

Christian Demant · Bernd Streicher-Abel
Peter Waszkewitz

Industrielle Bildverarbeitung

Wie optische Qualitätskontrolle
wirklich funktioniert

2. Auflage

Mit 239 Abbildungen und 29 Tabellen



Springer

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	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 Signalfluß in der Prozeßumgebung	23
1.4.3 Signalfluß 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
2. Querschnitt: Bildvorverarbeitung	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 Glättungsfiler	59
2.3.4 Kantenfiter	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
3.	Lageerkennung	81
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
4.	Querschnitt: Segmentierung	103
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

5.	Kennzeichnungsidentifikation	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
6.	Querschnitt: Klassifikation	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
7.	Maßprüfung	203
7.1	Vermessungsaufgaben	204
7.2	Einfache Vermessung	204
7.2.1	Schwerpunktsabstände	205
7.2.2	Konturabstände	209
7.2.3	Winkelmessungen	213
7.3	Formkontrolle an Elektronikstanzeilen	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
8.	Querschnitt: Bildaufnahme und Beleuchtung	235
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	Aufflicht	299
8.8.3	Durchlicht	303
8.9	Zusammenfassung	305
9.	Anwesenheitskontrolle	311
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 Verstemmung	330
9.3.3	Typkontrolle des Flansches	335
9.4	Kontrastlose Anwesenheitskontrolle	340
9.5	Anwesenheitskontrolle mit Zeilenkameras	342
9.5.1	Prüfung zylindrischer Teile mit Flächenkameras	342
9.5.2	Prüfung eines Ventilkörpers	346
9.5.3	Bemerkungen	351
9.6	Zusammenfassung	353
10.	Querschnitt: Objektmerkmale	355
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
11.	Ausblick: Bildverarbeitungsprojekte	373
A.	Mathematische Ergänzungen	377
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.	Die Buch-CD	389
	Literaturverzeichnis	391
	Index	394