

解 説

物体・光景の認識と理解*

白 井 良 明**

1. はじめに

機械に外界の情報を直接取入れて認識させることは人工知能にとって興味深い課題である。研究の開始された 1960 年代の中頃は、ロボットの目として簡単な物体を認識することが目的であった。しかし視覚情報処理のむずかしさが認識されるにつれ、ロボットとは独立な分野として発展するようになった。

むずかしさの原因は、人間の眼のようなすぐれた入力装置のないこと、入力データの量が多いこと、人間が欲しい特徴が確実に抽出できないことなどであった。その後精度の高い入力装置、高性能の計算機、各種の特徴抽出の手法が開発され、この問題も一部解決されてきた。

いっぽう限られた入力情報を理解するのに、いかなる知識を用いて効率よく処理するかという問題もある。前述の処理が人間の視覚情報処理の前段階に相当し、低レベル処理とよばれるのに対し、これは大脳およびそれに近い部分も関与するため、高レベル処理といえることができる。

全体に低いレベル処理の果たす役割は大きく、質のよい特徴を得ることが全体の成功の鍵を握っていると考えてもよい。この研究に関しては多くの解説がある^{1)~4)}。しかし対象に関する知識を用いなければ、低レベル処理だけで人間と同じような特徴抽出を行うことができない。ここでは高レベル処理のいくつかの側面に焦点を絞って、研究の流れや現状を述べる。

2. 線画における拘束とその利用

計算機を用いて物体認識を最初に行った Roberts⁵⁾ は濃淡画像から線画を作り、それをいくつかの三次元モデルと照合した。Guzman⁶⁾ は複数の多面体を含む

線画を入力とし、各物体に分割するヒューリスティックな規則を作った。しかしその規則は理論的裏づけに欠けていた。

2.1 線画のラベル付け

Huffman⁷⁾ は線画の各線の物理的意味を考慮し、実世界の物体が線画に課する拘束を提示した。対象物体の頂点では必ず 3 つの面が交わっている (三面頂点) とし、線画はそれを一般位置で見たもの (位置が少し変わっても線画を大きく変えない) と仮定する。線を図-1 のようにその物理的意味によって、境界線、凸の内線、凹の内線に分け、図のようなラベルで表わす。物体の頂点に対応する線画の頂点は図-2 の種類に限られることがわかる。

線画を解釈することは、線に正しくラベルをつけることと考えれば、この交点に関する拘束を利用できる。すなわち、すべての交点がこの 12 種類に属するよ

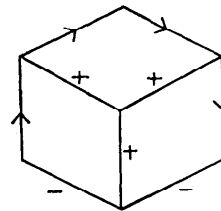


図-1 立方体に対する Huffman のラベル

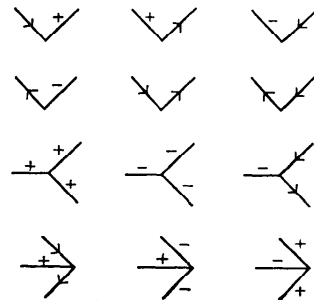


図-2 実在する交点の種類

* Object Recognition and Image Understanding by Yoshiaki SHIRAI (Information Science Division, Electrotechnical Laboratory).

** 電子技術総合研究所パターン情報部

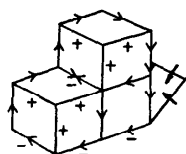


図-3 Waltz のラベル

うにラベルをつければよい。影のない線画を対象としているので一番外側を境界線にし、残りを試行錯誤で符号づけしていけば、通常の線画は簡単に解釈できる。

Waltz⁸⁾ は三面頂点物体の配置に関する拘束を緩和し、影も含めて図-3 のような線の種類に拡張した。さらに物体の面の照明状態を考慮した。そのため線画の交点の種類は 12 から約 1,800 にも増加した。しかし線の種類の増加によって拘束も増えたため、線画解釈をある程度の速度で実行できた。

Turner⁹⁾ はこの方法を拡張して、二次曲面を含む物体の線画を解釈した¹⁰⁾。

以上は完全に線画が得られたものとしてそれを解釈している。不完全な場合に対しては、それが不完全であることを指摘できる場合もあるが、必ずしも指摘できるとは限らない。すなわち、ここで述べた拘束によって解釈できなければ、その線画は実物体を反映していないが、矛盾なく解釈できたといっても必ずしも実現できるとは限らない。つまりこの拘束は必要条件ではあるが十分条件でない。これ以外の拘束によってなるべく十分条件に近づけようとする研究をつぎに述べる。

2.2 双対空間

Huffman⁷⁾ は双対空間を用いて線画の拘束を表現できることを示唆した。そこでは双対空間の性質だけを述べたが、後に双対空間を定義し¹⁰⁾、その利用を示した。

いま実空間を x, y, z の直交座標で表わし、線画は、 $x-y$ 面への投影とする。実空間内の平面 $z=ax+by+c$ は双対空間 (u, v, w の直交座標で表わされる) の点 $(a, b, -c)$ に対応する。2つの面 $z=a_1x+b_1y+c_1$ と $z=a_2x+b_2y+c_2$ の交線 l は、双対空間の2点 $(a_1, b_1, -c_1)$ と $(a_2, b_2, -c_2)$ を結ぶ線 l' に対応する。双対空間の $u-v$ 面への投影を双対画とよぶ。線画の x, y 軸と双対画の u, v 軸を重ね合せれば、 l と l' は直交することがわかる。また実現可能な線画に対しては、対応する双対画も作図できる。

Mackworth¹¹⁾ はこの双対画と等価なグラジェント空間を用いて線画の解釈を行った。図-4 の例を用いて説明する。まず、すべての線は見えている面の交線

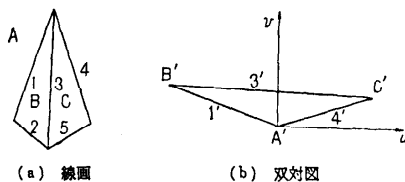


図-4 双対画の作成例

(すなわち内線)と仮定する。一つの面(ここでは A)を双対画の原点に対応させる。 A と B が凹で接しているとして線 1 に直交する線 $1'$ を書き、その上の任意の点 B' を決める。線 2 と線 $1'$ は直交しないため、線 2 は内線となることができないことがわかる。面 C の対応点 C' は、線 3, 4, に直交する双対画の線 $3', 4'$ の交点として求められる。線 5 は同様にして境界線となる。このようにして双対画が完成すれば解釈できたことになる。図-5 は実現不能な線画であるが、従来のラベル付けでは矛盾を生じない。しかし双対画は作ることができず、実現不能を指摘できる。

しかし双対画作成では各線の意味を仮定しなければならず、検索の数が増大する。したがってラベル付けの手法と組合せて用いるべきであろう。

Huffman¹⁰⁾ は双対空間を用いて局所的な拘束を表わした。図-6(a)のように一つの領域に入っている線をカットセットとよび、その領域のまわりの領域を時計方向にたどる経路は、双対画では図-6(b)のように各面に対応する点を結ぶ多角形となる。もしカットセットが実現可能ならば、双対画の経路を一巡したと

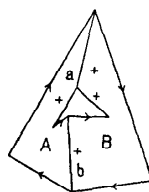


図-5 双対画を持たない例

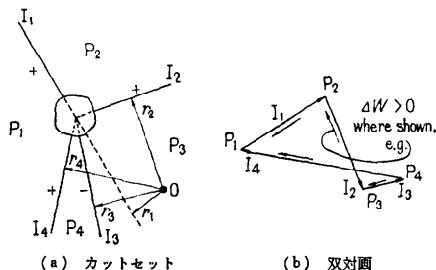


図-6 カットセットにおける拘束

き、双対空間においても、もとの点に戻らなければならない。つまり w の変化 $\Delta w = 0$ となる。

この性質を用いて Huffman¹²⁾ は線画の任意のカットセットの実現可能性を判定する方法を示した。これによって従来のようにあらかじめ可能な交点を記憶させておく代りに、与えられた交点の実現可能性を判断する手続きを持つことができるようになった。

しかし、ここでもすべてのカットセットが実現可能であっても、線画全体は実現可能とは限らない。

2.3 明るさに関する拘束の利用

物体表面の反射特性と光源の位置がわかれば、観測される面の輝度と面の方向には一定の関係がある。Horn¹³⁾ は双対画面を用いてこの関係を表わした反射率マップを用いて面の方向を求めた。

簡単のために光源が物体から十分遠く離れていて、その方向が z 軸と一致し、物体表面は乱反射する場合を考える。物体の頂点の線画が図-7(a)とすれば、その双対図は図-7(b)の三角形と相似になる。つまり形は一定で、その位置と大きさの3つの自由度を持つ。いっぽう面の明るさが観測されれば、その面の法線と z 軸をなす角度 φ が求められる。 φ 一定の面の方向は、双対図では原点を中心とする円で表わされる。いまかりに各面の明るさから得られた面の方向 図-8 の円心円上にあるとすると、図-7(b)と相似で、頂点がそれぞれの円上にある三角形 $A'B'C'$ を作れば、各面の正確な方向がわかる。この例では解析的に2つの三角形が得られるが一般には、非線形連立方程式の解となり、

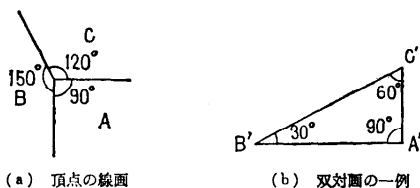


図-7 線画に対応する双対画の例

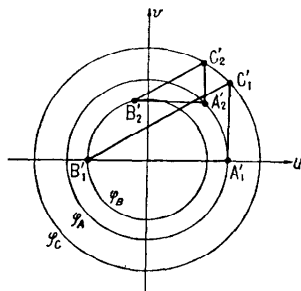


図-8 線画と面の明るさから面の方向を求める方法

数値解法を要する。

3. 光景理解における知識の表現と利用

これまでは形に関する拘束を扱ってきたが、屋外光景では形よりむしろ、異なる物の間の空間的な関係が拘束となる。ここではそのような知識をどのように表現して、用いるかを述べる。

3.1 領域のグラフ表現

Preparata 等¹⁴⁾ は屋外風景写真をあらかじめ人間が、空とか山という領域に分割しておき、その領域を解釈した。得られた領域を節点とし、その境界がどの程度他の領域と接しているかを、方向付きのリンクで表わすグラフを作る。それとあらかじめ与えられているグラフと照合して各領域を解釈した。

Barrow 等¹⁵⁾ は眼鏡やカップなどの濃淡画像から領域法¹¹⁾によって領域を抽出し、同様にグラフ表現して物体を識別した。

以上の方法は領域が正しく求められている場合に有効であるが、実際には領域抽出が問題になる。

3.2 知識を利用した領域法

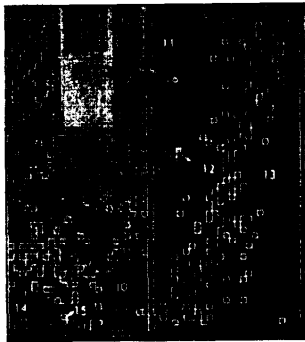
領域法¹⁶⁾では、はじめに画面を同じ性質（明るさと色）の領域に分割しておき、つぎに隣りどうしで類似な性質を持つ2つの領域を合併していく。このような方法では、得られる領域が必ずしも画像の意味とは一致しない。

Yakimovsky¹⁷⁾ は領域法によって領域の数を一定値まで減らした後、風景の意味を考慮して領域の合併を進めた。

最終目標は、各領域が他とは独立に決まる解釈の確率（明るさ、色、大きさ、位置）と、2つの領域の境界の確率（領域の解釈と位置関係による）の積を画面全体で最大にすることである。各確率はあらかじめ定式化しておく。この評価関数をすべての場合について計算すると組合せの数が多すぎるため、最も確からしい領域の解釈を固定し、その周辺の確率を計算し直すというやり方をとる。もし隣接する領域が同じ解釈となれば併合することができる。

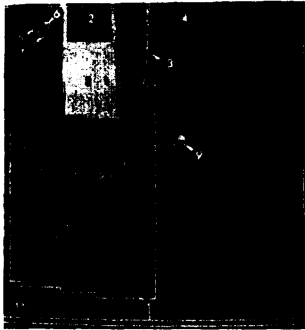
この方法は低レベル処理に知識を利用した例として注目されたが、風景のモデルをすべて確率の形で与えておかなければならない欠点がある。

いつぼう Tenenbaum 等¹⁸⁾ はシーンの構成物の間の関係を直接表現して領域を求めた。すなわち2つの物の関係を知識とする。たとえば、ドアは壁の横、絵は壁の内、床はドアの下にあるという位置関係をあらか



(a) 最初の領域と解釈

Region	Possible Interpretation
1~5	Picture Wall
6	Picture
7~10	Wall
11	Door
12	Knob
13	Door, Baseboard
14~15	Baseboard
16	Universal



(b) 最後の結果

Region	Interpretation
1	Wall
2	Picture
3	Universal
4	Door
5	Picture
6	Picture
7	Picture
8	Picture
9	Knob
10	Picture
11	Baseboard

図-9 知識を用いた領域法

じめ与えておく。画像を図-9(a)のようにほぼ同じ明るさの領域に分割する。はじめに人間が幅木 (base-board) の領域を一つ指定する。それ以外はすべての解釈が可能である。そこで各領域ごとにその大きさと、隣接する領域の解釈を考慮して、解釈の候補を絞っていく。画面全体にこの操作を施すと図-9(a)の番号をつけた領域は解釈が一意に決まる。幅木、壁やドアの大きな領域およびそこに接する領域が決定されている。この結果を用いてさらに候補を絞っていく。この過程で領域の合併も生じ、最終的には図-9(b)が得られる。

この手法は局所的拘束を全体に伝播させていく線面のラベル付と似ている。候補を絞っていく過程は Waltz のフィルタリングともよばれている。

3.3 階層的モデル

これまでは領域を一つの物として解釈するための手法を紹介したが、ここではいくつかのレベルで光景に関する知識をモデル化するアプローチを述べる。

Riseman を中心とするマサチューセッツ大学のグループは、一般的視覚システム VISIONS を作ってい

る。画像の低レベル処理を行って、領域、縁などを検出した後は、高レベル処理で光景のモデルを作っていく。そのための知識として、画面全体、物、表面、領域という異なるレベルにおける性質および上下のレベルとの対応関係を持っている。図-10 の右半分に例を示す¹⁹⁾。木は幹と樹冠から成り、幹の形は円筒で、円筒の表面は一つの曲面で、画像ではそれが長方形となることが各レベルの対応を調べることによってわかる。与えられた画像から光景のモデルを図-10 の左半分のようにして作っていく。得られた領域と知識の領域と照合し、もし一致すれば上のレベルへと対応を進めていく。それが幹であることがわかれば、物のレベルで幹と樹冠の関係が記述されているので、つぎにそれを下にたどって幹に相当する領域あるいは輪かくの縁を探すこともできる。

Sakai ら²⁰⁾も階層的モデルを用いて屋外風景を認識している。そこでは物、物の性質、材料などを knowledge block で表現する。たとえば図-11 (次頁参照) では、建物が窓を内に含んでいて、建物はタイルかコンクリートでできていることを表わしているが²¹⁾、この知識が、建物という knowledge block に記述されている。またコンクリートという knowledge block にはその色が指定されている。このように種々のレベル

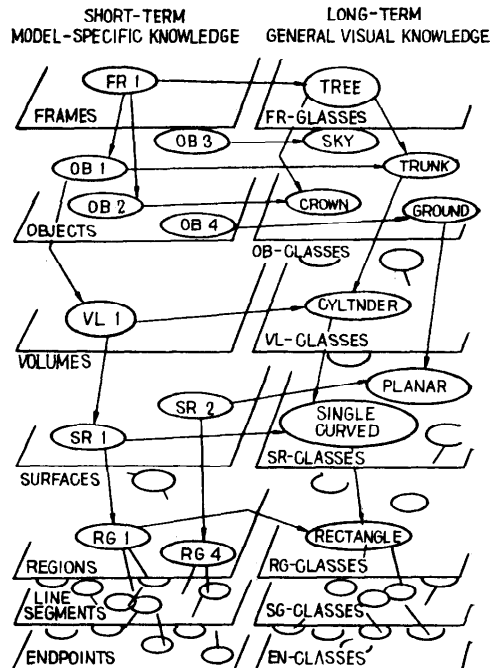


図-10 階層的モデルによるシーンの理解

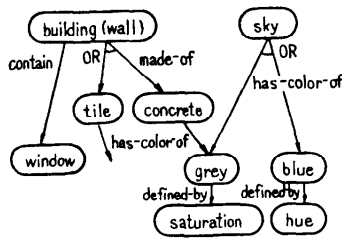


図-11 knowledge block の構成

の knowledge block がプログラムの形で記述されている。さらに必要があれば、そこに手続を書くこともできるため、効率のよい認識を可能にしている。

4. 記述作成の手順

これまでシーンを解釈するために用いる知識を中心に述べてきたが、ここではそのための手法や制御方式を扱う。

4.1 弛緩法 (relaxation)

弛緩法は緩和法ともよばれ、偏微分方程式の数値解法に用いられているが、Rosenfeld ら²²⁾はシーンの解釈に適用することを提案した。簡単な例を用いて説明する。シーンの中の物の関係が図-12 のように与えられていて、未知シーンの領域とその解釈の候補が図-13(a) のように得られたものとする。前述の Waltz のフィルタリングでは、適当な領域から出発して隣接する領域との関係から候補を絞っていく、候補が削除されるごとに後戻りして関係の矛盾をチェックする。この手法は逐次計算に適している。

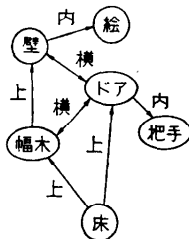
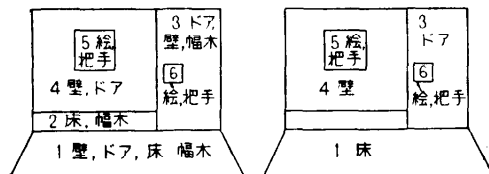


図-12 物の関係



(a) 最初の候補 (b) 1 回の処理後の候補
図-13 弛緩法による領域の解釈

弛緩法は一律な処理を各領域に同時に施す。たとえば領域 1 と 2 の関係に着目し、1 が壁として 2 の中からその相手を探す。壁の上にくるものはないため壁ではあり得ないことがわかる。ドアも同様に削除される。床に対しては 2 の中に相手が見つかる。幅木とすればその上は壁でなければならず、それが 2 の中にならないためやはり除かれる。このような処理をすべての関係に対して行うと図-13 (b) が得られる。並列処理を想定しているため、領域 5 と 4 の関係の処理では、4 の解釈が他の関係から唯一に決まっているという結果は用いていないことに注意しよう。図の結果にもう一度同様の処理を施せば解釈が確定する。

解釈の候補や関係が確率として与えられる場合にも適用できる。線の検出²³⁾、ノイズ除去、パターンの照合²⁴⁾などの応用も試みられている。

4.2 制御方式

シーンを理解するのに用いる知識をいかに利用して効率よく課題を達成するかという制御方式あるいは制御構造は、課題に依存する。もし対象物体の種類、だいたいの位置、方向がわかっていたら、物体の特徴的な部分をいくつか探せばよい²⁵⁾。また背景と多面体の明るさの差が十分あれば、はじめに物体を背景の境界線を検出し、その形を手がかりにして他の線を探すことができる²⁶⁾。ある程度一般性のあるシーンを理解しようとするれば、どうしてもあらかじめ入力データから豊富な特徴を抽出しておかなければならない。いっぽう効率よく、信頼性のある結果を得るためには、ある程度処理をして得られた中間結果をそれ以後の処理に反映させることも必要である。現在のシステムは大部分このように、いわゆる bottom-up と top-down の両方の性格を持っている。

Freuder²⁷⁾は領域を媒介としてハンマーを認識するシステムを作った。階層的モデルを持ち、画像の領域とモデルを照合し、もし対応が得られれば、モデルがつぎに何をすべきかを指定し、その手続として何を使うかも助言する。このような用い方をする知識を彼は active knowledge とよんでいる。

Shirai²⁸⁾は縁を媒介として複雑な机の上のシートを認識した。原則的には縁を検出し、それを方程式で近似して物体を認識するという手順をくり返す。物体の知識としては、それを探するための手がかりとなる特徴、認識のための特徴、物体の範囲を決めるための特徴を持つ。すでに明らかになった物体に関する情報を用いるため、単なる bottom-up な方式より 10 倍位の

速度で信頼性のある結果が得られた。

以上は物体の知識が手続で表現されているので効率はよいが、プログラム作成に手間がかかる。

Sakai ら²⁰⁾の knowledge block はシーンに関する知識として制御構造も含み、一定の形式で構造化されているため、通常のプログラムよりわかり易い。領域を媒介として解釈を行い、各領域に対して解釈の確からしさを評価し、ある程度確からしい領域が見つかる、その解釈に関する知識が主導権を握って top-down 処理を始める。

今後処理装置の進歩によって多量のデータ、特徴を扱えるようになると、その制御構造をいかにして、柔軟な処理を行わせるかが重要になる。

5. 距離情報の処理

2次元データから3次元のシーンを推論することは人工知能にとっておもしろい問題であるが、距離情報が得られれば、この問題は簡単に解決できる。距離情報処理が人工知能の研究で比較的取上げられない理由は、距離データの入力の問題と、その処理に距離特有の知識を導入することが困難な点であった。

これまでの研究では距離データを入力するために、光を物体に当て、それを別なカメラで見る装置を用いていた。最近レーザ光を当てて、その反射光を受けるまでの時間を測る方式が開発されているが^{28), 29)}、まだそれを有効に生かした処理はあまりやられていない。

距離情報の処理としてはこれまでシーンを平面の組合せで記述する³⁰⁾、一般化した円筒で記述する³¹⁾、平面と一様な曲面で記述する³²⁾ことが行われてきた。

ここでは物体の頂点に関する拘束を利用した物体認識を紹介する。三面頂点の多面体や曲面体の頂点には2で述べたように拘束がある。距離情報から頂点のまわりの境界線や内線の一部が求まれば、その線の意味(ラベル)はすでに確定している、それが実在するものか、あるいはもっと他に線があるか、もしあるとすればどんな線がどこにあるかを予測できる。Sugihara³³⁾はこの知識を頂点辞書に蓄え、曲面を含むシーンを解釈した、図-14に処理の系列を例示する。

6. おわりに

物体・光景の認識と理解に関して、人工知能に関連のありそうな側面を展望したが、このほかにも多くの

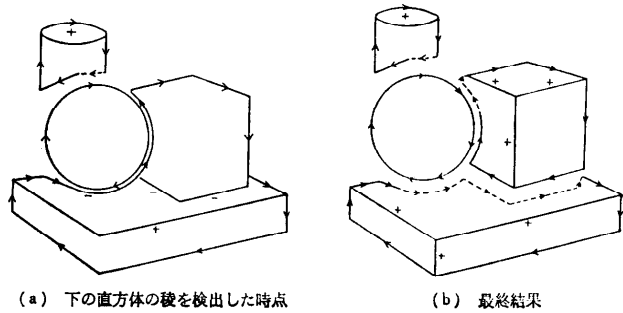


図-14 頂点辞書に基づいた距離データの解釈

興味深い研究がある。

リモートセンシングにおいても局所領域のマルチバンドデータだけから解釈するのではなく、たとえば建物の屋上にあるか道路上にあるかによって解釈を変えたり、停泊している船を見つけるのにまず地図を利用して海岸線を正確に求めてから調べるような手法が用いられている^{34), 35)}。

最近では動画の研究も行われるようになった。Tsuji ら³⁶⁾は漫画映画のフィルムの各コマを記述し、動きを求め、一連の動きから一つのまとまった動作を推論し、さらに動作の系列から映画の意味を抽出した。有木ら³⁷⁾は、記録映画解析のため、インタラクティブに対象物のモデルを作るシステムを作っている。そのほかヨーロッパでも自動車の動き等の検出を研究している。

入力画像の分解能も高くなり、自然の風景を扱うようになると、岩肌や草原のようなテクスチャの記述や分類も必要になってくる。テクスチャに関しては他の解説を参照されたいが^{38), 39)}、最近盛んに研究され、まだ未解決な問題も多い。

認識対象物体が複雑になるにつれ、3次元物体のモデルをいかにして表現するかが重要になる。Agin ら³⁰⁾は、滑らかな曲線の軸に沿って任意な形の断面を持つ一般化した円筒を用いて物体を記述した。Nevatia ら⁴⁰⁾は、一般化した円筒の結合のし方を分類し、複数の一般化した円筒で物体を表現することを提案した。Maar⁴¹⁾はこれにモデルがどの程度正確に物体を表わすかという近似に応じて階層的な構造をつけ加えたモデルを提案した。この問題は、CAD, CAM の分野でも取扱われていて、最近中心課題になりつつある^{42), 43)}。人間が作りやすく柔軟なモデルの形式を定めることは、人工知能の分野でも同様に望まれていることである。

参 考 文 献

- 1) A. Rosenfeld: Digital Picture Processing Academic Press, New York (1976).
- 2) 長尾 真, 金出武雄: パターン認識における縁・線の抽出, 電子通信学会誌, Vol. 55, No. 12, pp. 1018~1627 (1972).
- 3) 白井良明: 三次元物体の認識, 精密機械, Vol. 42, No. 8, pp. 740~745 (1976).
- 4) 長尾 真: 画像の特徴抽出と認識, 電子通信学会誌, Vol. 59, No. 11, pp. 1181~1188 (1976).
- 5) L. G. Roberts: Machine Perception of Three-Dimensional Solids, Optical and Electro-Optical Information Processing, J. T. Tippett et al. (eds.), pp. 159~197 (1965).
- 6) A. Guzman: Decomposition of a Visual Scene into Three-Dimensional Bodies, AFIPS Proc. Fall Joint Conf., Vol. 33, pp. 291~304 (1968).
- 7) D. A. Huffman: Impossible Objects as Nonsense Sentences, Machine Intelligence, 6, B. Meltzer and D. Michie (eds.), Edinburgh University Press, pp. 295~323 (1971).
- 8) D. L. Waltz: Understanding Line Drawing of Scenes with Shadows, The Psychology of Computer Vision, P. H. Winston (ed.), McGraw-Hill Book Co., New York, pp. 19~91 (1975).
- 9) K. J. Turner: Computer Perception of Curved Objects Using a Television Camera, Thesis, School of Artificial Intelligence, Edinburgh University (1974).
- 10) D. A. Huffman: A Duality Concept for the Analysis of Polyhedral Scene, Machine Intelligence, Vol. 8, pp. 475~492, E. Elcock and D. Michie (eds.), Ellis Horward Ltd. (1977).
- 11) A. K. Mackworth: Interpreting Pictures of Polyhedral Scenes, Artificial Intelligence, Vol. 4, No. 2, pp. 121~137 (1973).
- 12) D. A. Huffman: Realizable Configurations of Lines in Pictures of Polyhedra, Machine Intelligence, Vol. 8, pp. 493~509, E. Elcock and D. Michie (eds.), Ellis Horward Ltd. (1977).
- 13) B. K. P. Horn: Understanding Image Intensities, Artificial Intelligence, Vol. 8, No. 2, pp. 201~231 (1977).
- 14) F. P. Preparata and S. R. Ray: An Approach to Artificial Nonsymbolic Cognition, Information Science, Vol. 4, pp. 65~86 (1972).
- 15) H. G. Barrow and R. J. Popplestone: Relational Description in Picture Processing, Machine Intelligence, B. Meltzer and D. Michie (eds.), Edinburgh University Press, Vol. 6, pp. 377~396 (1971).
- 16) C. R. Brice and C. L. Fennema: Scene Analysis Using Regions, Artificial Intelligence, Vol. 1, No. 3, pp. 205~226 (1970).
- 17) Y. Yakimovsky and J. A. Feldman: A Semantic Based Decision Theory Region Analyzer, Proc. 3rd IJCAI, pp. 580~588 (1973).
- 18) J. M. Tenenbaum and H. G. Barrow: Experiments in Interpretation-Guided Segmentation, Artificial Intelligence, Vol. 8, No. 3, pp. 241~274 (1977).
- 19) T. Williams and J. Lawrance: Model-Building in the Visions System, Proc. 5th IJCAI, pp. 644~645 (1977).
- 20) T. Sakai, T. Kaneda and Y. Ohta: Model-Based Interpretation of Outdoor Scene, Proc. 3rd IJCP, pp. 581~589 (1976).
- 21) 大田友一, 金出武雄, 坂井利之: 計算機による屋外風景写真の認識, 情報処理学会研究会資料, イメージ 10-3 (1977).
- 22) A. Rosenfeld, R. Hummel and S. W. Zucker: Scene Labelling by Relaxation Operations, IEEE Trans. Vol. SMC-6, No. 6, pp. 420~433 (1976).
- 23) S. W. Zucker, R. A. Humel and A. Rosenfeld: An Application of Relaxation Labelling to Line and Curve Enhancement, IEEE Trans. Vol. C-26, No. 4, pp. 384~403 (1977).
- 24) L. S. Davis and A. Rosenfeld: An Application of Relaxation Labelling to Spring-Loaded Template Matching, Proc. 3rd IJCP, pp. 591~597 (1976).
- 25) R. C. Bolles: Verification Vision for Programmable Assembly, Proc. 5th IJCAI, pp. 569~575 (1977).
- 26) Y. Shirai: Analyzing Intensity Arrays Using Knowledge about Scenes, The Psychology of Computer Vision, P. H. Winston (ed.), McGraw Hill Book Co., New York, pp. 93~113 (1975).
- 27) E. C. Freuder: A Computer System for Visual Recognition Using Active Knowledge, Proc. 5th IJCAI, pp. 671~677 (1977).
- 28) D. Nitzan, A. E. Brain and R. O. Duda: The Measurement and Use of Registered Reflectance and Range Data in Scene Analysis, Proc. IEEE, pp. 206~220 (1977).
- 29) R. A. Lewis and R. Johnston: A Scanning Laser Rangefinder for a Robotic Vehicle, Proc. 5th IJCAI, pp. 762~770 (1977).
- 30) Y. Shirai and M. Suwa: Recognition of Polyhedrons with a Range Finder, Proc. 2nd IJCAI, pp. 80~87 (1971).
- 31) G. J. Agin and T. O. Binford: Computer Description of Curved Objects, Proc. 3rd IJCAI, pp. 629~640 (1973).
- 32) M. Oshima and Y. Shirai: Representation of Curved Objects Using Three-Dimensional In-

- formation, Proc. 2nd USA-JAPAN Computer Conf., pp. 108~112 (1975).
- 33) K. Sugihara : Dictionary-Guided Scene Analysis Based on Depth Information, PIPS-R-No. 13, Electrotechnical Laboratory, (1977).
- 34) D. H. Ballard, C. M. Brown and J. A. Feldman : An Approach to Knowledge-Directed Image Analysis, Proc. 5th IJCAI, pp. 664~670 (1977).
- 35) H. G. Barrow, R. G. Bolles, T. D. Garvey, J. H. Kremers, J. M. Tenenbaum and H. G. Wolf : Experiments in Map-Guided Photo. Interpretation, *ibid.*, pp. 696.
- 36) S. Tsuji, A. Morizono and S. Kuroda : Understanding a Simple Cartoon Film by a Computer Vision System, *ibid.*, pp. 609~610.
- 37) 有木康雄, 金出武雄, 坂井利之 : 変化するイメージパターンのモデル構造と追跡, 電子通信学会技術研究報告, PRL 77-61, pp. 79~88 (1978).
- 38) 出口光一郎, 森下 徹 : テキスチャーの解析手法, 計測と制御, Vol. 16, No. 2, pp. 12~22 (1977).
- 39) 富田文明, 白井良明, 辻 三郎 : テクスチャーの解析, 情報処理, Vol. 19, No. 2, pp. 173~182 (1978).
- 40) R. Nevatia and T. O. Binford : Description and Recognition of Curved Objects, Artificial Intelligence, Vol. 8, No. 1, pp. 77~98 (1977).
- 41) D. Marr and H. K. Nishihara : Representation and Recognition of the Spatial Organization of Three Dimensional Shapes, MIT AILab., AI Memo 416 (1977).
- 42) H. B. Voelcker and A. A. G. Requicha : Geometric Modeling of Mechanical Parts and Processes, Computer, Vol. 10, No. 12, pp. 48~57 (1977).
- 43) M. Hosaka and F. Kimura : An Interactive Geometrical Design System with Handwriting Input, Proc. IFIP, pp. 167~172 (1977).
- (昭和53年5月23日受付)