

第7回人工知能国際会議のVISION部門

大島正毅 (電子技術総合研究所パターン情報部)

1. はじめに

第7回人工知能国際会議は本年8月24日から28日までカナダのバンクーバーにあるブリティッシュコロンビア大学で開催された。一般講演56セッションの内VISION部門はVISION:3D(1)~(5), VISION: MOTION(1)~(2), VISION: LOW LEVEL(1)~(2)の9セッションで、発表論文数は35であった。この他招待講演、パネル討論、デモンストレーションなどもあった。会期中常時VISION関連のセッションが開かれており、セッションにもよるが一般に出席者の関心が高いと見受けられる。表1に発表の国別概数を示す。また表2に発表の内容別概数を示す(分類は筆者による)。以下では論文を分類の上概要を紹介する。なお日本からの発表は邦文によるので、知り得ると思われるので、他の発表との関連上必要な程度に止めた。

表1 国別の発表数

アメリカ	22
日本	5
ドイツ	4
カナダ	1
フランス	1
イギリス	1
チェコ	1

2. 線・領域等の抽出

Mac Vicar-Whelan等[34](スタンフォード大)は画素の値から近傍平均値を引いた画像(laterally inhibited image)を求め、その画像におけるゼロクロス点をつないで線画を作った。

Radig [27](ハートルグ大)は画像シーケンスを処理するための画像の領域分けを行った。各画素の近傍を(明るさを第3の次元として)平面で近似する。画像の点を各点の画像中の座標値、明るさ、平面のパラメータなどからなるベクトルに変換する。領域の性質を領域中の各点のベクトルの各成分及び、同じ領域中の相隣り合う点についてのベクトルの差の各成分の度数分布で表わす。領域を作るには、上記の各成分の値の範囲を指定し、それを満す点の集まりを求める。人の歩く画像シーケンスの最初のフレームで、人のシャツの部分を中心としてズボン、頭の部分が求まるように、上記の領域生成のパラメータを手で与える。一連領域が求まると、各成分の分布から次のフレームで領域を求めるときのパラメータを自動的に定める。フレーム間の領域のマッキングは領域について前記の度数分布間の相関をヒッて行う。このようにして人の動きを求めた。

表2 内容別の発表数

線・領域等の抽出	3
線画等の解釈	5
3次元データの処理	8
shape from shading等	2
3次元データによる認識	3
3次元モデル記述	3
動画画像処理, optic flow	6
画像のマッチング, ステラ	4
処理ストラテジ, テク構築	7
応用他	2

Tomita [29]のテクスチャ解析法については[36]参照。

3. 線画等の解釈

Lowe等[4](スタンフォード大)は画像から抽出した線画を3次元的に解釈するための手法を提案した。対象(飛行機と飛行場)固有の知識は使わず、光源の方向、カメラの位置を既知として、面のエッジ上の特徴点と影のエッジの特徴点の対応、面のエッジと影のエッジの対応、結合点についての規則などの拘束を解釈に利用した。このようにして求めた量と

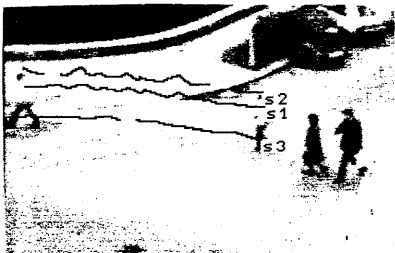


図1 抽出した人の動き

その影の対応関係などは対象の3次元構造を推定するのに利用できる。

Brooks [5] (スタンフォード大) は2次元の線画をモデルに基づいて解釈するシステム ACRONYM の報告を前回の IJCAI に続いて行った。ここでは3次元モデルからカメラへの見え方を予測する部分についてより詳しい発表があり、前報になかった処理結果もつけられている。なお [4], [34] は ACRONYM 関連の研究である。

Selfridge 等 [35] (ロチェスター大) はシーンを解釈するのに、物体の知識の他に物体を見つけて出すための知識 (meta-knowledge) を用いて処理した。空中写真からビルを見つけて出すため、まずビル領域の明るさや大きさなどを与え、それを大体満たす領域を見つかる。次に閾値を変化させて、最もビルらしい領域 (サイズを判断) になるようにする。得られた領域がビルの条件にあっていればビルとして次にその影を同様に求めてきた。

Tsujii 等 [25] は心臓の冠状動脈の X 線写真から得た線図形を解析した。システムはプロダクションシステムになっており、種々に絞られていく個別の血管を識別するために必要な仮定を立て、それを検証する。



図2 抽出したビルとその影

Mackworth 等 [6] (UBC) はタブレットから入力した地図を解釈するシステムのための認識モデルを提案している。シーンのドメインを階層構造とする。例えば認識の過程で Town の特徴 (instance) が見つかり、それより上位の Road-System と Geo-System についてのプロシジャ (schemata) が起動される。上位の schemata は下位で見つかった特徴に伴う特徴が自分にあるか調べる。それが見つかりとさらに別の schemata を起動するようにしている。

4. 3次元データの処理

4-1 shape from shading 他

North 等 [12] (Wayne III 立大) は従来の photometric stereo 法 (前回の IJCAI の解説 [37] を参照) の表面の反射率が一定 (テクスチャがない) で正反射成分 (specularity) が一定の物体だけに扱えないという制約を除くことのできる手法を発表した。各点の反射率が異なっていることを前提とした定式化を行って、各点ごとに、3つの既知光源に対する反射光の明るさから直接その点の反射率を求め、面の方向を出せるようにした。ある点で複数個の光源からの反射光を観測するとき、同時に2つ以上の光源に対して正反射は生じにくい。4つの光源を使って、その内から3つを4通りで組合せ、それぞれを使って反射率を求める。もし正反射が生じていなければそれらの違いは小さい。このときは平均値から面の向きを出す。4つの結果のずれが大きいときは4つの光源の1つに対して正反射が生じているものと判断し、1番小さな反射率を与える組合せから面の向きを求める。

Dhta 等 [33] は平面の上に複数個の同じ図形があるとき、これをカメラから見て面の傾きを求める手法を提案した。

4-2 3次元データによる認識

Oshima と Shirai [2] はスリット光によるレンジファインダで入力した3次元データを用いて平面と曲面からなる物体が構成されているシーンを認識する手法を提案した ([38] 参照)。

Ikeuchi [1] は物体の Z - $1/2$ D 画像をガウス写像を用いて変換し、法線の密度分布を得てこれをモデルと照合して物体の形状を解釈する手法を提案した ([39] 参照)。

Ballard 等 [3] (ロチェスター大) は Hough 変換を拡張して、シーンの中から、あらかじめ分った

いる多面体を見つけ出す手法を提案した。この手法ではシーンの3次元データから平面を求め各々の面の向き、面積、位置を使うことを前提としている。既知の物体についてこれらを記憶しておく。未知のシーンについて同様のデータを入力し、元の物体を拡大・縮小、回転、平行移動したものがシーンの中にあるものとして、この順でそれらを調べる。例えば回転については次のようにする。この処理の時点では拡大・縮小はないものとする。3つのパラメータを表せる3次元の累算器を用意し、全てを0にしておく。シーンの各面ごとに、記憶してある物体の面で同じ面積のもの（一般には複数）を見つけ、これらが同じ面だと仮定し、2つの面を重ね合わせるための座標軸の動き（3つのパラメータで表せる）を求める。このとき法線と法線を重ね合わせることになるが、それは一意的でなく重ね合わせた法線の周りの回転の自由度がある。この全てに対応する累算器の値を1だけ増大させる。この過程をくり返す。物体の回転に対応するパラメータは各々の法線の重ね合わせから得たパラメータ群の中に毎回含まれている（面積が同じで、対応はしていない面の場合を除く）そこで一番値の大きな累算器の位置から物体の回転を求める。

4-3 3次元モデルと記述

York等[11]（マサチューセッツ大）は物体の画像をマッチングすることを目的に物体の3次元時記述法を提案した。物体は *surface patch* の集りで表すものとし、その境界線（*B-spline*）はインタラクティブに作り、各 *patch* は人手で与え、境界線と *patch* を特徴づけるパラメータをネットワーク構造で蓄えた。

Boissonnat等[13]（INRIA）はレーザレンジファインダで入力した（穴のない）物体上の点の集りを多面体で近似する手法を発表した。最初に任意の3点 P, Q, R を選び、平面 PQR で点の集りを2つのグループ G_1, G_2 に分ける。 G_1, G_2 を独立に処理し、それぞれの中で平面 PQR から最も離れた点を P_1, P_2 とする。この時できる多面体（ $PP_1Q, QP_1R, RP_1P, P_1PQ, QP_1R, RP_1P$ ）を物体の第1近似とする。このようにしてできた三角形によって、点をさらにグループ化する。この過程を十分な近似精度が得られるまでくり返す。

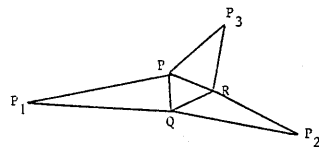


図3 点群の分割

O'Rourke[15]（ジョンズホプキンス大）は物体のモデルとして、与えられた3次元の点の集りに対する面積最小の多面体を考え、その求め方を示した。

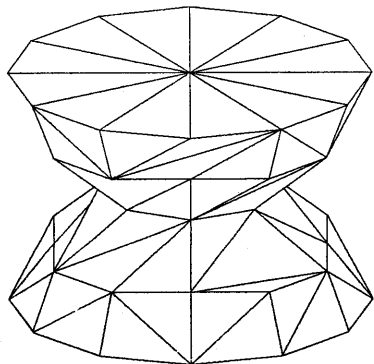


図4 点群の面積最小多面体近似結果

5. 動画像処理, *optic flow*

今回のIJCAIでは *optic (optical) flow* 関係の発表が目立った。 *optic flow* とは画像の中の物体が動くときの各点の見掛け上の速度の分布である。これは画像のシーケンスの各フレームから特徴点を抽出し、これらのフレーム間の相関から求め得るが *optic flow* をこのような間接法ではなく（画像の各点に一律な演算を施し、直接に求めるようにすること）に、関心が集りつつあるようである。

Horn等[49]（MIT）は *optic flow* を求める方法を示した（IJCAIでは発表されていないが関連があるので紹介する）。画像上の点 (x, y) の時刻 t の明る

さを $E(x, y, t)$ とする。物体上の点の明るさは変化しないものと仮定すると $\frac{dE}{dt} = 0$ である。両辺を t に関して偏微分すると

$$\frac{\partial E}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial E}{\partial t} = 0$$

が得られる。これは

$$(E_x, E_y) \cdot (U, V) = -E_t \quad (1)$$

と表現できる。これから点の動き (U, V) の明るさの変化方向 (E_x, E_y) の成分 V_E は

$$V_E = -E_t / \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (2)$$

となる。これだけからは (U, V) を求められないので、さらに各点での (U, V) のなめらかさを仮定する。これから

$$\begin{aligned} \delta b &= E_x U + E_y V + E_t \\ \delta c^2 &= \left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 \\ \delta^2 &= \iint (a^2 \delta c^2 + \delta b^2) dx dy \quad (a^2 \text{ は重み係数}) \end{aligned}$$

を最小にする U, V を解とする。 δ^2 を U, V で偏微分して 0 とおくと

$$E_x^2 U + E_x E_y V = a^2 \nabla^2 U - E_x E_t$$

$$E_x E_y U + E_y^2 V = a^2 \nabla^2 V - E_y E_t$$

が得られる。微分を差分でおきかえ、 U, V について整理すると

$$\left. \begin{aligned} (a^2 + E_x^2 + E_y^2)(U - \bar{U}) &= -E_x(E_x \bar{U} + E_y \bar{V} + E_t) \\ (a^2 + E_x^2 + E_y^2)(V - \bar{V}) &= -E_y(E_x \bar{U} + E_y \bar{V} + E_t) \end{aligned} \right\} (3)$$

が得られる。画像全体の点についてこの式を立て、それらを連立方程式として解けば、全ての点の (U, V) が求められる。 Horn 等は Gauss-Seidel 法によってこれを解いた。彼等の方法で物体の平行移動だけでなく回転も扱うことができる。

Yachida [26] は物体の速度ベクトルを求めるのに、フレーム間で特徴点の対応がとれている場合を扱った。拘束条件は Horn 等と同じである。特徴についてフレーム間の対応から速度 (U, V) を求め、式 (3) の (\bar{U}, \bar{V}) にその値を入れ、近傍の点の速度を求める。さらにそれに隣接する点について式 (3) で速度を求め、この過程を全ての点で処理するまでくり返して各点の速度を出した。

Glazer [10] (マサチューセッツ大) は Horn 等の 2 つの仮定の内、物体上の点の明るさが変化しないという仮定だけから optic flow を出す手法を提案した。 $X-Y$ 平面上、ある点の明るさの変化の方向に直角で、原点からの距離が式 (2) の V_E で与えられる直線を考える。速度を、原点を始点とするベクトルで表すと、それはこの直線上のどこかにある。もし対象とする点の近傍の点が同じ速度を持つとき (3×3 の窓の中で一定と仮定している) 同様にして別の直線ができる。これらの交点から速度を求める。3 つ以上の直線に対しては、直線への距離の二乗和が最小となるような点を求める。 Horn 等の方法では各点の速度を求めるのに全体の点が必要なためもし画像の点を一様に処理すると明るさのなめらかさの仮定に反する点 (エッジなど) も含めて計算してしまう欠点があるが、この方法では局所的な計算だけで optic flow を求めることができる。

Lawton [23] (マサチューセッツ大) は物体の動きが直線上や平面上に限られている場合、この拘束によって optic flow が求めやすいことを論じている。

Prazdny [22] (メリランド大) は物体が静止している空間をカメラが直線運動するとき、ある点に射る視線 (projecting ray) の角速度をその点の明るさの空間微分と時間微分から導くことを示し、これを使って物体上の n 点の相対距離 (それぞれの点から画像中心までの距離の比率) が求められることを示した。

Webb 等 [20] (テキサス大) は物体が剛体で、各点の動きが固定した軸に対する回転と

平行移動であるときに、その画像から各点の3次元座標を求める問題を扱った。彼等はこの仮定が成立する時に物体上の任意の点が画像の中で同じ物体の適当な参照点を固定して考えたとき楕円となることを示し、これから画像が与えられたとき軸の位置、角速度、平行移動の速度を求められることを示した。彼等は暗室で人の足や腕に明りをつけて直線上を歩かせて撮った映画のデータを上の手法で解析した。

Dreschler等[21](ハンブルグ大)は画像のシーケンスの各フレームから明るすのGauss曲率を使って特徴点を抽出し、特徴点のフレーム間のマッチングをリラクゼーション法で行った。これから特徴点の3次元座標を求め、画像中の物体(自動車)を3次元的なconvex hullで表した。(発表論文の中では特徴点の抽出以外についての詳細は別の論文を参照している。)

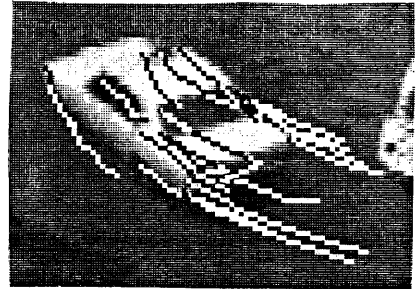


図5 自動車特徴点の軌跡

6. 画像のマッチング, ステレオ

Lucas等[17](CMU)は2つの画像に同じ部分があるときそれを見つける問題を扱った。まず一次元の関数 $F(x)$ と、それが左だけずれた $G(x) = F(x+l)$ を考える。 l が十分小さいとき
 $F'(x) \approx \{F(x+l) - F(x)\} / l = \{G(x) - F(x)\} / l$
 だから

$$l \approx \{G(x) - F(x)\} / F'(x)$$

この l をNewton-Raphsonの逐次近似法で求めた。この手法を多次元の場合や一方の画像が他方に対し、回転、拡大、縮小、変形している場合にも使えるように一般化した。またステレオ対の画像にこの手法を適用している。

Baker等[8](スタンフォード大)はステレオ対の一方の画像の対応点をもう一方の画像の対応線に見つける問題を扱った。彼等は対応の単位を大きくし組合せを減らすための点と点の対応づけを行う前に線上の画素をedge(区間)に分けてedge間のマッチングを行った。また一方の画面で左側から右へ順に走査し、その対応点をもう一方の画面から見つけるとき、その画面中の対応点の順序が逆転しないという拘束を用いて、一番この条件が満たされるものを解とするためのダイナミックプログラミングの問題とした。また最初に分解能を落した画面間の対応をとり、対応点の存在する範囲を限定してから分解能を順次上げるようにして効率を上げている。

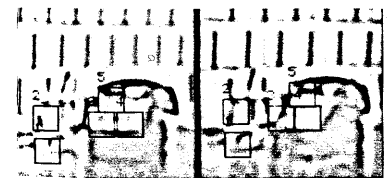


図6 指定した領域(左)に対応する領域(右)

Genery [16](JPL)はシーンの各部の特徴がベクトルで表せ、シーン全体が一樣な変換を受けているとき、最初のシーンの各部と他方のシーンの各部の対応及び、シーンの変換規則を求める問題を扱った。処理はシーケンシャルに行い、各時点では一方のシーンの1つの特徴と他方のシーンの1つの特徴との対応を仮定し、その変換規則を最小二乗法で求め、

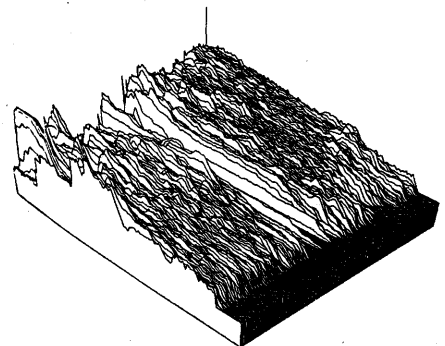


図7 ステレオ対の照合により復元した地勢

この対応の正しさの推定を Bayes の推論規則で行っている。例として火星の風景をヒリ上げ、岩石を楕円で近似した2つのシーンのマッチングを行っている。

Nagel等[14](ハンブルグ大)は剛体上の既知の点(5つ以上)が回転と移動を行ったとき前後の画像の点の対応から移動と回転を求める式を導いた。

7. 処理ストラテジ, データ構造

Weymouth[7](マサチューセッツ大)は n 次元のシーン(屋外風景)から特定の対象を抽出するとき、その対象の3次元的な位置とサイズの概略が既知として処理範囲を限った。

Sabbah[28](ロチェスター大)は origami world について方向つき線画を入力として、エッジ線, Lジョイント, 面, 物体などからなる階層構造の処理をリラクスゼーション法によって処理する手法を提案している。

O'Rourke[31](ジョンズホプキンス大)は一般化された Hough 変換などで必要となる多次元の累算器について、同じ記憶量で高い分解能を得る手法を提案した。従来の方法では各次元の値域を等間隔に分割するが、この方法では多次元空間を大きさの異なる多次元の長方形に分割する。累算するとき、該当する空間の位置に点をおき、もし該当する長方形の中の点の数が閾値より大きければそれを n 分し、その各々の中の点の数が等しく、しかも中での分布のしかたがほぼ一樣となるようにする。もし点の数が少なければ近隣の長方形と統合したときその中の点の数が多くなりすぎず分布も一樣であるときに限って統合する。

Bolles等[9](SRI)は点群への曲線のあてはめを扱った。元来一定の傾向を示すべき点群の中にこれとかけ離れた点(gross error, 本来は別グループに属すべきものなど)が含まれているとき、一担曲線をあてはめるときからこれからのすれの大きい点を捨てる方法がある。このとき gross error も含めてあてはめを行うための良い結果が得られない場合があった。彼等の手法では点群の中から必要最小限の点を選び、これに曲線をあてはめ、残りの点がこの曲線にうまく合うか調べる。もしそうでなければ選んだ点に gross error が含まれている可能性があるのだから別の組合せを行い、大部分がうまく合えばこのあてはめを正しいものとする。大きく離れている点は gross error として除いた後、従来のように最小二乗法などで曲線をあてはめる。この手法をスリット法によるレンジファインダでとった直径既知の円柱を含むシーンの3次元データから円柱を見つけ出すのに適用し、点群への楕円のあてはめと、楕円の中点を結んで円柱の中心線を出すのに使った。

本章に關係する発表にはこの他 Zdráhal[18], Hinton[19], Sloan[30]のものがあった。

8. 応用他

Firschein等[32](ロッキード)は大砲の砲弾のX線像を解析した。砲弾の軸に平行な方向からのX線写真の画像を水平に走査すると明るさの分布ができる。明るさは通常筒が明るく内部は暗く、そのカーブは多項式で近似できる。もし内部に欠陥があるときは、近似したカーブからはずれた点が出てくるのでこれによって検出する。この他

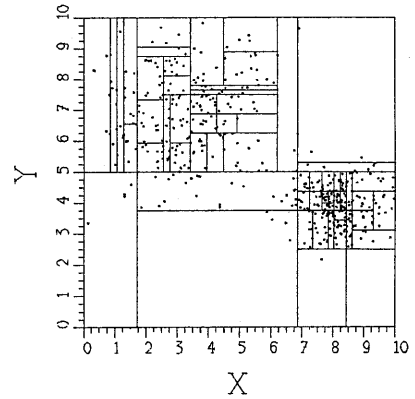


図8 2次元空間の分割例

の欠陥についても扱っている。

Deering [24] (UCB) は盲人の歩行を助けるためのシステムを研究している。カメラを盲人の肩につけ、64×64ビットの画像を毎秒1〜2枚ヒリ、これからエッジを出す。各フレームのエッジはカメラのフレーム間の移動量を既知として前のフレームのエッジから予測したものと比較され、同じものが前のフレームになれば新たに登録される。エッジの3次元位置はフレーム間の対応から求めることができる。歩道、ポスト、電柱などは3次元のエッジとして記憶されており、新たに登録されたエッジはこのモデルと比較される。シミュレーション実験で歩道や障害物を求めることができた。

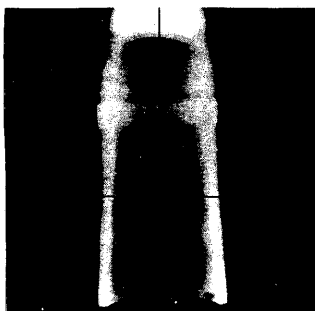


図9 砲弾のX線写真

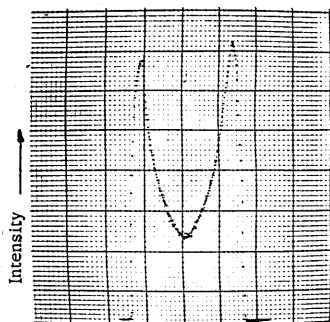


図10 水平線上の明るさの分布



図11 歩道のシーン(左)と歩道及び自動車(右)

9. あとがき

IJCAIの発表を通読してみても、有力な手法であるHough変換、*shape from shading*, *optic flow*関連の研究等に極力対象固有の知識やヒューリスティクスを付けようとしている傾向があると感じた。これらは人工知能を特徴づけるものではあるが使い所に着目するのでは使わない方が良いとも言える。この傾向はビジョン分野の成熟を示すものともみえる。

本稿はかけ足の紹介になったので不十分な点もあると思われる。また読み違いがあればお詫言願いたい。発表内容に興味を持つきっかけとなれば幸いである。本稿作成に当って討論などをさせて頂いた電子技術総合研究所視覚情報研究室の皆様へ感謝します。

< 参考文献 >

[1]~[35]の出典は第7回IJCAI。分野別はプログラムによる。

VISION: 3-D (1)

- [1] Ikeuchi, K.: "Recognition of 3-D Objects Using the Extended Gaussian Image"
- [2] Oshima, M. and Shirai, Y.: "Object Recognition Using Three-Dimensional Information"
- [3] Ballard, D. and Sabbah, D.: "On Shapes"

VISION: 3-D (2)

- [4] Lowe, D. and Binford, T.: "The Interpretation of Three-Dimensional Structure from Image Curves"
- [5] Brooks, R.: "Model-Based Three Dimensional Interpretations of Two Dimensional Images"

- [6] Mackworth, A. and Havens, W.: "Structuring Domain Knowledge for Visual Perception"
- [7] Weymouth, T.: "Experiments In Knowledge-Driven Interpretation of Natural Scenes"

VISION: 3-D (3)

- [8] Baker, H. and Binford, T.: "Depth from Edge and Intensity Based Stereo"
- [9] Bolles, R. and Fischler, M.: "A RANSAC-Based Approach to Model Fitting and its Application to Finding Cylinders in Range Data"
- [10] Glazer, F.: "Computing Optic Flow"

- [11] York, B., Hanson, A. and Riseman, E.: "3-D Object Representation and Matching with B-Splines and Surface Patches"

VISION: 3-D (4)

- [12] Coleman, N. and Jain, R.: "Shape from Shading for Surfaces with Texture and Specularity"
 [13] Boissonnat, J. and Faugeras, O.: "Triangulation of 3-D Objects"
 [14] Nagel, H. and Neumann, B.: "On 3D Reconstruction from Two Perspective Views"
 [15] O'Rourke, J.: "Polyhedra of Minimal Area as 3D Object Models"

VISION: 3-D (5)

- [16] Gennery, D.: "A Feature-Based Scene Matcher"
 [17] Lucas, B. and Kanade, T.: "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision"
 [18] Zdrahal, Z.: "A Structural Method of Scene Analysis"
 [19] Hinton, G.: "A Parallel Computation that Assigns Canonical Object-Based Frames of Reference"

VISION: MOTION (1)

- [20] Webb, J. and Aggarwal, J.: "Structure from Motion of Rigid and Jointed Objects"
 [21] Dreschler, L. and Nagel, H.: "Volumetric Model and 3D Trajectory of a Moving Car Derived from Monocular TV-Frame Sequence of a Street Scene"
 [22] Prazdny, K.: "A Simple Method for Recovering a Relative Depth Map in the Case of a Translating Sensor"
 [23] Lawton, D.: "Optic Flow Field Structure and Processing Image Motion"

VISION: MOTION (2)

- [24] Deering, M. and Collins, C.: "Real-Time Natural Scene Analysis for a Blind"
 [25] Tsuji, S. and Nakano, H.: "Knowledge-Based Identification of Artery Branches in Cine-Angiograms"
 [26] Yachida, M.: "Determining Velocity Map by 3-D Iterative Estimation"
 [27] Radig, B.: "Inferential Region Extraction in TV-Sequences"

VISION: LOW-LEVEL (1)

- [28] Sabbah, D.: "Design of a Highly Parallel Visual Recognition System"
 [29] Tomita, F.: "Hierarchical Description of Textures"
 [30] Sloan, K.: "Dynamically Quantized Pyramids"
 [31] O'Rourke, J.: "Dynamically Quantized Spaces for Focusing the Hough Transform"

VISION: LOW-LEVEL (2)

- [32] Firschein, O. and Fischler, M.: "Perceptual Problems in Analyzing Industrial Radiographs"
 [33] Ohta, Y., Maenobu, K. and Sakai, T.: "Obtaining Surface Orientation from Texels under Perspective Projection"
 [34] MacVicar-Whelan, P. and Binford, T.: "Intensity Discontinuity Location to Sub Pixel Precision"
 [35] Selfridge, P. and Sloan, K.: "Reasoning About Images: Application to Aerial Image Understanding"

- [36] 畠田: "一般テクスチャーの適応的解析"
 コンピュータビジョン研究会資料 8-4 (1980)

- [37] 大田: "第6回人工知能国際会議のVision部門を聴いて"
 コンピュータビジョン研究会資料 2-4 (1979)

- [38] 大島, 白井: "距離情報を用いた物体認識"
 パターン認識と学習研究会資料 PRL80-11 (1980)

- [39] 池内: "拡張ガウス像による3次元被写体の観測方向の決定"
 コンピュータビジョン研究会資料 15-1 (1981)

- [40] Horn, B. and Schunck, B.: "Determining Optical Flow"
 A.I. Memo - 572 MIT (1980)