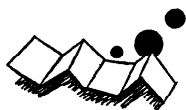


解説

1980年代の画像処理†



坂井 利之††

1. はじめに

1980年代の画像処理という標題で、シンポジウムで話してほしいと電話で依頼された。その後、シンポジウムのプログラムを学会誌に小特集として載せることになったといわれたが、今さら引き下ろすこともできない。したがって、この文章を無責任な話し言葉の記録と考える程度と、真面目な書き言葉の中間くらいに位置しているものとして読んでもらいたい。そもそも無責任であろうが真面目であろうが、10年間もの間の動向、展望をやるものではない。ここでは、現在の動向から予測がある程度つきやすいもの、あるいはシーズやニーズから考えて、かくなってほしい、このようになっていくのではないかとことを拾ってみたい。それらは次の2つに分かれる。その一つは、1980年代後半で常識となっていること、珍しくなくなっていることで、これは外挿的予測のものである。他の一つは、1980年代後半でトピックスとなっていることで、これは新しく生れてくるか、あるいは急速に発展したものであろう。

2. 1980年代における画像処理の位置づけ

2.1 画像処理の定着

マイクロエレクトロニクス、中でも超 LSI 技術の革命的進歩と低価格化・普及、光ファイバ伝送技術の進歩、人工衛星の利用などによって、画像処理は1980年代には、情報伝送、情報処理の中心的課題の地位を獲得し、定着するであろう。

画像のもつ膨大な情報量に阻まれて、人間とか動物の感覚器に対し画像が占めている割合と重大さに反して、機械処理の対象として画像はほとんど考慮の範囲に入らなかった。データ処理分野からの要求により、現在では文字読取装置がようやく実用普及の段階に達し、濃淡画像の処理は、資源探査、気象、環境、人体などの遠隔探査の分野で、徐々に日常業務化している

。特に近年、電気通信、観測・計測系の画像伝送コストの低減によって、これとバランスのとれた画像処理の確立を急ぐ必要がある。中でも、静止画像のファクシミリ伝送やデータベースへの蓄積・検索は、ドキュメント画像の処理のニーズを高めている。また光ファイバの装置内、建物内での利用、衛星や人体からの観測データは、濃淡画像、動画のモニタ処理、選別処理の需要をひき起こしている。

換言すれば、1950年代後半からの人間社会におけるテレビ普及への対応時代が、1/4世紀遅れて人間・機械共存社会におけるコンピュータ画像処理への対応になってきたと言える。この考え方は、電気通信において、デジタル総合通信網として、音声、符号、文字、ファクシミリ、画像の総合化が共通概念として存在しているように、画像処理が1980年代には、人間との共存性をよりよくするものとして、揺ぎのない地位を占めるものとなろう。人間との共存性では、TVのようなソフト画像、新聞、雑誌などのハード画像との配分についても、80年代には決まっているであろう。

2.2 画像処理技術

画像処理応用の定着と共に、現在のデジタル技術万能に対して、専用のアナログ技術が巻き返しをはかるであろうが、はたしてどこまで戻せるかは、あまり期待できない。大量生産と技術の進歩、価格の低下が期待できるデジタル技術に対して、少量で受注生産的なアナログ技術は、ちょっと苦しいだろう。一次元的な走査による画像の入力、出力の現在の方法が、面素子、光学素子の発達によって、どれだけ対抗できるかが分れ道となろう。機能のソフトさ、応用分野の適応性などではデジタル技術、ファームウェア技術が優れているので、アナログ的なハードウェアの開発は、各種のシステム素子に集中するであろう。その有力候補としては入力装置、出力装置、記憶装置が考えられるが、アナログ的な処理は、特殊用途のものに限られるだろう。

画像処理の役割は、応用分野によって機能も性格も

† Image Processing in 1980's by Toshiyuki SAKAI (Dept. of Information Science, Kyoto University).

†† 京都大学工学部情報工学

かなり変わってくるが、大別すると次のようになる。

産業分野……生産ラインのモニタ、品質管理・検査用、ロボット（生産および医療）

社会分野……交通・会場内のモニタ、防災・救急・医療・公害・環境関係の監視と画像処理

通信分野……生活情報システム、教育・趣味・ゲーム用の画像処理、電話回線級伝送用画像処理、広帯域伝送用画像処理

機能の配分問題は、いつの時代でも古くて新しいテーマであり、特に画像処理に特有のものではない。有線と無線が車の両輪のようにいつも競争の立場にあり、いつも新しい発展を遂げてきたように、画像処理でも発展する両輪がほしいものである。画像処理で、処理機能の分担、配分を次のように考えることもできる。

伝送処理……通信伝送のための画像処理；冗長度圧縮、速度変換、符号器・復号器の構成

前処理……本処理の前段階の画像処理；本質的な階層的、段階的処理の前段；情報フィルタ

分散処理……画像処理の機能分散；並列処理による高速化、負荷の平均化

分散処理は、処理をする空間的場所の相違、処理をするハードウェアの相違などが関与するが、どこで、どれが処理をするかという点に関しての必要性は特にない。これに反して伝送処理では、通信路でのデータ圧縮、秘密性の保持など、明確なシステム評価意識の下に処理されるものである。また前処理は、本処理の質的評価に本質的に関係する前段階の処理や情報内容による自動選別を行う情報フィルタを含むものである。しかし分散処理においても単なる代替機能、例えばどれで処理をされても差のない負荷配分的なものだけではない。その内容は以下で明確になるように、画像処理システムの評価、処理レベルの階層性などから、機能配分の望ましい形態がうちだされる場合も含む。

3. 画像情報処理の基礎手法

3.1 画像情報処理のサイクル

画像情報処理を次のような三つのサイクルで考察することにする。

(i) 理論→技術→応用

ニーズ→システム設計と要素機能→開発

・基礎理論とかモデルがあると爆発的、急激に発達する。画像処理は1980年代にこの分類の中に入りうるか。top down と bottom up の手法が重なり合うところまで成長するか否かが分かれ道である。

・画像処理がニーズに応じ、cut and try の設計（指導方針）から脱却できるためのガイドライン、アルゴリズムは何であろうか。部分的には指針が見い出されるであろう。

(ii) 知能端末→通信網→コンピュータ画像処理

・画像処理の機能分担が、知能端末(E)と中央コンピュータ(C)とでどうなるか。また処理と通信への全処理時間の分配、所要費用の配分の考え方と比率はどのように動いていだろうか。

・通信網内における画像処理、あるいは網を利用したVAN（付加価値）業務のようなサービスは、1980年代に出現するか。そしてその産業規模はどれくらいであろうか。

・通信に情報処理の思想と技術が大幅に入る。つまりブラックボックスとしての扱いでなく、情報内容についての知識の導入が、処理の各レベルで実施され、通信技術の大変革を起こす。

(iii) 観測（獲得）画像→画像概略処理→観測対象ならびに環境の制御

・画像処理の初期結果、中期結果のフィードバックが最終結果をうるまで何回となく繰り返される。

・画像処理の安直処理ハードウェアやシステムが、データセンサ代替として計測・制御システムに採用される。

・画像処理の実時間要求が、産業や社会分野で激増すると共に、パターン理解システムを中軸とするオートメーション時代への突入が始まる。

3.2 パターン理解システムのブロック図

一般的なパターン理解システムを考える。観測対象となる物体、これをとりまく環境世界ならびに機械によるパターン認識・理解システムおよびパターン理解システムを汎用化し、また補完する意味でのマン・マシン・システムが並置されたのが最も一般的で、そのブロック図を示すと図-1となる。

パターンは、画像、音声、文書ドキュメント、三次元物体など、そのいずれでもよい。特にこのブロック図でキーワードとなる単語として、パターン認識、人工知能、ロボティクスを挙げ、これらを簡単に説明しよう。

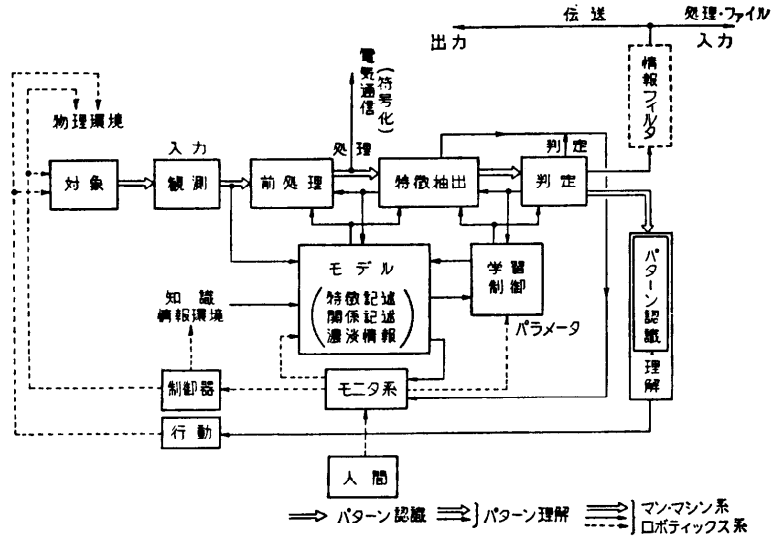


図-1 パターン理解システムのブロック図

(a) パターン認識とパターン理解

対象—観測—前処理—特徴抽出—判定のブロックを一方的に進むのがパターン認識で、その流れに対し、処理の進み度合いに応じて図のモデル、学習・制御の二つのブロックが、相互にデータや情報を交換して、パターン認識の処理を効果的に行うのがパターン理解である。

パターン認識の系列のブロックからモデル、学習・制御のブロックへ向けての矢印は、いわゆる bottom up の情報であり、これと逆方向の top down の知識とを利用して理解を進めていくのがパターン理解である。矢印が双方向に向いている共通のブロックは、特徴抽出、判定のブロックである。bottom up, top down の両手法については、後で詳しく説明する。

モデルと学習・制御のブロックが、パターン認識系列のブロックとの間で行う相互作用は、人工知能の分野である。ロボティックスの世界では、絶対的・客観的な観測対象などは存在しない。存在するのは、観測する主体、観測される客体とその環境世界で、しかもこれらは相互に強く関連しあっているとしてとらえる立場である。

画像情報処理の場合、例えば物理環境としての照明が暗すぎることが処理中に判ってくれば、照明をより明るくするように制御するのもロボティックスの世界での話として初めて可能である。TV カメラの位置が悪くて、対象の隠蔽などが起こっていれば、カメラの位置を動かすことも環境制御になる。

対象そのものの制御に関することは、ロボティックスの中心課題である。Robotics の名前は、最初 hand eye project として、積木の世界の machine vision, ロボットの手による制御から出ている。機械の目の観測対象である積木は、ロボットの手によって一つの積木ブロックがつまみ取られると、対象の積木の世界は変化する。このように制御とか行動の結果によって、世界が変わるのを本質としてとらえるのが、ロボティックスの世界での扱い方である。

コミュニケーションの世界もロボティックスの世界である。物の動きこそないが、コミュニケーションで情報を与えると、それを受けた人や機械は、その世界、知識、考え方、行動を変更することになる。情報とは、そもそもこのような変化を起こすために与えようとするものであり（広告、宣伝の場合）、知識を獲得し、より深い理解が可能となるために、人間は本を読み、雑誌を調べ勉強するのである。したがって、マン・マシン・コミュニケーションや Q & A システム（質問応答系）の設計なども、すべてこのような立場においてのみ、実状に即したシミュレーションや理論が展開できるのである。

(b) 人工知能的接近

人工知能の中心課題の画像処理での展開について述べよう。図-1 のブロック図でモデルに関連したものとして、画像情報の記述と表現、モデルの構築、知識の表現・適用などがある。また、学習・制御のブロックに関連して、パターン理解のために、制御とか観測

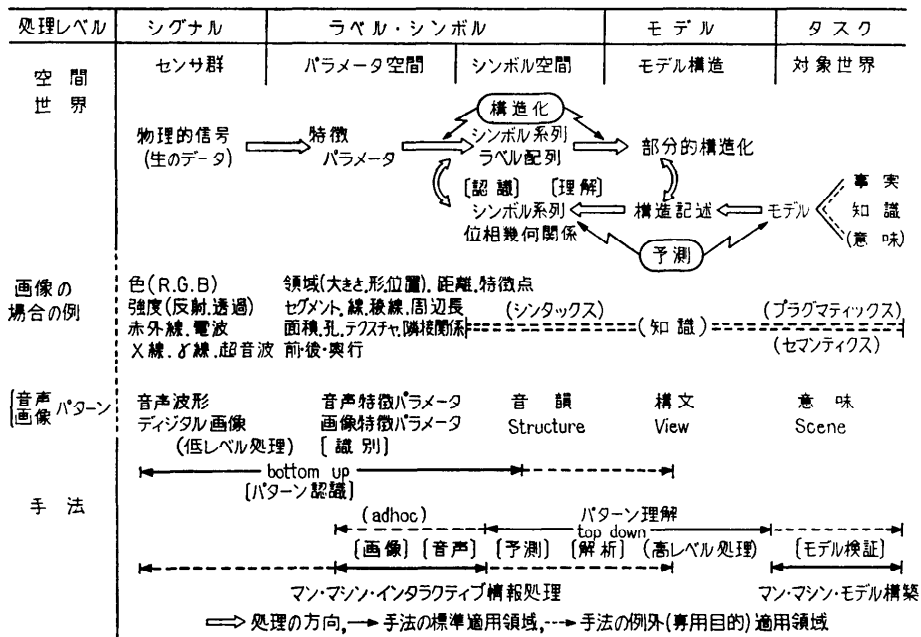


図-2 パターン情報処理の階層性

の手順の選択や決定, 学習によるモデルの修正がある。現在までに得られている結果から推論して, 可能性のある候補の予測をモデルに従って実施すること, これらと実際との照合や同定のループを繰り返すアルゴリズムの制御もその一例である。

パターン認識や理解は, 目的があるから実施するのである。データベースへの蓄積とデータベースからの検索のための画像処理, 記録とか分類動作を行うためのパターン理解など, すべて処理目的をもっているから処理が可能なのである。2.2 で述べたように, 通信伝送のための伝送処理としての画像処理, 本処理のための情報フィルタによる情報内容の選別などもすべて同様である。これらは図-1 において電気通信 (符号化) と記した矢印, 情報フィルタと記したブロックから処理・フェイルとして示されているルートをとるための処理である。

3.3 パターン情報処理の階層性

図-2 に音声パターン, 画像パターンの理解システムにおける処理の階層レベルと, それぞれの階層において利用される手法を示す。パターン情報の理解システムにおいて採用される手法は, 大きくは bottom up 手法と top down 手法とに大別できる。

(a) top down 手法

top down 手法とは, 入力パターンがどのような応用分野 (タスク) で利用されている話し言葉であるか, あるいはどのような対象世界から得られた画像情報であるかを, 機械システムがあらかじめ知っているとは仮定したとき成り立つ手法である。そのタスク内での事実関係, 使用される文章や画像の構造知識, 話し言葉に使用される単語の数とその語彙, あるいは画像内に存在する物体の種類などを, システムが先験的, あるいは学習の結果知っている場合に適用可能な方法である。

画像にしても音声にしても, 実際上の応用を考えると, このタスクの存在を仮定することは, 特に著しい制限とは考えられない。単に先験知識として持っているだけでは, タスクの複雑度が大きいときはあまり威力を発揮しないので, 今現在までの処理結果でわかっている事柄を最大限に利用し, この状況下で, さらにモデルにより解析・予測して, 正解になる可能性の大きいものを選択し, 候補対象の数を絞ってくる方向に次々と適応させていくことが理解システムの一般的なやり方である。つまりフィードバックのあるロボティックスの手法となる。その際システム内に, マン・マシン・コミュニケーションなどで構築したモデルによる予測が有効に働き, 認識の正確さと処理の効率化

に役立つのである。また処理の階層によって、モデルの形式、入力情報との対応のさせ方も異なってくる。

(b) bottom up 手法

bottom up の手法は、タスクに無関係に成立する基礎的手法である。物理的な信号から、それより情報量が少なく、しかも認識上は等価な特徴パラメータへと変換し、さらにパラメータ群から離散的なシンボル空間へと昇っていく過程で採用される手法である。

図-2 には、画像の場合の例が示されている。観測対象からの情報(生のデータ)は、センサ群によって得られる。カラーの三つの要素の濃淡値、各種電磁波、放射線の反射や透過強度などの濃淡情報因子がそれである。これらの値から、画像イメージを表現・記述する特徴パラメータとして、領域(大きさ、形、位置)、距離、特徴点、線、孔などの特徴記述因子(これらはラベル付けされる)と、これら特徴記述因子間の関係記述のため、隣接関係、前・後や奥行き、上・下、包含などの関係記述の述語(構造化の法則)が用意されるのが普通である。

次いで、これら特徴パラメータやそのラベル、記述のための法則によって、部分的構造化が行われる。これらは言語でいえば、ラベルがアルファベットに対応し、関係記述がアルファベットの系列(配列)に対応する構文法則になる。したがって bottom up による手法、つまりデジタル画像情報が生成される世界(タスク)に無関係に、処理階層レベルを上げていくには限度がある。

完全な画像パターンの理解、あるいは十分な理解のためには、タスクに関する世界の知識が必要である。したがって、top down 手法と bottom up 手法とが共存し、相互に補足しあって入力パターンの構造化とパターン理解が効果的に行えるのは、図にも示してあるようにシンボル空間とモデル空間においてである。これら top down, bottom up の両手法の適用、モデル構築、構造記述については現在研究が着々と進んでいるから、1980 年代には画像処理の各方面に普及するものと思われる。

ここでマン・マシン・インタラクティブな情報処理についてふれておこう。画像処理において、機械の中にモデルを構築するとき、またパラメータ空間内における画像イメージの構造記述因子を教える際には、マン・マシン・コミュニケーションが必要である(図で実線)。当然の結果として、コミュニケーションによって得た情報により知識も増加し、モデルの構造

の記述、修正などが行われるので、コミュニケーションの本質であるロボティックスの世界における相互作用となっている。点線は専用目的には適用可能な領域である。

4. 画像処理のストラテジ

4.1 イメージ・ソースの構造把握と処理の階層(段階)性

(a) 対象世界の構造と観測イメージとの対応関係の検出の有効性と効果

図-1 において、対象世界を観測系を通してイメージに変換し、そのイメージ画像に対して処理をすることを示した。対象世界の構造は、一般には三次元の世界であり、時間的に変化しているかもしれない。この世界が二次元の画像イメージに縮退され、我々はこの画像イメージを処理して、対象世界の構造ならびにその変化を知ろうとする。したがって、両者の対応関係を探索しようとするのは当然である。しかし写像された画像イメージの上で処理をするのに、任意にどこから始めてもよいのではなく、対象世界の構造によって順序(段階)があるべきなのかどうかを考えねばならない。

数式をコンパイルするとき、演算記号により順序づけがあるのと同様に、対象世界の構造、あるいは対応する画像イメージの上で、対象物体のイメージ(演算記号にたとえる)により処理の順序づけがありうるだろうという指摘である。しかもその順序づけは、任意なものか必然的なものかの論議も必要である。

濃淡画像、文書ドキュメントに対する現在までの研究から察する限り、順序性、階層性が必然的に存在すると言ってよいようである。濃淡画像においては、濃度レベルの均一なもの(ヒストグラムのピークの高いもの)、領域面積の大きいものが、解釈や処理の最初に採用されたり、あるいは境界線の長いもの、直線性のあるものも同様にふるまう。文書ドキュメントでは、濃淡写真の領域、グラフや文字の線図形の領域といった階層性が存在する。したがって、対応関係の探索と処理の順序性の抽出は、画像処理ストラテジの基本的なものである。

(b) 数学的モデルの適用可能なまでの構造分解の考え方と手法

時系列波形に対しては、周波数帯域幅との相補的な関係でのサンプリング定理が見い出されて、今日のデジタル技術を築き上げるのに果たした役割は大きい。

画像イメージのような二次元空間のものに対してのサンプリング定理も論ぜられているが、画像の入力走査法とマッチしていないこともあろうが、まだ遊離している状況であると言えよう。画像の入力走査法とマッチした数学的モデル、しかも二次元のイメージの性質を本質的に保ったままでの理論の展開が切望されるのである。逆の立場で言えば、現在行われているコンピュータによる各種の基本的、局所的画像処理の全体イメージの中での構成上、処理手順上の位置づけを明らかにすることである。すなわち、局所メッシュに対する空間フィルタ、論理フィルタ、画素ごと演算（ヒストグラム作成、データ変換）、アフィン変換やエッジ検出、ラプラシアン演算、テキスト解析などである。これらが二次元イメージの空間的構成や分解のアルゴリズムとマッチしたり、二次元局所領域の並列処理と統合の順序付けのアルゴリズムが見い出されたときには、画像処理のハードウェアの開発のみでなく、処理のスピードでも画期的な進歩となる。

4.2 対象世界に対する知識の各種処理レベルにおける利用

(a) 記述言語の問題と対話のやり方

画像イメージを記述するにふさわしい言語があると考えるのが自然である。ほとんど順序正しく並んでいるデータを扱う場合と、対象の記述においても規則性がなく、順序性が処理の途中で著しく変化するデータを扱う場合とでは異なっており、これが LISP などの言語を生み、しかもよく利用されている理由である。したがって画像記述にふさわしい言語、4.1(b)でも述べたように、処理にふさわしい言語が生れてくる可能性は強い。ただしアルゴリズムや理論がかなり明確になりだしてきてからであろう。

次にモデル構築のレベルでは、マン・マシン対話のための階層的記述法がある。これは、モデルの変化、変更、さらには対象画像イメージの変動に追随し、あるいは追跡するのにふさわしく、簡潔で、しかも局所的修正で済むような構造があることが望ましい。すなわちモデル構造の記述、変更、修正の観点からと、パターン理解という実際の画像イメージ処理システムとの対応のよさが問題となろう。しかも、ここで注意すべきは、これらモデル記述が、数学で言うところの「必要かつ十分」という思想に対して、どれだけ許容コスト、許容時間内で達成できるかもキーポイントで、理論の進歩と技術の展開とのバランスで評価されるであろう。

(b) 階層内での機能の配分法

この問題は、対象となる画像の複雑さに大きく依存する。企業における事業部制が業種によって異なるように、対象画像、画像処理の目的によって異なる。しかし、図-1の処理の流れのブロックに対して、どれだけの bottom up の機能、top down の機能を処理段階のどのブロックに配分するかは、システム構成上の大きい問題である。理論的に、あるいは目的別に、あるいはハードウェア的に、変化のありうる所、急展開がありうる所に着目して、それぞれの配慮の下に代替が可能なるようにすることが望ましい。ハードウェアの代替、ファームウェアによる機能変化、追加拡充を要する機能部といった多面的特徴づけが必要である。

5. おわりに

画像処理の定着が 1980 年代に実現することは間違いないであろう。1980 年代後半でトピックスとなり、うまくいけば急進展をも期待できるものとして、私は情報フィルタの実現を挙げる。図-1 で示したように、マイクロエレクトロニクスのハードウェアの進歩と、人工知能、画像理解、ロボティクス手法の研究によって、通信分野では内容による ON・OFF スイッチの実現がある。また蓄積・検索においては次に述べるように、新しい階層レベルのキーが生れるであろう。

文字読取装置は、文字パターンを一挙にコードにするものである。音声タイプ（認識）は、音声パターンを一挙にコードにする。しかし音声にはその中間に、特徴パラメータという中間記述のパラメータ群がある。これによって音声の分析・合成ができる。画像においても、中間レベルの記述パラメータの活用が行われるであろう。これは、データファイルへの蓄積・検索の自動化にとっては極めて重要な役割を果たす。この論議は、あたかもコンピュータ・ネットワークにおけるプロトコルの階層構造、異なるネットワーク間のゲートウェイの変換・翻訳レベルの階層をどこにおくかの考察と同じように思われる。

さらには、画像処理専用プロセッサとそのアーキテクチャについても言及したかったが、間接的には画像イメージの記述、分解アルゴリズムの項でふれたことになる。一般的に並列画像処理プロセッサの研究が、コンピュータの分散・並列処理システムのあり方を示すパイロットであると言った方が妥当であろう。

(昭和 55 年 2 月 4 日受付)