

目 次

まえがき	iii
謝 辞	vi
参考文献に引用されている学会予稿集と特別論文集の簡略記法	xi
訳者序文	xiii

第1章 コンピュータ・ビジョンの諸問題.....	I
---------------------------------	----------

1.1 単純な視覚の目標の達成	I
1.2 上位レベルおよび下位レベル	3
1.3 一連の表現	8
1.4 コンピュータの役割	12
1.5 コンピュータ・ビジョンの研究と応用	14

第I部 広義画像

第2章 画像形成	21
-----------------------	-----------

2.1 画像	21
2.2 画像モデル	22
2.2.1 画像関数	22
2.2.2 画像形成の幾何学	23
2.2.3 反射	27
2.2.4 空間的性質	30
2.2.5 色	38
2.2.6 ディジタル画像	44
2.3 コンピュータ・ビジョン用撮像装置	53
2.3.1 写真撮像	54
2.3.2 距離のセンシング	65
2.3.3 再構成画像	71

第3章 早期処理	79
-----------------------	-----------

3.1 本質的な構造の復元	79
---------------------	----

3.2 画像のフィルタリング	81
3.2.1 テンプレート・マッチング	83
3.2.2 ヒストグラム変換	88
3.2.3 背景消去	91
3.2.4 フィルタリングと反射率モデル	92
3.3 局所的エッジの検出	95
3.3.1 エッジ・オペレータの種類	97
3.3.2 エッジに対するしきい値処理の方略	101
3.3.3 3次元エッジ・オペレータ	103
3.3.4 エッジ・オペレータはどの程度の能力を持つか	105
3.3.5 エッジ検出の緩和法	107
3.4 幾何学に基づく距離情報	110
3.4.1 ステレオ視と三角測量	111
3.4.2 ステレオ視のための緩和法	113
3.5 反射率モデルからの表面の向きの決定	117
3.5.1 反射率関数	117
3.5.2 表面のグラディエント	119
3.5.3 ホトメトリック・ステレオ	124
3.5.4 緩和法による陰影からの形状決定	125
3.6 オプティカル・フロー	128
3.6.1 フローの基本拘束条件	128
3.6.2 緩和法によるオプティカル・フローの計算法	129
3.7 解像度ピラミッド	131
3.7.1 濃度値の統合	133
3.7.2 相関におけるピラミッド構造	134
3.7.3 エッジ検出におけるピラミッド	136

第Ⅱ部 セグメント化画像

第4章 境界検出	147
4.1 エッジ要素の結合について	147
4.2 近似的輪郭線位置の近傍の探索	149
4.2.1 先駆的輪郭線の調整	150
4.2.2 エッジ空間での非線形相関	150
4.2.3 分割統治法による輪郭抽出	151
4.3 曲線検出のための Hough の方法	151

4.3.1	グラディエントの利用	154
4.3.2	二, 三の例	155
4.3.3	パラメータ空間の処理と画像空間の処理の関係	157
4.3.4	Hough 変換の一般化	158
4.4	グラフ探索によるエッジ追跡	160
4.4.1	良い評価関数	164
4.4.2	全ての輪郭線の検出	165
4.4.3	A-アルゴリズムに代わる他の諸方法	168
4.5	動的計画法によるエッジ追跡	170
4.5.1	動的計画法	170
4.5.2	画像のための動的計画法	171
4.5.3	低解像度評価関数	174
4.5.4	動的計画法に関する理論的问题点	176
4.6	輪郭追跡	178
4.6.1	濃淡画像への拡張	180
4.6.2	高次元画像データへの一般化	181
第5章 領域生成		184
5.1	領域	184
5.2	局所的手法: 図形の色分け	186
5.3	大域的手法: しきい値処理による領域生成	187
5.3.1	多次元空間におけるしきい値処理	189
5.3.2	階層的な精細化	193
5.4	分割と併合	194
5.4.1	領域生成への状態空間的近接法	195
5.4.2	下位レベルにおける境界のデータ構造	195
5.4.3	グラフ向きの領域構造	197
5.5	意味の組み入れ	199
第6章 テクスチャ		206
6.1	テクスチャとは何か	206
6.2	テクスチャ・プリミティブ	209
6.3	テクセル配置の構造的モデル	212
6.3.1	文法によるモデル	212
6.3.2	形状文法	215
6.3.3	木文法	219

6.3.4 配列文法	222
6.4 パターン認識問題としてのテクスチャ	224
6.4.1 テクスチャ・エネルギー	229
6.4.2 空間的濃淡レベル依存性	231
6.4.3 領域テクセル	233
6.5 テクスチャ勾配	234

第7章 動き 243

7.1 動きの理解	243
7.1.1 対象領域に依存しない理解	244
7.1.2 対象領域に依存した理解	246
7.2 オプティカル・フローの理解	249
7.2.1 展開の中心	249
7.2.2 隣接性、奥行および衝突	251
7.2.3 表面の向きとエッジ検出	253
7.2.4 自分の動き	258
7.3 画像系列の理解	259
7.3.1 離散的画像からのフローの計算	260
7.3.2 動きからの剛体の推定	263
7.3.3 動く光表示に対する解釈——対象領域に依存しない近接法	269
7.3.4 人間の動きの理解——モデル指導型の近接法	273
7.3.5 セグメント化された画像	277

第III部 幾何構造

第8章 2次元幾何構造の表現 291

8.1 2次元幾何構造	291
8.2 境界の表現	292
8.2.1 折れ線	292
8.2.2 チェイン・コード	296
8.2.3 $\phi-s$ 曲線	298
8.2.4 フーリエ記述子	299
8.2.5 円錐曲線	300
8.2.6 B-スプライン	301
8.2.7 たんざく木	307
8.3 領域の表現	311

8.3.1	空間占有配列	311
8.3.2	y 軸表現	312
8.3.3	4 進木	314
8.3.4	中心軸変換	316
8.3.5	複雑な領域の分解	317
8.4	形状の基本的性質	319
8.4.1	面積	319
8.4.2	扁平性	320
8.4.3	オイラー数	321
8.4.4	稠密性	321
8.4.5	傾き密度関数	322
8.4.6	射影情報	323
8.4.7	くぼみ木	323
8.4.8	形状数	325
第 9 章 3 次元構造の表現		331
9.1	立体とその表現	331
9.2	表面による表現	332
9.2.1	面で構成された表面	332
9.2.2	スプラインに基づいた表面	338
9.2.3	球面上の関数として表される表面	339
9.3	一般化円筒による表現	344
9.3.1	一般化円筒座標系とその性質	346
9.3.2	一般化円筒の検出	349
9.3.3	骨格の離散的な体積的表現	351
9.4	体積的表現	352
9.4.1	空間の占有	352
9.4.2	セル分割	353
9.4.3	構成的立体幾何	354
9.4.4	立体表現に関するアルゴリズム	357
9.5	線画の解釈	366
9.5.1	線画と 3 次元プリミティブ立体とのマッチング	369
9.5.2	領域の物体へのグループ分け	370
9.5.3	線のラベルづけ	373
9.5.4	平面に関する推論	380

第IV部 関係による構造

第10章 知識の表現と使用	397
10.1 表現	397
10.1.1 知識ベース——モデルと処理過程	398
10.1.2 類比表現と命題表現	400
10.1.3 手続き的知識	402
10.1.4 コンピュータによる表現	403
10.2 セマンティックネット	405
10.2.1 セマンティックネットの基礎	405
10.2.2 推論のためのセマンティックネット	410
10.3 セマンティックネットの例	418
10.3.1 フレームの実現	418
10.3.2 位置ネットワーク	421
10.4 複雑な視覚システムにおける制御の問題	427
10.4.1 並列計算と直列計算	427
10.4.2 階層的制御と非階層的制御	428
10.4.3 確信維持と目標達成	434
第11章 マッチング	441
11.1 マッチングのいくつかの側面	441
11.1.1 解釈：構成とマッチングとラベル付け	441
11.1.2 アイコニック構造、幾何構造、および関係構造マッチング	443
11.2 グラフ理論的アルゴリズム	445
11.2.1 アルゴリズム	448
11.2.2 計算量	450
11.3 グラフ理論的アルゴリズムの実現	451
11.3.1 マッチングの尺度	451
11.3.2 バックトラック探索	454
11.3.3 連合グラフ法	457
11.4 実際の面でのマッチング	463
11.4.1 決定木	463
11.4.2 決定木と部分グラフ同形写像	471
11.4.3 形式化し難い特徴の分類	472
11.4.4 複雑なマッチング機械	474

第12章 推 論	480
12.1 一階述語計算	481
12.1.1 節形式の構文（非形式的）	481
12.1.2 非節形式の構文と論理学的意味（非形式的）	482
12.1.3 非節形式から節形式への変換	485
12.1.4 定理証明	487
12.1.5 述語計算と意味ネットワーク	490
12.1.6 述語計算と知識表現	493
12.2 計算機による推論	496
12.3 プロダクション・システム	498
12.3.1 プロダクション・システムの詳細	500
12.3.2 パターン・マッチング	501
12.3.3 例題	503
12.3.4 プロダクション・システム論議	509
12.4 情景のラベル付けと制約による緩和法	512
12.4.1 無矛盾かつ最適なラベル付け	512
12.4.2 離散的ラベル付けアルゴリズム	515
12.4.3 線形緩和演算子と線のラベル付けの例題	521
12.4.4 非線形演算子	526
12.4.5 線形計画法としての緩和法	529
12.5 能動的知識	539
12.5.1 仮 説	540
12.5.2 HOW-TO (どうやって) プロセスと SO-WHAT (そうすると) プロセス	541
12.5.3 制御プリミティブ	541
12.5.4 能動的知識の諸側面	543
第13章 目標達成	549
13.1 記号的プラン作成	550
13.1.1 世界の表現	551
13.1.2 動作の表現	552
13.1.3 積木	554
13.1.4 フレーム問題	556
13.2 コストつきプラン	557
13.2.1 プラン作成, 評価, およびそれらの関係	559
13.2.2 簡単なプランの評価	560

12.2.3 強化されたプランの評価	565
13.2.4 実際的簡単化	567
13.2.5 プラン作成にもとづくビジョン・システム	568
補遺 1 数学的道具立要目	581
A1.1 座 標 系	581
A1.1.1 デカルト座標	581
A1.1.2 極および極空間座標系	581
A1.1.3 球および円筒座標系	583
A1.1.4 斜次座標系	583
A1.2 3 角 法	584
A1.2.1 平面3角法	584
A1.2.2 球面3角法	585
A1.3 ベ ク ト ル	585
A1.4 行 列	588
A1.5 直 線	591
A1.5.1 2点による表現	592
A1.5.2 点と方向による表現	592
A1.5.3 勾配と切片による表現	592
A1.5.4 比による表現	592
A1.5.5 法線と原点からの距離（直線方程式）による表現	592
A1.5.6 パラメータによる表現	593
A1.6 平 面	594
A1.7 幾何変換	595
A1.7.1 回 転	595
A1.7.2 尺度変換	597
A1.7.3 斜 傾	597
A1.7.4 平行移動	598
A1.7.5 透視変換	598
A1.7.6 直線と平面の変換	599
A1.7.7 要 約	599
A1.8 カメラ特性の測定と逆透視変換	600
A1.8.1 カメラ特性の測定	601
A1.8.2 逆透視	602
A1.9 最小2乗誤差による当てはめ	604
A1.9.1 擬似逆変換法	605

A1.9.2	主軸法	607
A1.9.3	擬似逆行列法による曲線当てはめ	608
A1.10	円錐曲線	609
A1.11	内挿	611
A1.11.1	1次元の場合	611
A1.11.2	2次元の場合	611
A1.12	高速フーリエ変換	611
A1.13	正20面体	614
A1.14	根の求め方	615
補遺 2	高次制御機構	620
A2.1	標準的な制御構造	620
A2.1.1	再帰的呼出し	621
A2.1.2	コルーチン呼出し	622
A2.2	本質的に逐次的な機構	623
A2.2.1	自動バックトラッキング	623
A2.2.2	文脈の切替え	624
A2.3	逐次のあるいは並列的機構	624
A2.3.1	モジュールとメッセージ	624
A2.3.2	優先ジョブ待合せ行列	627
A2.3.3	パターン呼出し	629
A2.3.4	黒板システム	631
索引	635