

Pedram Azad, Tilo Gockel, Rüdiger Dillmann

# *Computer Vision –* Das Praxisbuch

3. Auflage 2011

August 2011



Elektor-Verlag, Aachen

---

# Inhaltsverzeichnis

---

## Teil I Grundlagen

---

<b>1</b>	<b>Technische Grundlagen</b> .....	13
1.1	Einführung .....	13
1.2	Licht .....	14
1.2.1	Physikalische Grundlagen .....	14
1.2.2	Leuchtmittel .....	18
1.2.3	Beleuchtungstechniken .....	21
1.2.4	Zusammenfassung und Anmerkungen .....	27
1.3	Optik .....	29
1.3.1	Anschluss .....	29
1.3.2	Format .....	31
1.3.3	Brennweite .....	31
1.3.4	Blende .....	33
1.3.5	Fokus .....	34
1.3.6	Bildwinkel .....	34
1.3.7	Minimale Objektdistanz .....	35
1.3.8	Schärfentiefe .....	36
1.3.9	Auflösung .....	37
1.3.10	Zusammenfassung und Anmerkungen .....	40
1.4	Bildaufnehmer .....	43
1.4.1	Physikalische Grundlagen .....	43
1.4.2	CCD .....	43
1.4.3	CMOS .....	45
1.4.4	Farbverarbeitung .....	49
1.4.5	Zusammenfassung und Anmerkungen .....	51
1.5	Bildübertragung .....	53
1.5.1	Analog .....	53
1.5.2	USB .....	55
1.5.3	IEEE 1394 .....	55

1.5.4	Camera Link .....	56
1.5.5	Gigabit-Ethernet .....	57
1.5.6	GenICam .....	58
1.5.7	Bandbreitenbedarf .....	58
1.5.8	Treiberkapselung .....	59
1.5.9	Kameras am Notebook .....	60
1.6	Systembeispiele .....	61
1.6.1	Humanoider Roboterkopf .....	61
1.6.2	Stereoendoskop .....	62
1.6.3	Intelligentes Haus .....	64
1.6.4	Qualitätskontrolle in der Industrie .....	66
1.7	Quellen .....	68
<b>2</b>	<b>Einführung in die Algorithmik .....</b>	<b>73</b>
2.1	Einführung .....	73
2.2	Kameramodell und Kamerakalibrierung .....	73
2.2.1	Lochkameramodell .....	74
2.2.2	Erweitertes Kameramodell .....	75
2.2.3	Kamerakalibrierung .....	78
2.2.4	Berücksichtigung von Linsenverzerrungen .....	84
2.2.5	Zusammenfassung des Kalibrierverfahrens .....	87
2.3	Bildrepräsentation und Farbmodelle .....	89
2.3.1	Repräsentation eines 2D-Bildes im Speicher .....	90
2.3.2	Repräsentation von Graustufenbildern .....	90
2.3.3	Repräsentation von Farbbildern .....	91
2.3.4	Bildfunktionen .....	95
2.3.5	Konvertierung zwischen Graustufenbildern und Farbbildern .....	95
2.4	Homogene Punktoperatoren .....	96
2.5	Histogramme .....	99
2.5.1	Grauwertistogramme .....	99
2.5.2	Farbhistogramme .....	101
2.5.3	Histogrammdehnung .....	102
2.5.4	Histogrammausgleich .....	104
2.5.5	Vergleich von Histogrammdehnung und Histogrammausgleich .....	105
2.6	Filter .....	107
2.6.1	Faltung und Filter im Ortsbereich .....	107
2.6.2	Filtermasken oft verwendeter Filter .....	109
2.6.3	Praktische Gesichtspunkte .....	112
2.7	Morphologische Operatoren .....	115
2.7.1	Allgemeine Definition .....	115
2.7.2	Dilatation und Erosion .....	116
2.7.3	Öffnen und Schließen .....	117
2.8	Segmentierung .....	119

2.8.1	Segmentierung nach Intensität .....	119
2.8.2	Segmentierung nach Farbe .....	122
2.8.3	Region Growing .....	126
2.8.4	Segmentierung von geometrischen Strukturen .....	129
2.9	Projektive Verzerrungsabbildungen .....	137
2.9.1	Allgemeine Definition .....	137
2.9.2	Bilineare Interpolation .....	138
2.9.3	Beispiele spezieller Abbildungen .....	140
2.9.4	Bestimmung der Abbildungsparameter durch Punktkorrespondenzen .....	142
2.10	Stereogeometrie .....	143
2.10.1	Stereo-Triangulation .....	143
2.10.2	Epipolargeometrie .....	145
2.10.3	Rektifizierung .....	147
2.11	Korrelationsverfahren .....	149
2.11.1	Allgemeine Definition .....	149
2.11.2	Nicht normalisierende Korrelationsverfahren .....	150
2.11.3	Normalisierende Korrelationsverfahren .....	150
2.11.4	Laufzeit .....	153
2.12	Effiziente Implementierung von Bildverarbeitungsmethoden ...	154
2.12.1	Bildzugriff bei 8 Bit-Graustufenbildern .....	154
2.12.2	Bildzugriff bei 24 Bit-Farbbildern .....	155
2.12.3	Homogene Punktoperatoren .....	156
2.12.4	Platzierung von if-Abfragen .....	157
2.12.5	Speicherzugriffe und Cache-Optimierung .....	157
2.12.6	Arithmetische und logische Operationen .....	159
2.12.7	Lookup-Tables .....	160
2.13	Quellen .....	161
<b>3</b>	<b>Integrating Vision Toolkit .....</b>	<b>163</b>
3.1	Einführung .....	163
3.2	Architektur .....	164
3.2.1	Die Klasse CByteImage .....	164
3.2.2	Anbindung von graphischen Benutzeroberflächen .....	165
3.2.3	Anbindung von Bildquellen .....	166
3.2.4	Anbindung der OpenCV .....	167
3.2.5	Anbindung von OpenGL über Qt .....	168
3.3	Beispielapplikationen .....	168
3.3.1	Verwendung von Basisfunktionalität .....	169
3.3.2	Verwendung einer graphischen Benutzeroberfläche .....	169
3.3.3	Verwendung eines Kameramoduls .....	169
3.3.4	Verwendung der OpenCV .....	169
3.3.5	Verwendung der OpenGL-Schnittstelle .....	170
3.4	Übersicht weiterer Funktionalität der IVT .....	170

---

**Teil II Applikationen**

---

<b>4</b>	<b>Sicherheitstechnik</b> .....	177
4.1	Einführung .....	177
4.2	Segmentierung von Bewegung .....	177
4.3	Erweiterungen und verwandte Ansätze .....	180
4.4	Quellen und Quelltext .....	181
<b>5</b>	<b>Barcodes und Matrixcodes</b> .....	183
5.1	Einführung .....	183
5.2	Grundlagen .....	183
5.3	Aufbau am Beispiel des EAN13-Barcodes .....	185
5.4	Erkennung des EAN13-Barcodes .....	186
5.5	Matrixcodes .....	188
5.6	Quellen und Quelltext .....	190
<b>6</b>	<b>Lageausgleich und Objektvermessung</b> .....	195
6.1	Einführung .....	195
6.2	Algorithmik .....	196
6.2.1	Momente .....	196
6.2.2	Vermessung .....	198
6.3	Implementierung .....	198
6.4	Quellen und Quelltext .....	201
<b>7</b>	<b>Histogrammbasierte Objekterkennung</b> .....	205
7.1	Einführung .....	205
7.2	Implementierung .....	206
7.3	Bedienung der Software .....	207
7.4	Quellen und Quelltext .....	208
<b>8</b>	<b>Korrelationsbasierte Objekterkennung</b> .....	213
8.1	Einführung .....	213
8.2	Automatisierte Katzenklappe <i>Flo Control</i> <sup>®</sup> .....	214
8.3	Flaschensortierung .....	215
8.4	Quellen und Quelltext .....	216
<b>9</b>	<b>Skalierungs- und rotationsinvariante Objekterkennung</b> .....	219
9.1	Einführung .....	219
9.2	Ansichtsbasierte Ansätze .....	219
9.3	Vorgehensweise .....	220
9.3.1	Entzerrung .....	221
9.3.2	Segmentierung .....	221
9.3.3	Normalisierung der Form .....	223
9.3.4	Klassifikation .....	224
9.4	Quellen und Quelltext .....	226

<b>10 Das Lichtschnittverfahren</b> .....	231
10.1 Einführung .....	231
10.2 Grundlagen .....	231
10.3 Auslegung der Geometrie .....	233
10.4 Algorithmik .....	235
10.5 Bedienung .....	239
10.5.1 Kalibriervorgang .....	239
10.5.2 Scanvorgang und Visualisierung .....	240
10.6 Genauigkeitsbetrachtungen .....	241
10.7 Anmerkungen und mögliche Erweiterungen .....	243
10.8 Quellen .....	245
10.8.1 Quellen zum Text .....	245
10.8.2 Andere interessante 3D-Scanner-Projekte .....	246
10.8.3 Software zur Weiterverarbeitung der 3D-Daten .....	247
10.9 Teileliste, CAD und Quelltext .....	248
<b>11 Tiefenbildakquisition mit einem Stereokamerasystem</b> .....	257
11.1 Einführung .....	257
11.2 Vorgehensweise .....	257
11.3 Quellen und Quelltext .....	260
<b>12 3D-Tracking mit einem Stereokamerasystem</b> .....	265
12.1 Einführung .....	265
12.2 Vorgehensweise .....	265
12.3 Quellen und Quelltext .....	268
<b>13 Ausblick</b> .....	273
13.1 Human Motion Capture .....	273
13.2 3D-Objekterkennung und -lokalisierung .....	274
13.3 Biometrie .....	275
13.3.1 Iriserkennung .....	275
13.3.2 Fingerabdruckerkennung .....	276
13.4 Optical Character Recognition .....	276
13.5 Quellen .....	277

---

## Teil III Anhang

---

<b>A Installation von IVT, OpenCV und Qt unter Windows und Linux</b> .....	281
A.1 Windows .....	282
A.1.1 OpenCV .....	282
A.1.2 Qt .....	284
A.1.3 CMU1394 .....	285
A.1.4 IVT .....	286

A.1.5	Zusammenfassung .....	290
A.2	Linux .....	291
A.2.1	OpenCV .....	291
A.2.2	Qt .....	291
A.2.3	Firewire und libdc1394/libraw1394 .....	292
A.2.4	IVT .....	292
<b>B</b>	<b>Mathematik</b> .....	295
B.1	Vektorrechnung .....	295
B.1.1	Vektorprodukt .....	295
B.1.2	Invertierung einer $3 \times 3$ -Matrix .....	296
B.1.3	Geraden im $\mathbb{R}^3$ .....	296
B.1.4	Ebenen im $\mathbb{R}^3$ .....	296
B.1.5	Schnitt einer Geraden mit einer Ebene .....	297
B.1.6	Rotationen .....	297
B.1.7	Homogene Koordinaten .....	298
B.2	Numerik .....	300
B.2.1	Methode der kleinsten Quadrate .....	300
B.2.2	Gauß-Elimination .....	301
B.2.3	Cholesky-Verfahren .....	302
<b>C</b>	<b>Industrielle Bildverarbeitung –</b>	
<b>Ein Praxisbericht</b>	.....	303
C.1	Einführung .....	303
C.2	Grundlagen zu SAC Coake .....	304
C.3	Probeleauf .....	306
C.4	Komponentenauswahl .....	311
C.4.1	Zeile versus Matrix .....	311
C.4.2	Prozessanbindung .....	312
C.5	Projekte .....	313
C.5.1	Automatisches Brezelmesser .....	313
C.5.2	Drehteilprüfung .....	314
C.5.3	Stanzteilprüfung .....	315
C.5.4	Prüfung von Radialwellen-Dichtringen .....	315
C.6	Quellen .....	317