

# 1

## イントロダクション

画像処理の位置づけと分類	010
本書の構成	011
座標系について	013

# 2

## デジタル画像の撮影

2-1	デジタルカメラの構成	016
2-2	画像生成の幾何学的モデル	017
2-2-1	ピンホールカメラ	017
2-2-2	透視投影モデル	018
2-2-3	レンズモデル	020
2-3	撮影パラメータ	024
2-3-1	撮影画角	024
2-3-2	画像の明るさ	028
2-3-3	被写界深度	032
2-3-4	フレームレート	037
2-4	画像のデジタル化	038
2-4-1	グレースケール画像	038
2-4-2	標本化と量子化	039
2-4-3	カメラ応答関数	046
2-4-4	時系列画像	049
2-5	カラー画像	050
2-5-1	加法混色と減法混色	050
2-5-2	グレースケール画像とカラー画像	052
2-5-3	カラー画像の撮影	052

# 3

## 画像の性質と色空間

3-1	画像の性質を表す諸量	058
3-1-1	画像の統計量	058
3-1-2	画像のノイズ	061

3-1-3	コントラストとシャープネス	064
3-2	人間の視覚	068
3-3	表色系と色空間	070
3-3-1	マンセル表色系	070
3-3-2	CIE-RGB表色系	071
3-3-3	CIE-XYZ表色系	073
3-3-4	CIE-L*a*b*色空間	075
3-3-5	sRGB色空間	076
3-3-6	輝度信号と色差信号	077
3-3-7	HSI変換と逆変換	079

# 4

## 画素ごとの濃淡変換

4-1	明るさ・コントラストの変換	084
4-1-1	トーンカーブ	084
4-1-2	折れ線型トーンカーブによる変換	085
4-1-3	累乗型トーンカーブ	086
4-1-4	S字トーンカーブによる変換	088
4-1-5	ヒストグラム平坦化	088
4-2	特殊な効果	090
4-2-1	濃淡の反転	090
4-2-2	ポスタリゼーションと2値化	090
4-2-3	ソラリゼーション	091
4-3	カラー画像の変換	092
4-3-1	R, G, Bトーンカーブによる変換	092
4-3-2	擬似カラー	093
4-3-3	色相・彩度・明度の変化	095
4-3-4	色補正	096
4-4	複数の画像の利用	098
4-4-1	画像間演算	098
4-4-2	マスク処理	101

## 5 領域に基づく濃淡変換 (空間フィルタリング)

5-1	空間フィルタリング	104
5-2	平滑化	106
5-2-1	平均化	106
5-2-2	重み付き平均化	106
5-2-3	特定方向の平滑化	108
5-3	エッジ抽出	109
5-3-1	微分フィルタ	109
5-3-2	プリューウィットフィルタ, ソーベルフィルタ	111
5-3-3	2次微分とラプラシアン	113
5-3-4	エッジ検出	116
5-4	鮮鋭化	121
5-5	エッジを保存した平滑化	125
5-5-1	局所領域の選択と平均化を行うフィルタ	125
5-5-2	k最近隣平均化フィルタ	126
5-5-3	バイラテラルフィルタ	126
5-5-4	ノンローカルミンフィルタ	128
5-5-5	メディアンフィルタ	130

## 6 周波数領域における フィルタリング

6-1	画像のフーリエ変換	132
6-1-1	2次元フーリエ変換	132
6-1-2	画像のフーリエ変換	133
6-2	周波数フィルタリング	135
6-2-1	周波数フィルタリング	135
6-2-2	空間フィルタリングと 周波数フィルタリングの関係	136
6-3	ローパスフィルタ, ハイパスフィルタ, バンドパスフィルタ	138
6-3-1	ローパスフィルタ	138
6-3-2	空間フィルタリングによる 平滑化との関係	141

6-3-3	ハイパスフィルタ	143
6-3-4	バンドパスフィルタ	144
6-4	高域強調フィルタ	145
6-4-1	高域強調フィルタ	145
6-4-2	空間フィルタリングによる鮮鋭化との関係	146

## 7 画像の復元と生成

7-1	ぼけ・ぶれ画像の復元	148
7-1-1	画像の劣化モデル	148
7-1-2	点拡がり関数のモデル化とパラメータ	149
7-1-3	逆フィルタ・ウィーナフィルタによる 画像復元	152
7-2	さまざまな画像復元・生成	154
7-2-1	ノイズ除去	154
7-2-2	画像超解像	157
7-2-3	ハイダイナミックレンジ画像	158
7-2-4	ガイド画像を利用した画像処理	159
7-2-5	勾配に基づく画像処理	161
7-3	コンピュータショナルフォトグラフィ	164
7-3-1	コンピュータショナルフォトグラフィの 考え方	164
7-3-2	光線の記録とその利用	165
7-3-3	光線の積分と符号化撮像	167

## 8 幾何学的変換

8-1	線形変換	172
8-1-1	線形変換の一般形	172
8-1-2	拡大・縮小	172
8-1-3	回転	173
8-1-4	鏡映	174
8-1-5	スキュー	174

8-1-6	合成変換	175
8-2	同次座標とアフィン変換・射影変換	177
8-2-1	平行移動	177
8-2-2	同次座標	178
8-2-3	アフィン変換	178
8-2-4	射影変換	180
8-2-5	合成変換	181
8-3	画像の再標本化と補間	182
8-3-1	画像の再標本化	182
8-3-2	ニアレストネイバー	183
8-3-3	バイリニア補間	183
8-3-4	バイキュービック補間	184
8-4	イメージモザイク	186
8-4-1	イメージモザイクとその概略処理手順	186
8-4-2	特徴点の検出とマッチング	187
8-4-3	幾何学的変換の推定	188
8-4-4	画像の幾何学的変換と合成	190
8-4-5	平面パノラマ, 円筒面パノラマ, 球面パノラマ	191

## 9

### 2値画像処理

9-1	2値化	194
9-1-1	2値化の意味	194
9-1-2	p-タイル法	195
9-1-3	モード法	196
9-1-4	判別分析法	196
9-2	2値画像の基本処理と計測	198
9-2-1	連結性	198
9-2-2	輪郭追跡	199
9-2-3	輪郭追跡の応用例	200
9-2-4	収縮・膨張処理	201
9-2-5	収縮・膨張処理の応用例	202
9-2-6	ラベリング	203

9-2-7	形状特徴パラメータ	205
9-2-8	距離と距離変換画像	206
9-3	線画像のベクトル化	208
9-3-1	ベクトル化処理の流れ	208
9-3-2	細線化手法	209
9-3-3	細線の特徴点抽出	210
9-3-4	ベクトル化	211
9-3-5	ベクトル化の応用例	212

## 10 領域処理

10-1	領域処理のための特徴量	214
10-1-1	領域のテクスチャ	214
10-1-2	2次元フーリエ変換による周波数特徴量	214
10-1-3	ガボールフィルタによる局所周波数特徴量	216
10-1-4	同時生起行列を用いた統計的特徴量	218
10-2	領域分割処理	220
10-2-1	領域分割処理のアプローチ	220
10-2-2	隣接画素の階層的な統合による 領域分割処理	220
10-2-3	画素特徴量のパラメータ空間での クラス分けによる領域分割処理	221
10-2-4	画素特徴を効率よくクラス分けする ミーンシフト	222
10-2-5	対象物と背景の間のエッジを利用した 領域分割処理	227
10-2-6	グラフカットを用いた領域分割処理	228

## 11 パターン・図形・特徴の検出とマッチング

11-1	テンプレートマッチングによる パターンの検出	234
11-1-1	テンプレートマッチング	234

11-1-2	類似度	235	12-1-7	ハッシングによる近似最近傍探索	269
11-1-3	サブピクセル位置推定	236	12-1-8	線形判別分析	270
11-1-4	高速探索法	237	12-1-9	部分空間法	271
11-1-5	参照画素の選択による高速化	238	12-2	<b>機械学習の概要</b>	273
11-2	<b>エッジ情報とヒストグラムによる</b>		12-2-1	教師なし学習	273
	<b>パターン検出</b>	239	12-2-2	教師あり学習	273
11-2-1	エッジ情報を用いたチャンファーマッチング	239	12-3	<b>教師なし学習とクラスタリング</b>	274
11-2-2	ヒストグラム情報を用いたアクティブ探索	240	12-3-1	k-means法によるクラスタリング	274
11-3	<b>特徴点検出</b>	243	12-3-2	主成分分析による次元圧縮	275
11-3-1	コーナー検出	243	12-4	<b>教師あり学習</b>	277
11-3-2	DoG画像を用いた特徴点と		12-4-1	アダブースト	277
	スケールの検出	246	12-4-2	サポートベクタマシン	279
11-4	<b>特徴点の記述とマッチング</b>	248	12-4-3	ランダムフォレスト	283
11-4-1	スケールと回転に不変な		12-5	<b>機械学習による画像認識の応用例</b>	286
	特徴記述(SIFT)	248	12-5-1	物体検出	286
11-4-2	2値特徴量	250	12-5-2	類似画像検索	290
11-4-3	対応点マッチング	251	12-5-3	人体姿勢推定	292
11-5	<b>図形要素検出</b>	252			
11-5-1	ハフ変換	252			
11-5-2	一般化ハフ変換	256			
11-5-3	ランダム化ハフ変換	257			
11-6	<b>顕著性マップ</b>	258			
11-6-1	特徴統合理論	258			
11-6-2	顕著性マップ	258			

## 12 パターン認識

12-1	<b>パターン認識の基本的なアプローチ</b>	262	13-1	<b>ニューラルネットワーク</b>	294
12-1-1	パターン認識の流れ	262	13-1-1	単純パーセプトロン	294
12-1-2	画像からの特徴抽出	263	13-1-2	誤差逆伝播法による ニューラルネットワークの学習	295
12-1-3	プロトタイプ法による識別	264	13-2	<b>深層学習</b>	298
12-1-4	クラスの分布を考慮した識別	265	13-2-1	たたみ込みニューラルネットワーク(CNN)	298
12-1-5	NN法とkNN法	266	13-2-2	汎化能力の向上	300
12-1-6	kd-tree法	267	13-3	<b>CNNによる画像認識と画像生成</b>	302
			13-3-1	CNNによる画像認識	302
			13-3-2	画像分類	303
			13-3-3	物体検出	304
			13-3-4	セマンティックセグメンテーション	306
			13-3-5	姿勢推定	307
			13-3-6	GAN	308

## 13 深層学習による画像認識と生成

# 14 動画像処理

14-1	差分画像を用いた移動体検出	312
14-1-1	差分画像	312
14-1-2	背景差分法	312
14-1-3	フレーム間差分法	313
14-1-4	統計的背景差分法	314
14-2	オプティカルフロー	316
14-2-1	オプティカルフローの求め方	316
14-2-2	ブロックマッチング法	316
14-2-3	勾配法	317
14-2-4	イメージピラミッドを用いた オプティカルフローの求め方	320
14-2-5	オプティカルフローの利用例	320
14-3	物体追跡	322
14-3-1	物体追跡の手法分類	322
14-3-2	テンプレートマッチングによる物体追跡	322
14-3-3	KLTトラッカー	323
14-3-4	ミーンシフトトラッキング	324
14-3-5	ベイジアンフィルタ	327

# 15 画像からの3次元復元

15-1	画像と空間の幾何学的関係	332
15-1-1	透視投影モデルに基づく 幾何学的関係の記述	332
15-1-2	同次座標を用いた記述	334
15-1-3	エピポーラ幾何	336
15-2	カメラキャリブレーション	339
15-3	ステレオビジョン	342
15-3-1	空間位置の計算	342
15-3-2	平行ステレオ	343
15-3-3	ステレオマッチング	345
15-3-4	マルチビューステレオ	349

15-4	アクティブステレオ	352
15-5	モーション推定と3次元復元	354
15-5-1	既知の空間点からの カメラ位置・姿勢の推定	354
15-5-2	画像対応点からのカメラモーションと 3次元位置の推定	355
15-5-3	大量の画像を用いた復元	357

# 16 光学的解析とシーンの復元

16-1	光学的解析	362
16-2	放射量	363
16-2-1	放射量の定義	363
16-2-2	放射量の基本法則	364
16-3	反射	367
16-3-1	反射の種類	367
16-3-2	BRDFの定義と性質	368
16-3-3	反射モデル	369
16-4	反射成分の分離	372
16-4-1	色に基づく分離	372
16-4-2	偏光に基づく分離	374
16-5	形状の復元	376
16-5-1	位置の推定と法線の推定	376
16-5-2	照度差ステレオ	377
16-5-3	参照物体を用いた照度差ステレオ	380
16-6	反射特性の復元	381
16-6-1	BRDFの計測	381
16-6-2	反射モデルパラメータの推定	382
16-7	照明環境の復元	384
16-7-1	光源の種類と表現	384
16-7-2	光源分布の計測	385
16-7-3	インバースライティング	386
16-8	形状・反射特性・照明環境 すべての復元	389

16-8-1	幾何学的解析と光学的解析の融合	389
16-8-2	データ駆動型アプローチ	390

# 17 画像符号化

17-1	2値画像の符号化	392
17-1-1	2値画像のデータ量	392
17-1-2	ランレングス符号化	392
17-1-3	チェイン符号化	394
17-1-4	差分チェーンコード	395
17-2	グレースケール画像の符号化	396
17-2-1	画像圧縮の原理	396
17-2-2	画像符号化の分類	397
17-2-3	ハフマン符号化	398
17-2-4	算術符号化	399
17-2-5	予測符号化	401
17-2-6	変換符号化	403
17-3	カラー画像と動画の符号化方式	408
17-3-1	カラー画像の符号化	408
17-3-2	静止画像の符号化方式	409
17-3-3	動画の符号化方式	412

a-2-3	擬似逆行列	428
a-2-4	固有値と固有ベクトル	429
a-2-5	KL展開と主成分分析	429
a-3	画像入力	431
a-3-1	撮像素子の種類と特徴	431
a-3-2	高速度カメラ	433
a-3-3	リニアイメージセンサ	433
a-3-4	距離画像の取得	434
a-3-5	その他の画像の取得	435
a-4	画像出力	437
a-4-1	ディスプレイ	437
a-4-2	3Dディスプレイ	439
a-4-3	プリンタ	440
a-4-4	画像出力における画像処理	441
a-5	画像処理の特性測定	445
a-6	規格	447
a-6-1	テレビジョンの走査方式	447
a-6-2	映像信号接続端子	448
a-6-3	動画の符号化方式	449
a-6-4	画像ファイルフォーマット	452
a-7	知的財産権	455
a-7-1	知的財産権の概要	455
a-7-2	著作権	455
a-7-3	産業財産権と不正競争防止法	463

## appendix

a-1	画像処理の歴史	416
a-1-1	画像処理の幕開け	416
a-1-2	画像処理の工業応用	416
a-1-3	画像処理のオフィス応用	418
a-1-4	画像処理の社会応用	419
a-1-5	最近の動向	421
a-2	数学的基礎	424
a-2-1	フーリエ変換	424
a-2-2	確率	426

参考文献	464
index	468