

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	15
1.1 Warum noch ein Buch über Bildverarbeitung? .....	15
1.2 Möglichkeiten und Grenzen .....	18
1.3 Typen von Sichtprüfaufgaben .....	19
1.3.1 Einteilung nach dem Prüfziel .....	19
1.4 Aufbau von Bildverarbeitungssystemen .....	20
1.4.1 Hardwareaufbau .....	20
1.4.2 Signallauf in der Prozeßumgebung .....	23
1.4.3 Signallauf innerhalb des Bildverarbeitungssystems .....	26
1.5 Vorgehensmodell .....	29
1.6 Einführungsbeispiel .....	31
1.6.1 Schrifterkennung .....	32
1.6.2 Gewindetiefe .....	34
1.6.3 Anwesenheitskontrolle .....	37
1.7 Weiteres Vorgehen .....	39
<b>2. Querschnitt: Bildvorverarbeitung</b> .....	41
2.1 Grauwerttransformation .....	42
2.1.1 Look-Up-Tabellen .....	42
2.1.2 Lineare Grauwertskalierung .....	44
2.1.3 Kontrastnormierung .....	45
2.1.4 Histogrammebnung .....	46
2.1.5 Lokale Kontrastnormierung .....	48
2.2 Bildarithmetik .....	49
2.2.1 Bildaddition und Bildmittelung .....	50
2.2.2 Bildsubtraktion .....	51
2.2.3 Minimum und Maximum zweier Bilder .....	53
2.2.4 Shading-Korrektur .....	54
2.3 Lineare Filter .....	55
2.3.1 Lokale Operationen und Bildumgebungen .....	55
2.3.2 Prinzip linearer Filter .....	57
2.3.3 Glättungsfilter .....	59
2.3.4 Kantenfilter .....	65
2.4 Medianfilter .....	70

2.5	Morphologische Filter . . . . .	72
2.6	Andere nichtlineare Filter . . . . .	74
2.7	Globale Operationen . . . . .	76
2.8	Zusammenfassung . . . . .	77
<b>3.</b>	<b>Lageerkennung . . . . .</b>	<b>81</b>
3.1	Position eines Einzelobjekts . . . . .	81
3.1.1	Positionierung anhand des Gesamtobjektes . . . . .	82
3.1.2	Positionierung anhand einer Kante . . . . .	84
3.2	Ausrichtung eines einzelnen Objektes . . . . .	87
3.2.1	Orientierungsberechnung anhand der Hauptachse . . . . .	88
3.2.2	Polarabstandsprojektion . . . . .	91
3.3	Roboterpositionierung . . . . .	93
3.3.1	Aufgabenstellung . . . . .	93
3.3.2	Bildverarbeitungs-komponenten . . . . .	94
3.3.3	Positionsermittlung an einem Objekt . . . . .	95
3.3.4	Orientierung einer Objektkonfiguration . . . . .	96
3.3.5	Bemerkungen zur Positionskorrektur . . . . .	97
3.4	Zusammenfassung . . . . .	99
<b>4.</b>	<b>Querschnitt: Segmentierung . . . . .</b>	<b>103</b>
4.1	Arbeitsbereiche . . . . .	103
4.1.1	Arbeitsbereiche und Objekte . . . . .	103
4.2	Binärsegmentierung . . . . .	104
4.2.1	Schwellwerte . . . . .	105
4.2.2	Schwellwertbestimmung aus Histogrammanalysen . . . . .	107
4.2.3	Grauwert-histogramme . . . . .	108
4.2.4	Verallgemeinerung der Binarisierung . . . . .	111
4.3	Konturverfolgung . . . . .	113
4.3.1	Punktnachbarschaft . . . . .	113
4.3.2	Erzeugung von Objektkonturen . . . . .	115
4.3.3	Konturdarstellung . . . . .	116
4.4	Kantenorientierte Methoden . . . . .	117
4.4.1	Kantenantastung in industriellen Bildszenen . . . . .	117
4.4.2	Subpixelgenaue Kantenlokalisierung . . . . .	119
4.5	Template Matching . . . . .	121
4.5.1	Funktionsprinzip . . . . .	121
4.5.2	Optimierungsmöglichkeiten . . . . .	125
4.5.3	Bemerkungen zum Template-Matching . . . . .	129
4.6	Zusammenfassung . . . . .	130

<b>5. Kennzeichnungsidentifikation</b> . . . . .	135
5.1 Barcode-Identifikation . . . . .	135
5.1.1 Prinzip der Barcodeerkennung auf Grauwertbasis . . . . .	136
5.1.2 Barcodetypen . . . . .	137
5.1.3 Beispiele für industrielle Barcode-Identifikation . . . . .	139
5.1.4 Zweidimensionale Codes . . . . .	142
5.2 Klarschrifterkennung . . . . .	143
5.2.1 Lasergravierte Schrift auf einem IC . . . . .	145
5.2.2 Basiskonfiguration der IC-Schrifterkennung . . . . .	146
5.2.3 Prinzipieller Aufbau einer Klassifikationsanwendung . . . . .	149
5.2.4 Positionskorrektur am IC . . . . .	154
5.2.5 Verbesserung der Zeichenqualität . . . . .	158
5.2.6 Optimierung im Betrieb . . . . .	160
5.3 Erkennung genagelter Schrift auf Metall . . . . .	162
5.3.1 Beleuchtung . . . . .	162
5.3.2 Vorverarbeitung . . . . .	163
5.3.3 Segmentierung und Klassifikation . . . . .	164
5.4 Blockcodierungen auf Filmrollen . . . . .	165
5.5 Druckqualitätskontrolle . . . . .	169
5.5.1 Vorgehensweise . . . . .	170
5.5.2 Druckqualitätskontrolle in Einzelbereichen . . . . .	172
5.5.3 Druckqualitätskontrolle mit automatischer Teilung . . . . .	173
5.6 Zusammenfassung . . . . .	174
<b>6. Querschnitt: Klassifikation</b> . . . . .	177
6.1 Was ist Klassifikation . . . . .	177
6.2 Klassifikation als Funktionsapproximation . . . . .	179
6.2.1 Grundbegriffe . . . . .	180
6.2.2 Statistische Grundlagen . . . . .	182
6.2.3 Konstruktion von Klassifikatoren . . . . .	183
6.3 Multireferenzenklassifikatoren . . . . .	185
6.3.1 Nächster-Nachbar-Klassifikator . . . . .	185
6.3.2 RCE-Netze . . . . .	187
6.3.3 Radial-Basis-Funktionen . . . . .	188
6.3.4 Vektorquantisierung . . . . .	189
6.3.5 Template-Matching . . . . .	190
6.3.6 Bemerkungen zu Multireferenzenklassifikatoren . . . . .	190
6.4 Funktionalklassifikatoren . . . . .	191
6.4.1 Polynomklassifikator . . . . .	191
6.4.2 Neuronale Netze vom Multilayer-Perzeptron-Typ . . . . .	192
6.4.3 Darstellung anderer Klassifikatoren als neuronale Netze . . . . .	195
6.5 Bemerkungen zum Einsatz neuronaler Netze . . . . .	196
6.5.1 Zusammensetzung der Lernstichprobe . . . . .	196
6.5.2 Merkmalsskalierung . . . . .	196
6.5.3 Rückweisung . . . . .	197

6.5.4	Zufälligkeit .....	198
6.6	Zusammenfassung .....	199
<b>7.</b>	<b>Maßprüfung .....</b>	<b>203</b>
7.1	Vermessungsaufgaben .....	204
7.2	Einfache Vermessung .....	204
7.2.1	Schwerpunktabstände .....	205
7.2.2	Konturabstände .....	209
7.2.3	Winkelmessungen .....	213
7.3	Formkontrolle an Elektronikstanzteilen .....	214
7.3.1	Prüfaufgabe .....	214
7.3.2	Berechnung von Ausgleichsgeraden .....	216
7.3.3	Messung des Konturwinkels .....	218
7.4	Winkelmessung an einem Zahnriemen .....	220
7.4.1	Beleuchtungsaufbau .....	220
7.4.2	Kantenerzeugung .....	221
7.5	Formkontrolle an Spritzgußteil .....	223
7.5.1	Bestimmung von Radien .....	224
7.5.2	Bemerkungen zur Ausgleichskreisberechnung .....	225
7.6	Hochgenaue Vermessung eines Gewindeflansches .....	226
7.6.1	Beleuchtung und Bildaufnahme .....	228
7.6.2	Subpixelgenaue Vermessung der Gewindetiefe .....	229
7.7	Kalibrierung .....	230
7.7.1	Kalibriermodus .....	231
7.7.2	Prüfungsbezogene Kalibrierungen .....	232
7.8	Zusammenfassung .....	233
<b>8.</b>	<b>Querschnitt: Bildaufnahme und Beleuchtung .....</b>	<b>235</b>
8.1	Halbleitersensoren .....	236
8.1.1	Funktionsweise eines CCD-Sensors .....	236
8.1.2	Eigenschaften von CCD-Sensoren .....	238
8.1.3	Abbildungsfehler von CCD-Sensoren .....	242
8.2	Standard-Videokameras .....	243
8.2.1	Prinzipieller Aufbau .....	243
8.2.2	Die Videonorm .....	245
8.2.3	Abtastung des Zeilensignals .....	247
8.2.4	Bildqualität .....	250
8.3	Erweiterungen des analogen Videostandards .....	252
8.3.1	Progressive-Scan-Kameras .....	252
8.3.2	Asynchronkameras .....	253
8.3.3	Kameras mit internem Bildspeicher .....	255
8.3.4	Pixel-synchrone Abtastung .....	256
8.3.5	Hochauflösende Kameras .....	256
8.3.6	Partial-Scan-Kameras .....	258
8.3.7	Kamerakonfiguration .....	258

8.4	Digitalkameras . . . . .	258
8.4.1	Eigenschaften von Digitalkameras . . . . .	259
8.4.2	Anschluß und Signalübertragung bei Digitalkameras . . . . .	259
8.5	Zeilenkameras . . . . .	262
8.5.1	Typen von Zeilenkamera-Anwendungen . . . . .	262
8.5.2	Ortsauflösung bei Zeilenkameras . . . . .	264
8.5.3	Belichtung bei Zeilenkameras . . . . .	266
8.5.4	Steuerung von Zeilenkameras . . . . .	267
8.6	Übertragung zum Rechner . . . . .	268
8.6.1	Grundfunktion eines Framegrabbers . . . . .	268
8.6.2	Framegrabber für Standard-Videokameras . . . . .	271
8.6.3	Framegrabber für andere analoge Flächenkameras . . . . .	272
8.6.4	Framegrabber für Digitalkameras . . . . .	272
8.6.5	Framegrabber für Zeilenkameras . . . . .	273
8.6.6	Bussysteme für die Bildübertragung . . . . .	274
8.6.7	Parallele und sequentielle Bildaufnahme . . . . .	276
8.7	Optische Grundlagen . . . . .	279
8.7.1	Blendenzahl . . . . .	280
8.7.2	Abbildungsgesetze . . . . .	281
8.7.3	Schärfentiefe . . . . .	286
8.7.4	Typische Aufnahmesituationen . . . . .	290
8.7.5	Abbildungsfehler . . . . .	292
8.7.6	Objektivbestimmung . . . . .	293
8.7.7	Besondere Objektivtypen . . . . .	296
8.8	Beleuchtungstechnik . . . . .	297
8.8.1	Leuchtmittel . . . . .	298
8.8.2	Aufficht . . . . .	299
8.8.3	Durchlicht . . . . .	303
8.9	Zusammenfassung . . . . .	305
<b>9.</b>	<b>Anwesenheitskontrolle . . . . .</b>	<b>311</b>
9.1	Einfache Anwesenheitskontrolle . . . . .	312
9.1.1	Prüfteilgeometrie . . . . .	312
9.1.2	Beleuchtung . . . . .	313
9.1.3	Positionskorrektur . . . . .	315
9.1.4	Segmentierung . . . . .	316
9.1.5	Bewertung . . . . .	317
9.1.6	Segmentierung mit Template-Matching . . . . .	318
9.2	Einfache Vermessung zur Montagekontrolle . . . . .	320
9.2.1	Beleuchtung . . . . .	320
9.2.2	Prüfkriterien . . . . .	321
9.2.3	Objekterzeugung und Maßberechnung . . . . .	323
9.2.4	Positionskorrektur . . . . .	325
9.3	Anwesenheitskontrolle mit Hilfe von Klassifikatoren . . . . .	327
9.3.1	Beleuchtung . . . . .	327

9.3.2	Kontrolle der Verstimmung . . . . .	330
9.3.3	Typkontrolle des Flansches . . . . .	335
9.4	Kontrastlose Anwesenheitskontrolle . . . . .	340
9.5	Anwesenheitskontrolle mit Zeilenkamas . . . . .	342
9.5.1	Prüfung zylindrischer Teile mit Flächenkamas . . . . .	342
9.5.2	Prüfung eines Ventilkörpers . . . . .	346
9.5.3	Bemerkungen . . . . .	351
9.6	Zusammenfassung . . . . .	353
<b>10.</b>	<b>Querschnitt: Objektmerkmale</b> . . . . .	<b>355</b>
10.1	Einfache geometrische Merkmale . . . . .	355
10.1.1	Umschreibendes Rechteck . . . . .	355
10.1.2	Fläche und Umfang . . . . .	356
10.1.3	Schwerpunktskoordinaten . . . . .	360
10.1.4	Achsen und Radien . . . . .	360
10.2	Formbeschreibende Merkmale . . . . .	362
10.2.1	Konturkrümmung . . . . .	362
10.2.2	Fasermerkmale . . . . .	365
10.2.3	Euler-Zahl . . . . .	366
10.2.4	Momente und Fourierdeskriptoren . . . . .	366
10.3	Grauwertmerkmale . . . . .	367
10.3.1	Statistik erster Ordnung . . . . .	367
10.3.2	Texturmerkmale . . . . .	367
10.4	Zusammenfassung . . . . .	369
<b>11.</b>	<b>Ausblick: Bildverarbeitungsprojekte</b> . . . . .	<b>373</b>
<b>A.</b>	<b>Mathematische Ergänzungen</b> . . . . .	<b>377</b>
A.1	Backpropagation-Training . . . . .	377
A.1.1	Neuronale Netze – Begriff und Geschichte . . . . .	377
A.1.2	Grundlagen . . . . .	378
A.1.3	Backpropagation . . . . .	379
A.2	Herleitung der Schärfentiefe . . . . .	382
A.2.1	Grenzabstände . . . . .	382
A.2.2	Schärfentiefe im Unendlichen . . . . .	385
A.2.3	Abhängigkeit der Schärfentiefe von der Brennweite . . . . .	387
<b>B.</b>	<b>Die Buch-CD</b> . . . . .	<b>389</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>391</b>
	<b>Index</b> . . . . .	<b>394</b>