な計測方法について概説する。

4.1 光飛行時間測定法

こうもりが超音波を利用して距離を計測しているのと同様に、対象物体に向けエネルギー波を発射し往復にかかる時間から距離を求める方法がある。光飛行時間測定

表 3. 距離画像計測法の分類



法はこの1種で、エネルギー波としてレーザー光を用いたものである。レーザー光を照射し反射光を受信したときの時間差や位相差により距離を計ることができる。このレーザー光を走査することにより距離情報を画素値とする画像（距離画像）を得ることができる。しかし、光は伝搬速度が速いため飛行時間を精度よく計測するには、高度なデバイス技術を要する。

4.2 ステレオ画像法

三角測量法は、最も一般的な測距の方法である。人間の視覚が3次元的な情報を獲得するのも2つの目による三角測量に基づいている。

図10のように2つのカメラを左右に並べ、その視差から距離情報を得ることができる。この方法は受動ステ

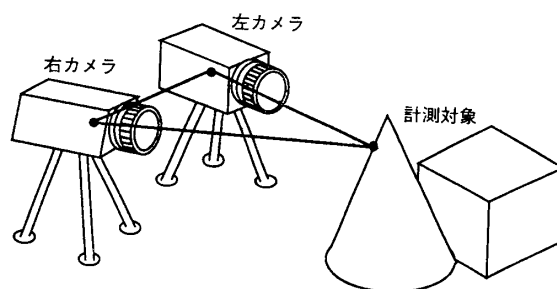


図 10. ステレオ画像法の原理

レオ法と呼ばれるが、左右の画像に写る対象の対応関係を検出しなければならない（対応点決定問題）。人間の視覚はこの処理を無意識のうちに行っているが、計算機にとってこれは非常に困難な問題の1つで、現在のところ実用にはいたっていない。

4.3 構造化光投影法

ステレオ画像法における対応点決定問題を避けるため、一方のカメラを光を投影するプロジェクタに置き換えた方法が能動ステレオである。投影する光として、スポット光・スリット光・特殊なパターン光と様々な方法が提案されており、それぞれ特徴が異なる。これらの方法は

安定な距離計測が可能で、工業応用として利用される3次元画像センサのほとんどがこの原理に基づいている。

図11は、グレイコードパターンを用いた空間コード

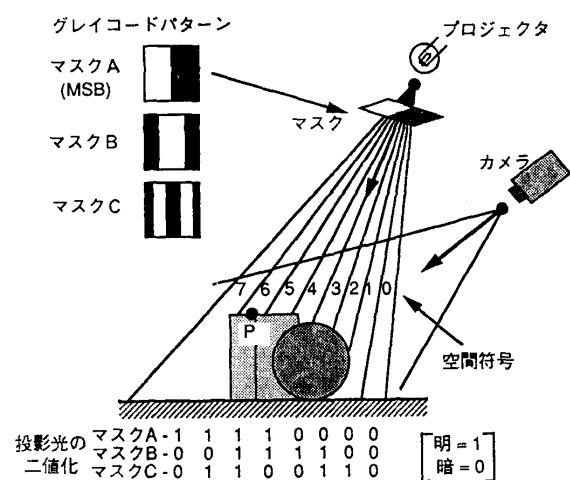


図 11. 空間コード化による能動ステレオ法の原理

化による能動ステレオ法の原理図である。n枚のグレイコードのマスクを切り替えプロジェクタから投影することにより、空間が 2^n の領域に分割される。各投影をカメラで観測し2値化を行うことにより、プロジェクタからの角度情報からなる画像(空間コード画像)が得られ、この画像とカメラパラメータから距離画像が生成される⁴⁾。

4.3 モアレ計測法

モアレ計測法とは、格子縞光を対象に投影し、その対象を格子スリットを通して画像入力することにより、等高線パターンを表すモアレ縞画像を得る方法である。この方法は高速計測が可能で、人体計測の分野で広く用いられている。しかし、基本的に等高線の相対位置しか得られず、絶対的な3次元位置情報が得られないところに問題がある。

5. カラー画像処理

最近では、カラー CCD カメラなどのカラー画像を入力するためのデバイスや入力された画像を蓄積するメモリ、高性能なプロセッサが普及し、容易にカラー画像を取り扱えるようになった。また、濃淡画像では処理が困難な対象に対しても、カラー画像を利用することにより問題が解決できる場合も数多く存在し、カラー画像処理は盛んに研究されるようになってきている。

カラー画像は通常、R(red), G(green), B(blue)の3原色の濃淡画像の和として表現される。つまり、濃淡画像処理における従来の技法がそのまま利用でき、初期の研究においては単なる濃淡画像処理の延長上に位置づけられていた。しかし最近では、このような濃淡画像処

理の延長ではなく、カラー画像特有の情報を利用した処理の研究も行われている。例えば、これまでの画像処理では邪魔なものとして取り扱われていなかったハイライト成分を抽出したり、また削除することによりハイライト成分のない画像を生成する処理がある⁴⁾。この処理を前処理とすることで、従来困難とされていたハイライト成分を含む画像の計測や認識が可能となる。また、物体に既知の照明をあてたときの画像から、その物体の反射特性を解析することにより材質を判断させるという研究もある⁶⁾。このような研究は、幾何学的な特徴の計測に偏重していた画像認識研究に新たな展開をもたらすものと期待されている。

6. まとめ

人間にとって視覚はもっとも重要な感覚機能であり、環境の認識のために不可欠なものである。コンピュータが、単に数値計算をするだけでなく、人間の行動を代行するロボットの頭脳として利用されるとき、その視覚機能に当たる画像処理技術もまた、重要な役割を果たす。現在の技術レベルでは、人間の視覚ほど自由度のある環境認識能力をもつものはできないが、限定された環境においては、精度、時間、再現性などの点において人間を越えるものも数多くある。しかしながら、人間の感性に委ねられた認識能力、例えば、絵画の鑑賞能力や顔色を見る能力などは、現在のところ人間の足元にも及んでいない。今後の研究課題としては、既存技術に対するロボаст性の向上、高精度化、高速化の追及は言うまでもなく、このような感性にかかわるコンピュータの苦手とする領域に対しての研究も盛んになるであろう。

文 献

- 1) 田村：“コンピュータ画像処理入門”，総研出版，1985
- 2) 野村：“農業分野における検査ロボット”，日本ロボット学会誌，Vol. 4, No. 5, pp. 548-553, 1986
- 3) 井口：“画像入力による3次元画像計測”，映像情報，Vol. 16, No. 12, pp. 19-24, 1984
- 4) 佐藤他：“液晶レンジファインダー液晶シャッターによる高速距離画像計測システム”，電子情報通信学会，Vol. J 71-D, No. 7, 1988
- 5) Klinker, G. J., et al., “Using a color reflection model to separate highlights from object color”, 1st ICCV, pp. 145-150, 1987
- 6) 橋本他：“カラー画像・距離画像からの質感(反射特性)抽出に関する基礎研究”，第7回センシングフォーラム，pp. 63-68, 1990