

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Was ist digitale Bildverarbeitung?	1
1.1.1	Bildsensoren	2
1.1.2	Speichertechnologie	6
1.1.3	Rechengeschwindigkeit	7
1.2	Menschliches und maschinelles Sehen	7
1.3	Bildverarbeitung als Meßdatenverarbeitung	11
1.4	Die Stufen der Bildverarbeitung	14
2	Bildaufnahme und Digitalisierung	17
2.1	Beleuchtung und Reflexion	17
2.1.1	Lichtquellen	19
2.1.2	Diffuse und gerichtete Reflexion	19
2.2	Abbildung	20
2.2.1	Welt- und Kamerakoordinaten	20
2.2.2	Das Lochkameramodell; Zentralprojektion	21
2.2.3	Geometrische Verzerrungen	23
2.2.4	Schärfentiefe	24
2.2.5	3D-Punktantwort der optischen Abbildung	27
2.2.6	Die Transferfunktion der optischen Abbildung	31
2.2.7	Schnittbilder	35
2.2.8	Stereoskopie	35
2.2.9	Tomographische Abbildungsverfahren	37
2.3	Digitalisierung	38
2.3.1	Die Bildmatrix	38
2.3.2	Das Abtasttheorem	41
3	Unitäre Transformationen und Bildrepräsentation	50
3.1	Die diskrete Fouriertransformation (DFT)	51
3.1.1	Definition	51
3.1.2	Wichtige Eigenschaften der DFT	52
3.1.3	Zur Bedeutung der Phase	59
3.2	Diskrete unitäre Transformationen	59
3.2.1	Allgemeine Eigenschaften	59

3.2.2	Kosinus- und Sinustransformation	61
3.2.3	Hadamardtransformation	62
3.2.4	Haartransformation	63
3.3	Schnelle Berechnung unitärer Transformationen	63
3.3.1	Zur Bedeutung schneller Algorithmen	63
3.3.2	Der FFT-Algorithmus: eindimensional	64
3.3.3	Der FFT-Algorithmus: multidimensional	70
4	Statistik: Bilder als stochastische Prozesse	73
4.1	Statistik erster Ordnung	73
4.1.1	Quantisierung	73
4.1.2	Zufallsvariable	75
4.1.3	Histogramme	78
4.1.4	Homogene Punktoperationen	78
4.1.5	Inhomogene Punktoperationen	80
4.2	Statistik zweiter Ordnung	84
4.2.1	Stochastische Prozesse	84
4.2.2	Korrelationen und Kovarianzen	84
4.2.3	Homogene stochastische Prozesse	86
4.2.4	Spektren	86
5	Einfache Bildstrukturen	88
5.1	Lineare verschiebungsinvariante Filter	88
5.1.1	Allgemeine Eigenschaften	90
5.2	Glättungsfilter	92
5.2.1	Rechteckfilter	92
5.2.2	Gauß- und Binomialfilter	96
5.3	Kanten- und Liniendetektion	100
5.3.1	Ableitungsfilter erster Ordnung	100
5.3.2	Laplacefilter	103
5.3.3	Sobeloperatoren	107
5.4	Schnelle Berechnung von Filteroperationen	107
5.5	Filterdesign	112
5.5.1	Glättungsfilter	112
5.5.2	Bandpaßfilter, DoG- und LoG-Filter	115
5.5.3	Ableitungsoperatoren	116
5.6	Rekursive Filter	118
5.7	Nichtlineare Filter	122
5.7.1	Medianfilter	122
5.7.2	Hilberttransformation und Quadraturfilter	124
6	Orientierung und adaptive Filterung	128
6.1	Bestimmung lokaler Orientierung durch Quadraturfilter	129
6.2	Trägheitstensorsmodell	133
6.2.1	Analogie zur Hauptachsenbestimmung von Trägheitstensenoren . .	133
6.2.2	Berechnungsverfahren im Ortsraum	135

6.2.3	Farbkodierung vektorieller Bildeigenschaften	137
6.2.4	Beispiele	137
6.3	Adaptive Filterung	139
6.4	Verarbeitung vektorieller Bildeigenschaften	140
6.4.1	Glättungsoperationen	141
6.4.2	Ableitungsoperationen	141
7	Pyramiden	142
7.1	Das Konzept: Gauß- und Laplacepyramide	142
7.2	Formalismus	145
7.3	Filter	146
7.4	Interpolation	150
7.5	Richtungszerlegung	151
7.5.1	Zerlegung in zwei Richtungskomponenten	152
7.5.2	Zerlegung in mehrere Richtungskomponenten	152
7.6	Literaturhinweise	155
8	Komplexe Strukturen: Textur	156
8.1	Was ist Textur?	156
8.2	Texturmerkmale	158
8.2.1	Lokale Varianz	158
8.2.2	Lokale Orientierung	159
8.2.3	Lokale Wellenzahl	160
8.2.4	Pyramidenoperationen	160
8.2.5	Fraktale Beschreibung von Textur	161
9	Segmentierung	163
9.1	Punktorientierte Verfahren	163
9.2	Regionenorientierte Verfahren	165
10	Klassifizierung	169
10.1	Der Merkmalsraum; Cluster	171
10.2	Hauptachsentransformation	172
10.3	Klassifizierungsverfahren	174
11	Rekonstruktion aus Projektionen	177
11.1	Fokusserien	179
11.1.1	Rekonstruktionsverfahren für Oberflächen	179
11.1.2	Rekonstruktion durch inverse Filterung	180
11.1.3	Konfokale Laserabtastmikroskopie	182
11.2	Rekonstruktion tomographischer Aufnahmen	184
11.2.1	Homogenität der Projektion	185
11.2.2	Die Radontransformation und das Fourierscheibentheorem	185
11.2.3	Gefilterte Rückprojektion von Parallelprojektionen	187
11.2.4	Gefilterte Rückprojektion von Zentralprojektionen	192
11.2.5	Algebraische Rekonstruktion: Diskrete inverse Theorie	194

12 Bewegung	202
12.1 Zur Problematik der Bewegungsbestimmung	202
12.1.1 Grauwertänderungen	202
12.1.2 Das Blendenproblem	205
12.1.3 Das Korrespondenzproblem	206
12.2 Verschiebungsvektorfelder	208
12.2.1 Bewegungsanalyse und 3D-Rekonstruktion	209
12.3 Kinematik der Bewegung	212
12.3.1 Massepunkte	212
12.3.2 Deformierbare Objekte	214
12.3.3 Kinematik projizierter Bewegungen	218
12.4 Bewegungsmodelle	220
12.4.1 Bewegung von Bildpunkten	220
12.4.2 Bewegung von Oberflächen	222
12.4.3 Bewegung in Schnittbildern	224
12.5 Dynamik der Bewegung	224
13 Bestimmung von Verschiebungsvektoren	225
13.1 Die differentielle Methode	226
13.1.1 Kontinuität des optischen Flusses	226
13.1.2 Lösung des Blendenproblems	230
13.1.3 Differentialgeometrische Modellierung des Grauwertverlaufs	237
13.2 Korrelationsmethoden	241
13.2.1 Prinzip	241
13.2.2 Der Monotonieoperator	243
13.2.3 Das Signum des Laplaceoperators	247
14 Verschiebungsvektorfelder	248
14.1 Bestimmung von VVF als Variationsproblem	249
14.1.1 Allgemeiner Ansatz	249
14.1.2 Der differentielle Ansatz als Minimalproblem	250
14.2 Glatte Verschiebungsvektorfelder	250
14.2.1 Die Glattheitsbedingung	250
14.2.2 Das Membranmodell	253
14.2.3 Das Netzwerkmodell	255
14.2.4 Das Diffusionsmodell	260
14.3 Kontrollierte Glattheit	261
14.3.1 Glatte Verschiebungsvektorfelder	262
14.3.2 Kantenorientierte Glattheit	266
14.3.3 Regionenbegrenzte Glattheit	267
14.3.4 Gerichtete Glattheit	267
14.3.5 Zusammenfassung	269

15 Bewegung in Orts-Zeit-Bildern	270
15.1 Bewegung ist Orientierung	270
15.2 Bewegung im Fourierraum	272
15.3 Betrachtung des Korrespondenzproblems im Fourierraum	273
15.4 Geschwindigkeitsfilter	276
15.4.1 Projektionsfilter	276
15.4.2 Gaborfilter	277
15.5 1D-Bewegungsbestimmung	278
15.5.1 Umsetzung der differentiellen Methode in ein Filterverfahren . .	278
15.5.2 Die Orientierungsmethode	280
15.5.3 Die Quadraturmethode	281
15.5.4 Zur Genauigkeit der Filterverfahren	283
15.6 2D-Bewegungsbestimmung	283
15.6.1 Die Quadraturfiltermethode	285
15.6.2 Die Orientierungsmethode nach dem Trägheitstensorsmodell . . .	286
A Die Fouriertransformation	289
A.1 1D-Fouriertransformation	289
A.2 2D-Fouriertransformation	291
A.3 Eigenschaften der Fouriertransformation	292
A.4 Wichtige Fouriertransformationspaare	294
B Aufbau von PC-Bildverarbeitungssystemen	300
B.1 Videoeingangsteil	301
B.2 Der Bildspeicher	305
B.3 Videoausgangsteil	306
B.4 Spezialhardware zur Bildverarbeitung	307
B.4.1 Prozeßfenster	307
B.4.2 Arithmetische Pipeline-Prozessoren	308
B.4.3 Filterprozessoren	308
B.4.4 Histogramm- und Merkmalsextraktoren	309
B.4.5 Parallele Verknüpfung der Rechenmodule	309
B.5 Frei programmierbare Systeme	310
Literaturverzeichnis	321
Sachverzeichnis	329