

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zusammenhang Computergrafik – Bildverarbeitung	6
2.1	Bildverarbeitung auf programmierbarer Grafikhardware	7
2.2	Simulation von kameragesteuerten Geräten	10
2.3	Bilddatencodierung	14
2.4	Bildbasiertes Rendering	19
3	Digitale Bilddaten	24
3.1	Prinzipielle Vorgehensweise	24
3.1.1	Sensoren	24
3.1.2	Digitalisierung	25
3.1.3	Vorverarbeitung der Rohdaten	25
3.1.4	Berechnung von Merkmalen	25
3.1.5	Segmentierung des Bildes	26
3.1.6	Kompakte Speicherung der Segmente	26
3.1.7	Beschreibung der Segmente	26
3.1.8	Synthese von Objekten	27
3.1.9	Ableitung einer Reaktion	27
3.1.10	Schlussbemerkung zu Abschnitt 3.1	27
3.2	Unterabtastung und Quantisierung	27
3.3	Digitalisierung von Schwarz/Weiß-Bilddaten	31
3.4	Digitalisierung von Grautonbildern	35
3.5	Farbbilder	40
3.5.1	Farbe: Physikalische Aspekte	41
3.5.2	Farbe: Physiologische Aspekte	41
3.5.3	Das CIE-Farbdreieck	43
3.5.4	Das RGB-Farbmodell	45
3.5.5	Das CMY-Farbmodell	48
3.5.6	Das YIQ-Farbmodell	49
3.5.7	Das HSI-Farbmodell	49
3.5.8	Das CIE-Lab-Farbmodell	51
3.5.9	Mathematisches Modell für Farbbilder	57

3.6	Multispektral- und mehrkanalige Bilder	57
3.7	Bildfolgen	62
3.8	Weitere mathematische Modelle für Bilder	64
3.8.1	Bilder als reelle Funktionen zweier reeller Variablen	64
3.8.2	Bilder als (diskrete) Funktionen zweier diskreter Variablen	65
3.8.3	Bilder als Zufallsprozesse	65
3.9	Bildliche Reproduktion von digitalisierten Bildern	69
3.9.1	Geräte zur Bilddarstellung	69
3.9.2	Ausdrucken der Grauwerte	70
3.9.3	Ausgabe von logischen Bildern	72
3.9.4	Zeilendruckerausgabe von Grauwertbildern	73
3.9.5	Halbtonverfahren	74
3.10	Datenreduktion und Datenkompression	77
3.11	Charakterisierung digitalisierter Bilder	78
3.11.1	Mittelwert und mittlere quadratische Abweichung	78
3.11.2	Histogramme	81
3.11.3	Entropie	83
3.11.4	Grauwertematrix (<i>co-occurrence-Matrix</i>)	85
4	Modifikation der Grauwerte	87
4.1	Anwendungen	87
4.2	Grundlagen der Grauwerttransformation	88
4.3	Lineare Skalierung	89
4.4	Äquidensiten (<i>gray level slicing</i>)	94
4.5	Erzeugen von Binärbildern	100
4.6	Logarithmische und exponentielle Skalierung	107
4.7	Ebenen der Grauwerte	109
4.8	Grauwertskalierung mit Hochpassfilterung	114
4.9	Kalibrierung der Grauwerte	116
4.10	Berechnung einer neuen Grauwertmenge	120
4.11	Rekonstruktion des höchstwertigen Bit	122
4.12	Differenzbildung	122
5	Operationen im Ortsbereich	126
5.1	Anwendungen	128
5.2	Grundlagen: Filteroperationen im Ortsbereich	128
5.3	Glätten der Grauwerte eines Bildes	131
5.4	Differenzenoperatoren	136
5.5	Elimination isolierter Bildpunkte	141
5.6	Elimination gestörter Bildzeilen	142
5.7	Bildakkumulation bei Bildfolgen	144

6	Mathematische Morphologie	145
6.1	Anwendungen	145
6.2	Grundlagen: Mathematische Morphologie	145
6.3	Median Filter	149
6.4	Dilatation und Erosion im Binärbild	151
6.5	Morphologie im Grauwertbild	153
7	Kanten und Linien	157
7.1	Anwendungen	157
7.2	Grundlegendes über Kanten und Linien	157
7.3	Einfache Verfahren zur Kantenextraktion	162
7.4	Parallele Kantenextraktion	163
7.5	Gradientenbetrag und Gradientenrichtung	168
7.6	Der Canny-Kantendetektor	174
7.7	Kanten und Linien mit morphologischen Operationen	178
7.7.1	Extraktion des Randes von Segmenten	178
7.7.2	Verarbeitung von Linien	180
7.8	Skelettierung mit morphologischen Operationen	180
7.9	Skelettierung mit der Euler'schen Charakteristik	187
7.10	Relaxation	190
7.11	Houghtransformation	194
7.12	Verallgemeinerte Houghtransformation	200
7.12.1	Parametrisierung der Referenzstruktur	200
7.12.2	Akkumulierende Abbildung der Merkmalspunkte	201
7.12.3	Auswertung des Akkumulators	201
7.13	Erweiterte Houghtransformation	202
7.13.1	Erweiterte Houghtransformation der Randpunkte	202
7.13.2	Erweiterung auf flächenhaft gegebene Segmente	207
7.14	Sequentielle Kantenextraktion, Linienverfolgung	209
7.15	Abschließende Bemerkungen zu Kanten und Linien	214
8	Operationen im Frequenzbereich	215
8.1	Anwendungen	215
8.2	Lineare Approximation	215
8.3	Trigonometrische Approximationsfunktionen	218
8.4	Diskrete zweidimensionale Fouriertransformation	220
8.5	Digitale Filterung im Ortsfrequenzbereich	222
8.6	Zusammenhang mit dem Ortsbereich	224
8.7	Logarithmische Filterung	230
8.8	Inverse und Wiener Filterung	230

8.9	Diskrete, zweidimensionale Cosinustransformation	231
9	Modifikation der Ortskoordinaten	235
9.1	Anwendungen	235
9.2	Grundlegende Problemstellung	235
9.3	Vergrößerung, Verkleinerung	236
9.4	Affine Abbildungen	239
9.5	Interpolation mit Polynomen	240
9.5.1	Polynome	240
9.5.2	Ausgleichsrechnung	243
9.5.3	Beurteilung der Qualität	244
9.5.4	Vermessung der Passpunkte	247
9.6	Abschließende Bemerkungen	248
10	Demosaicing	249
10.1	Anwendungen	249
10.2	Einfaches Demosaicing	251
10.3	Probleme beim Demosaicing	253
10.4	Meßgrößen	255
10.5	Fortgeschrittenes Demosaicing	256
10.5.1	High Quality Linear	256
10.5.2	Adaptive Color Plane Interpolation	260
10.5.3	Adaptive Homogeneity Directed	263
10.5.4	Improved Adaptive Homogeneity Directed	271
11	Szenenanalyse	279
11.1	Einleitung, Beispiele, Merkmale	279
12	Merkmale: Grauwert und Farbe	285
12.1	Anwendungen	285
12.2	Merkmal: Grauwert	286
12.3	Merkmal: Farbe	289
12.4	Reduktion der Farben in einem Farbbild durch Vorquantisierung	289
12.5	Indexbilder	293
12.5.1	Die Farbhäufigkeitsverteilung eines Farbbildes	293
12.5.2	Erstellen einer Farb-Look-Up-Tabelle	296
12.5.3	Abbildung der Farben des Originalbildes in die Farbtabelle	298
12.5.4	Segmentierung des Originalbildes	298
12.5.5	Segmentierung des Originalbildes mit Dithering	299
12.5.6	Unüberwachte Klassifikatoren zur Reduktion der Farben	301

13 Merkmale aus mehrkanaligen Bildern	303
13.1 Anwendungen	303
13.2 Summe, Differenz, Ratio	303
13.3 Verknüpfung von Kanälen bei logischen Bildern	307
13.4 Die Hauptkomponententransformation	307
14 Merkmale aus Bildfolgen	315
14.1 Anwendungen	315
14.2 Akkumulation und Differenz	316
14.3 Merkmal: Bewegung	318
14.4 Differentielle Ermittlung von Verschiebungsvektoren	321
14.5 Blockmatching	323
15 Merkmale aus Umgebungen: Texturen	329
15.1 Anwendungen	329
15.2 Grundlagen zu Texturmerkmalen	329
15.3 Streuung (Varianz)	331
15.4 Gradient	331
15.5 Kantendichte	333
15.6 Autokorrelation	336
15.7 Abschlussbemerkung zu den einfachen Texturmaßen	336
16 Korrespondenzen in Bildern	339
16.1 Deskriptive Matching Verfahren	339
16.2 Harris Eckendetektor	341
16.3 SIFT – Scale Invariant Feature Transform	343
16.3.1 Extremwertdetektion im Multiskalenraum	343
16.3.2 Bestimmung von charakteristischen Punkten	344
16.3.3 Keypoint-Orientierung	349
16.3.4 Berechnung des Deskriptors für jeden Keypoint	350
16.4 Weitere Deskriptoren	352
17 Gauß- und Laplace-Pyramiden	353
17.1 Anwendungen	353
17.2 Begriffe aus der Signaltheorie	354
17.3 Motivation für Gauß- und Laplace-Pyramiden	355
17.4 Der REDUCE-Operator	356
17.5 Der EXPAND-Operator	357
17.6 Rekonstruktion des Originalbildes	361
17.7 Implementierung des REDUCE-Operators	364
17.8 Implementierung des EXPAND-Operators	367
17.9 Frequenzverhalten und Wahl des freien Parameters a	370

17.10	Anwendungsbeispiele zu den Laplace-Pyramiden	374
17.10.1	Verwendung einzelner Schichten	374
17.10.2	Mosaicing	374
17.10.3	Multifokus	377
17.10.4	Glättungsoperationen in Laplace-Pyramiden	380
17.10.5	Texturen und Segmentierung	380
18	Scale Space Filtering	395
18.1	Anwendungen	395
18.2	Grundlagen: Fraktale Geometrie	395
18.3	Implementierung des Scale Space Filtering	401
18.3.1	Ermittlung der Größe der Grundtextur	404
18.3.2	Ermittlung der Gauß-Filterkerne	405
18.3.3	Berechnung der Oberflächen der Grauwertfunktion	407
18.3.4	Berechnung des Skalenparameters	407
18.3.5	Beispiele und Ergebnisse	408
19	Baumstrukturen	413
19.1	Anwendungen	413
19.2	Aufbau von Baumstrukturen	413
19.3	Regionenorientierte Bildsegmentierung mit <i>quad trees</i>	419
20	Segmentierung und numerische Klassifikation	428
20.1	Grundlegende Problemstellung	428
20.2	Klassifizierungsstrategien überwacht	432
20.3	Klassifizierungsstrategien unüberwacht	434
20.4	Überwachtes und unüberwachtes Lernen	438
20.5	Der Minimum-Distance-Klassifikator	438
20.6	Maximum-Likelihood-Klassifikator	446
20.7	Der Quader-Klassifikator	451
20.8	Beurteilung der Ergebnisse	454
20.9	Ergänzungen	455
21	Klassifizierung mit neuronalen Netzen	456
21.1	Grundlagen: Künstliche neuronale Netze	456
21.1.1	Prinzipieller Aufbau	456
21.1.2	Adaline und Madaline	457
21.1.3	Das Perceptron	462
21.1.4	Backpropagation	464
21.2	Neuronale Netze als Klassifikatoren	467
21.2.1	Verarbeitung von Binärbildern	468
21.2.2	Verarbeitung von mehrkanaligen Bildern	474

22 Segmentierung mit Fuzzy Logic	481
22.1 Anwendungen	481
22.2 Grundlagen: Fuzzy Logic	481
22.2.1 Einführende Beispiele	481
22.2.2 Definitionen und Erläuterungen	483
22.3 Fuzzy Klassifikator	490
23 Run-Length-Coding	496
23.1 Anwendungen	496
23.2 Run-Length-Codierung	498
23.2.1 Prinzipielle Problemstellung und Implementierung	498
23.2.2 Vereinzelung von Segmenten	501
23.2.3 Effiziente Vereinzelung mit Union-Find-Algorithmen	505
24 Einfache segmentbeschreibende Parameter	508
24.1 Anwendungen	508
24.2 Flächeninhalt	509
24.3 Flächenschwerpunkt	509
24.4 Umfang	511
24.5 Kompaktheit	511
24.6 Orientierung	511
24.7 Fourier-Transformation der Randpunkte	513
24.8 Chain-Codierung	514
24.9 Momente	516
24.10 Euler'sche Charakteristik	522
24.11 Auswahl mit morphologischen Operationen	523
24.12 Segmentbeschreibung mit Fuzzy Logic	524
25 Das Strahlenverfahren	525
25.1 Anwendungen	525
25.2 Prinzipieller Ablauf des Strahlenverfahrens	526
25.3 Aufbau des Merkmalsvektors für ein Segment	527
25.4 Klassifizierungs- / Produktionsphase	532
25.5 Strahlenverfahren: Ein Beispiel	532
26 Neuronale Netze und Segmentbeschreibung	536
26.1 Anwendungen	536
26.2 Prinzipieller Ablauf	536
26.3 Trainingsdaten und Training	538
26.4 Die Produktions- (Recall-) Phase	539
26.5 Ein Beispiel: Unterscheidung von Schrauben	539

27 Kalman-Filter	543
27.1 Grundidee	543
27.2 Anwendungen	544
27.2.1 Tracking	544
27.2.2 3D-Rekonstruktion aus Bildfolgen	549
27.2.3 Bilddatencodierung	550
27.3 Theorie des diskreten Kalman-Filters	552
27.3.1 Das System	552
27.3.2 Die Messung	552
27.3.3 Die Schätzfehler-Gleichungen	552
27.3.4 Optimales Schätzfilter von Kalman	553
27.3.5 Gleichungen des Kalman-Filters	554
27.3.6 Das erweiterte Kalman-Filter (EKF)	556
27.4 Konkrete Beispiele	557
27.4.1 Schätzung einer verrauschten Konstante	558
27.4.2 Schätzung einer Wurfparabel	561
27.4.3 Bildbasierte Navigation	564
28 Zusammenfassen von Segmenten zu Objekten	572
28.1 Bestandsaufnahme und Anwendungen	572
28.2 Einfache, heuristische Vorgehensweise	575
28.3 Strukturelle Verfahren	577
28.3.1 Die Mustererkennungskomponente	579
28.3.2 Die statische und dynamische Wissensbasis	580
28.3.3 Die Reaktionskomponente	581
28.3.4 Die Verwaltungskomponente	581
28.3.5 Die Interaktionskomponente	581
28.3.6 Die Dokumentationskomponente	582
28.3.7 Ein Beispiel	582
28.4 Bildverarbeitungssysteme im Einsatz	584
Literaturverzeichnis	586
Sachverzeichnis	592
Inhaltsverzeichnis von Band I Computergrafik	601