

---

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I 2D-Bildverarbeitung

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Elementare Grundlagen</b>                      | <b>3</b>  |
| 1.1      | Abtastung   | 3         |
| 1.2      | Diskrete Natur von digitalen Bildern              | 6         |
| 1.2.1    | Gittertypen                                       | 7         |
| 1.2.2    | Kuriositäten im Quadratgitter                     | 10        |
| 1.2.3    | Digitale Konvexität                               | 10        |
| 1.2.4    | Silhouetten                                       | 12        |
| 1.2.5    | Perkolation                                       | 16        |
| 1.3      | Bildmodelle                                       | 17        |
| 1.4      | Bildtransformationen                              | 18        |
| 1.4.1    | „Reine“ Grauertransformationen                    | 18        |
| 1.4.2    | Polar- und Log-Polar-Darstellungen                | 20        |
| 1.4.3    | Globale geometrische Transformationen             | 21        |
| 1.4.4    | Praktische Durchführung der Transformationen      | 23        |
| 1.4.5    | Beispiel OCR                                      | 24        |
| <b>2</b> | <b>Die Operationen Faltung und Korrelation</b>    | <b>27</b> |
| 2.1      | Faltung und Korrelation                           | 27        |
| 2.1.1    | Faltung   | 27        |
| 2.1.2    | Korrelation                                       | 31        |
| 2.1.3    | Ableitungen der Faltung                           | 36        |
| 2.1.4    | <i>Wrap-around effect</i> und <i>zero padding</i> | 37        |
| 2.2      | Zirkularmatrizen                                  | 38        |
| 2.2.1    | Elementare Eigenschaften                          | 38        |
| 2.2.2    | Normabschätzungen und Stabilität                  | 41        |
| 2.3      | LSI-Operatoren                                    | 43        |
| 2.4      | Faltungsgleichungen im Ortsraum                   | 48        |
| 2.4.1    | Iterative Entfaltung                              | 48        |
| 2.4.2    | Beschränkte Entfaltungskerne                      | 49        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.5      | FIR und IIR Filter . . . . .  | 49        |
| 2.6      | Schnelle Faltungen im Ortsraum . . . . .                                | 51        |
| <b>3</b> | <b>Bildtransformationen . . . . .</b>                                   | <b>53</b> |
| 3.1      | Grundlagen und Basissysteme . . . . .                                   | 53        |
| 3.2      | Analoge Fouriertransformation im endlichen Intervall (AFT) . . . . .    | 57        |
| 3.3      | Die endliche diskrete Fouriertransformation (DFT) . . . . .             | 60        |
| 3.4      | Die Fourier-Integraltransformation (IFT) . . . . .                      | 62        |
| 3.4.1    | Integraltransformation als Grenzwert . . . . .                          | 62        |
| 3.4.2    | Integraltransformation mit stetigen Basen . . . . .                     | 64        |
| 3.5      | Die unendliche diskrete Fouriertransformation (UDFT) . . . . .          | 65        |
| 3.6      | Fourier-Mellin-Transformation (FMT) . . . . .                           | 66        |
| 3.7      | Hilbert-Transformation (HIT) . . . . .                                  | 67        |
| <b>4</b> | <b>Grundlegende Eigenschaften der Fouriertransformation . . . . .</b>   | <b>71</b> |
| 4.1      | Bezeichnungen . . . . .   | 71        |
| 4.2      | Nullter Fourierkoeffizient, Gleichanteil . . . . .                      | 72        |
| 4.3      | Konvergenzverhalten, Gibbssches Phänomen . . . . .                      | 72        |
| 4.4      | Linearität der Fouriertransformation . . . . .                          | 74        |
| 4.5      | Periodizität der Fourierkoeffizienten . . . . .                         | 75        |
| 4.6      | Spektrum reeller Funktionen . . . . .                                   | 77        |
| 4.7      | Parsevalsche Gleichung . . . . .  | 77        |
| 4.8      | Faltungstheorem . . . . .   | 78        |
| 4.9      | Spektrum der Korrelationsfunktion . . . . .                             | 80        |
| 4.10     | Kohärenz . . . . .  | 80        |
| 4.11     | Eigenwerte und Eigenfunktionen bezüglich der Faltung . . . . .          | 81        |
| 4.12     | Normabschätzungen und Kondition . . . . .                               | 82        |
| 4.13     | Faltungs-Iterationen . . . . .  | 83        |
| 4.14     | Reelle diskrete Fouriertransformation – Hartleytransformation . . . . . | 84        |
| 4.15     | Separierbarkeit der mehrdimensionalen Fouriertransformation . . . . .   | 86        |
| 4.16     | Implementierung der inversen Fouriertransformation . . . . .            | 86        |
| 4.17     | Verschiebungstheorem . . . . .  | 87        |
| 4.18     | Fouriertransformierte spezieller Funktionen . . . . .                   | 88        |
| 4.19     | Spektrum der Ableitungen . . . . .                                      | 93        |
| 4.20     | Periodische Bilder . . . . .  | 94        |
| 4.21     | Fouriertransformation für komplexe Funktionen . . . . .                 | 96        |
| 4.21.1   | Blockmatching . . . . .   | 96        |
| 4.21.2   | Trigonometrische Interpolation . . . . .                                | 97        |
| 4.21.3   | Trigonometrische Approximation . . . . .                                | 98        |
| 4.21.4   | Trigonometrisches Ellipsenfitting . . . . .                             | 99        |
| 4.21.5   | Normalisierung von Punktmengen . . . . .                                | 101       |
| 4.21.6   | Fourierdeskriptoren und Translationen . . . . .                         | 104       |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.21.7   | Fourierdeskriptoren und isotrope Skalierungen        | 104        |
| 4.21.8   | Fourierdeskriptoren für Rotation und Startpunktwahl  | 105        |
| 4.21.9   | Fourierdeskriptoren in der Praxis                    | 107        |
| 4.22     | Cepstrum   | 109        |
| 4.23     | Modifizierte diskrete Fouriertransformationen (MDFT) | 110        |
| 4.24     | Diskrete Kosinus Transformation (DCT)                | 112        |
| 4.25     | Unschärferelation                                    | 115        |
| 4.26     | Affine Transformationen                              | 116        |
| 4.27     | Lokales Energiemodell                                | 118        |
| 4.27.1   | Lokale Energie                                       | 118        |
| 4.27.2   | Phasenkongruenz                                      | 119        |
| 4.27.3   | Funktionen mit hoher Phasenkongruenz                 | 121        |
| <b>5</b> | <b>Abtasttheoreme</b>                                | <b>123</b> |
| 5.1      | Abtasttheorem im endlichen Intervall                 | 123        |
| 5.2      | Abtasttheorem für das unendliche Bildmodell          | 129        |
| 5.3      | Abtasttheorem für 2D-Signale                         | 133        |
| 5.4      | Anwendungen des Abtasttheorems                       | 134        |
| 5.4.1    | Verkleinern von Bildern (Shrinking)                  | 134        |
| 5.4.2    | Vergrößern von Bildern (Zooming, Superresolution)    | 134        |
| 5.4.3    | Superresolution und Bildrestauration                 | 139        |
| 5.4.4    | Bemerkungen zum Abtasttheorem                        | 142        |
| 5.4.5    | Pyramiden  | 145        |
| <b>6</b> | <b>Orts-Frequenz-Darstellungen</b>                   | <b>147</b> |
| 6.1      | Der Leck-Effekt (Leakage effect)                     | 147        |
| 6.2      | Das komplexe Spektrogramm                            | 148        |
| 6.3      | Wigner-Ville-Orts-Frequenz-Darstellung               | 151        |
| 6.4      | Gabor-Filter   | 152        |
| 6.5      | Quadratur-Filter (Energie-Filter)                    | 153        |
| <b>7</b> | <b>Filterentwurf im Frequenzraum</b>                 | <b>155</b> |
| 7.1      | Tiefpassfilter                                       | 155        |
| 7.2      | Unschärfe Maskierung (Unsharp Masking)               | 156        |
| 7.3      | Pruning-Filter                                       | 158        |
| 7.4      | Homorphe Filter                                      | 158        |
| 7.5      | DoB-Filter   | 158        |
| 7.6      | Scharfe Bilder (Fokussierung)                        | 161        |
| <b>8</b> | <b>Filter im Ortsraum</b>                            | <b>165</b> |
| 8.1      | Lineare und verschiebungsinvariante Filter           | 165        |
| 8.1.1    | Berechnung der Filterkoeffizienten                   | 165        |
| 8.1.2    | Implementierung von LSI-Filtern                      | 169        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 8.2       | Nichtlineare Filter                                     | 170        |
| 8.2.1     | Funktionen von LSI-Filtern                              | 171        |
| 8.2.2     | Richtungsfilter   | 174        |
| 8.2.3     | Relaxationsfilter                                       | 176        |
| 8.2.4     | Morphologische Filter                                   | 176        |
| 8.2.5     | Rangordnungsfilter                                      | 180        |
| <b>9</b>  | <b>Stochastische Bildsignale</b>                        | <b>183</b> |
| 9.1       | Grundbegriffe der Informationstheorie                   | 183        |
| 9.2       | Statistiken $n$ -ter Ordnung                            | 189        |
| 9.3       | Rauschmodelle   | 190        |
| 9.3.1     | Rauschminderung mit mehreren Aufnahmen                  | 192        |
| 9.3.2     | Rauschen und Bilddatenkompression                       | 193        |
| 9.4       | Energiefunktionen                                       | 193        |
| 9.5       | Bildrestauration  | 195        |
| 9.5.1     | Invers-Filter   | 196        |
| 9.5.2     | Restauration unter Zwang                                | 196        |
| 9.5.3     | Wiener-Hellstrom-Optimal-Filter                         | 199        |
| 9.5.4     | Richardson-Lucy-Algorithmus                             | 202        |
| 9.5.5     | Bewegungsunschärfe ( <i>motion blur</i> )               | 203        |
| 9.5.6     | Wellenfront Kodierung ( <i>wavefront coding</i> )       | 209        |
| 9.5.7     | Kodierte Apertur ( <i>coded aperture imaging</i> )      | 209        |
| <b>10</b> | <b>Bildsegmentierung</b>                                | <b>211</b> |
| 10.1      | Thresholding  | 212        |
| 10.2      | Konturfolgeverfahren bei binärer Quantisierung          | 213        |
| 10.3      | Konturfolgeverfahren bei lokaler ternärer Quantisierung | 215        |
| 10.4      | Konturfolgeverfahren bei beliebigen Punktmengen         | 218        |
| 10.5      | <i>Seeded region growing</i>                            | 220        |
| 10.6      | Anwendung in der Biofilmanalyse                         | 221        |
| 10.7      | Linien-detektion  | 222        |
| 10.7.1    | Dynamische Programmierung                               | 222        |
| 10.7.2    | Dijkstras Algorithmus                                   | 226        |
| 10.7.3    | Graphbasierte Methoden                                  | 229        |
| 10.8      | Akkumulations- oder Votingmethoden                      | 231        |
| 10.8.1    | Primale Voting-Methode zur Detektion von Geraden        | 231        |
| 10.8.2    | Duale Voting-Methode: Hough-Transformation              | 233        |
| 10.8.3    | Zeit- und Speicher-Effizienz                            | 234        |
| 10.8.4    | Hough-Transformation und Konvexgeometrie                | 235        |
| 10.8.5    | Verallgemeinerungen                                     | 237        |

|           |                                     |     |
|-----------|-------------------------------------|-----|
| <b>11</b> | <b>Farbbildverarbeitung</b>         | 241 |
| 11.1      | Spektrale Farben                    | 242 |
| 11.2      | Visuelle Farbwahrnehmung            | 243 |
| 11.3      | Farbtafeln                          | 244 |
| 11.4      | Farbmodelle                         | 246 |
| 11.4.1    | Technikorientierte Farbmodelle      | 246 |
| 11.4.2    | Wahrnehmungsorientierte Farbmodelle | 249 |
| 11.5      | Operationen auf Farbbildern         | 250 |
| <b>12</b> | <b>Texturen</b>                     | 253 |
| 12.1      | Einführung                          | 253 |
| 12.2      | Elementare statistische Merkmale    | 255 |
| 12.3      | Autoregressive Prozesse (AR)        | 256 |

## Teil II 3D-Bildverarbeitung

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| <b>13</b> | <b>3D-Geometrie</b>                                    | 261 |
| 13.1      | Geometrische Transformationen und homogene Koordinaten | 261 |
| 13.1.1    | Geometrische Transformationen in der Ebene             | 261 |
| 13.1.2    | Homogene Koordinaten                                   | 263 |
| 13.2      | Beschreibung von 3D-Rotationen                         | 269 |
| 13.2.1    | Beschreibung durch Rotationsmatrizen                   | 269 |
| 13.2.2    | Bestimmung der Drehachse und des Drehwinkels           | 272 |
| 13.2.3    | Drehmatrix aus Drehachse und Drehwinkel                | 273 |
| 13.2.4    | Beschreibung von 3D-Rotationen durch Quaternionen      | 273 |
| 13.2.5    | Exponentielle Form einer Quaternion                    | 279 |
| 13.2.6    | Quaternionen über komplexen Zahlen                     | 280 |
| 13.2.7    | Dot-Produkte   | 281 |
| 13.2.8    | Beispiele  | 281 |
| 13.2.9    | Kanonisch exponentielle Darstellung einer Drehmatrix   | 283 |
| 13.2.10   | Vor- und Nachteile                                     | 286 |
| 13.2.11   | Eine Anwendung zur Bestimmung einer Rotation           | 286 |
| 13.2.12   | Duale Zahlen, Duplex-Zahlen                            | 288 |
| 13.2.13   | Duale Quaternionen                                     | 289 |
| 13.2.14   | Euklidische Transformationen und duale Quaternionen    | 290 |
| <b>14</b> | <b>Geometrie der Abbildungsprozesse</b>                | 293 |
| 14.1      | Keramamodelle  | 293 |
| 14.1.1    | Orthografische Projektion                              | 294 |
| 14.1.2    | Skalierte orthografische Projektion                    | 294 |
| 14.1.3    | Anisotrop skalierte orthografische Projektion          | 295 |
| 14.1.4    | Affine Kamera  | 296 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 14.1.5    | Spezielle affine Kameras                                  | 296        |
| 14.1.6    | Pinhole camera  | 296        |
| 14.1.7    | Pinhole camera – Erweiterung 1                            | 302        |
| 14.1.8    | Pinhole camera – allgemeiner Fall                         | 302        |
| 14.1.9    | Normalisierte Koordinaten                                 | 303        |
| 14.1.10   | Homographien  | 304        |
| 14.1.11   | Kamerainvarianten   | 304        |
| 14.1.12   | Homogene Koordinaten via Kartesische Koordinaten          | 308        |
| 14.2      | Bewegung der Kamera                                       | 310        |
| 14.3      | Invarianten   | 312        |
| 14.3.1    | Punktinvarianten  | 312        |
| 14.3.2    | Flächeninvarianten  | 317        |
| 14.3.3    | Invarianten von Punkten, Geraden, Kurven                  | 319        |
| 14.4      | Epipolarometrie   | 322        |
| 14.4.1    | Zusammenhang über die Projektionsmatrizen                 | 324        |
| 14.4.2    | Zusammenhang über die Epipolartransformation              | 326        |
| 14.4.3    | Zusammenhang über die <i>Essential</i> Matrix             | 328        |
| 14.4.4    | Spezialfall: 3D-Punkte liegen in einer Ebene              | 334        |
| 14.4.5    | Berechnung der Fundamentalmatrix                          | 335        |
| <b>15</b> | <b>Kamerakalibrierung</b>                                 | <b>339</b> |
| 15.1      | Direkte Kalibrierung                                      | 339        |
| 15.2      | Selbstkalibrierung  | 343        |
| 15.2.1    | Allgemeines   | 343        |
| 15.2.2    | Planare Kalibrierung nach Zhang                           | 347        |
| 15.2.3    | Tomasi und Kanade: Schwache Perspektive                   | 352        |
| 15.2.4    | Tomasi und Kanade: Perspektive                            | 355        |
| 15.3      | Kalibrierung mit der E-Matrix                             | 356        |
| 15.4      | Kameraparameter aus der Projektionsmatrix                 | 356        |
| 15.5      | Verzeichnungen  | 357        |
| <b>16</b> | <b>3D-Rekonstruktion</b>                                  | <b>363</b> |
| 16.1      | Rekonstruktion aus Projektionen                           | 363        |
| 16.2      | Rekonstruktion der 3D-Struktur von polyedrischen Objekten | 367        |
| 16.2.1    | <i>Weak perspective camera</i>                            | 367        |
| 16.2.2    | Affine Kamera   | 369        |
| 16.2.3    | <i>Pinhole camera</i>                                     | 370        |
| 16.3      | Triangulation von Raumpunkten                             | 376        |
| 16.4      | Bestimmung der Punktkorrespondenzen                       | 378        |
| 16.5      | Eine einfache, praktische 3D-Vermessungsaufgabe           | 380        |
| 16.6      | Aktives Sehen   | 383        |
| 16.6.1    | Projektion von Lichtstrahlen                              | 383        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 16.6.2    | Projektion mit Lichtebenen                   | 383        |
| 16.6.3    | Codierter Lichtansatz (Coded Light Approach) | 384        |
| 16.6.4    | Moire-Technik                                | 387        |
| 16.6.5    | Phasenshift-Verfahren                        | 390        |
| 16.6.6    | Profilometrie                                | 393        |
| 16.6.7    | Statistische Muster                          | 394        |
| 16.6.8    | Shape from focus/defocus                     | 395        |
| 16.7      | Photometrische Methoden der Rekonstruktion   | 398        |
| 16.7.1    | Beleuchtung und Reflexion                    | 398        |
| 16.7.2    | Shape from Shading                           | 400        |
| 16.8      | Monokulare Rekonstruktion                    | 403        |
| 16.8.1    | Siebanalyse                                  | 403        |
| 16.8.2    | Planare Vierecke                             | 406        |
| 16.8.3    | Rechtecke                                    | 408        |
| 16.8.4    | Kugeln                                       | 410        |
| 16.8.5    | Kreisscheiben                                | 411        |
| <b>17</b> | <b>Tensoren in der Bildverarbeitung</b>      | <b>415</b> |
| 17.1      | Grundbegriffe der Tensoralgebra              | 415        |
| 17.1.1    | Vektorraum $V$                               | 415        |
| 17.1.2    | Einsteinsche Summenschreibweise              | 416        |
| 17.1.3    | Dualer Vektorraum $V^*$                      | 416        |
| 17.1.4    | Multilineare Vektorfunktionen                | 417        |
| 17.1.5    | Multilineare Vektorabbildungen               | 418        |
| 17.1.6    | Wechsel des Koordinatensystems               | 419        |
| 17.1.7    | Tensoren                                     | 420        |
| 17.2      | Allgemeine Tensoren                          | 423        |
| 17.2.1    | Tensoralgebra                                | 423        |
| 17.2.2    | $m$ -Vektoren                                | 432        |
| 17.2.3    | Rang von Tensoren                            | 433        |
| 17.2.4    | Zerlegung von Tensoren                       | 435        |
| 17.3      | Der Euklidische Raum                         | 436        |
| 17.4      | Tensorfelder                                 | 438        |
| 17.5      | Anwendungen in der Bildverarbeitung          | 440        |
| 17.5.1    | Der trifokale Tensor                         | 440        |
| 17.5.2    | Der Strukturtensor                           | 443        |

### Teil III Objekterkennung

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>18</b> | <b>Maschinelles Lernen</b>               | <b>449</b> |
| 18.1      | Grundprinzipien des maschinellen Lernens | 449        |
| 18.1.1    | Funktionale Modellierung                 | 451        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 18.1.2    | Stochastische Modellierung                             | 451        |
| 18.1.3    | Diskriminative und generative Klassifikatoren          | 452        |
| 18.2      | Herausforderungen des Maschinellen Lernens             | 454        |
| 18.2.1    | Modellkomplexität, Überanpassung und Generalisierung   | 454        |
| 18.2.2    | Lernen mit wenigen Beispielen                          | 455        |
| 18.3      | Statistische Schätzer                                  | 456        |
| 18.3.1    | Maximum-Likelihood und Maximum-A-Posteriori-Schätzung  | 456        |
| 18.3.2    | Bayes-Ansätze und Marginalisierung                     | 458        |
| 18.3.3    | MMSE-Schätzer  | 459        |
| 18.3.4    | Kombination von Modellen mit Bagging                   | 460        |
| 18.4      | Klassifikatoren  | 461        |
| 18.4.1    | Nächster-Nachbar-Klassifikator                         | 462        |
| 18.4.2    | Normalverteilungsklassifikator                         | 464        |
| 18.4.3    | Entscheidungsbäume                                     | 466        |
| 18.4.4    | Randomisierte Entscheidungsbäume                       | 468        |
| 18.4.5    | Boosting   | 470        |
| 18.4.6    | Support-Vektor-Klassifikator                           | 473        |
| 18.5      | Kernelbasierte Klassifikation                          | 478        |
| 18.5.1    | Kernelfunktionen und nichtlineare Klassifikation       | 478        |
| 18.5.2    | Mercer-Bedingung und Konstruktion von Kernelfunktionen | 481        |
| 18.5.3    | Kerneldichteschätzung und Parzen-Klassifikator         | 484        |
| 18.5.4    | Support-Vektor-Klassifikator mit Kernelfunktionen      | 486        |
| 18.5.5    | Modellierung mit Gauß-Prozessen                        | 490        |
| 18.5.6    | Gauß-Prozess-Regression                                | 495        |
| 18.5.7    | Klassifikation mit Gauß-Prozessen                      | 498        |
| 18.5.8    | Laplace-Approximation                                  | 499        |
| 18.5.9    | Zusammenhang zum SVM Ansatz                            | 500        |
| 18.5.10   | Mehrklassen-Klassifikation                             | 502        |
| 18.5.11   | Hyperparameter-Schätzung                               | 503        |
| 18.6      | Bewertung von Klassifikatoren                          | 504        |
| 18.6.1    | Wahl der Testbeispiele                                 | 504        |
| 18.6.2    | Erkennungsraten bei mehreren Klassen                   | 505        |
| 18.6.3    | Bewertung von binären Klassifikatoren                  | 506        |
| 18.7      | Unüberwachte Verfahren und Gruppierung                 | 508        |
| 18.7.1    | Gruppierung mit $k$ -Means                             | 509        |
| 18.7.2    | Schätzung von Mischverteilungen                        | 510        |
| <b>19</b> | <b>Momente, Matching und Merkmale</b>                  | <b>515</b> |
| 19.1      | Momente  | 515        |
| 19.2      | Transformation der Momente                             | 520        |
| 19.3      | Normalisierung der Momente                             | 522        |
| 19.4      | Kovariante Merkmale, Verfahren und Umgebungen          | 524        |



|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 19.5      | Invarianten und Momente                           | 527        |
| 19.5.1    | Erweiterte Hu-Invarianten (Rotationen)            | 527        |
| 19.5.2    | Invarianten für Euklidische Transformationen      | 528        |
| 19.5.3    | Invarianten für Ähnlichkeitstransformationen      | 529        |
| 19.5.4    | Invarianten für affine Transformationen           | 529        |
| 19.6      | Gestaltsanalyse mit momentenbasiertem Fitting     | 530        |
| 19.7      | Effiziente Berechnung von Konturmerkmalen         | 535        |
| 19.7.1    | Elementare Konturmerkmale                         | 535        |
| 19.7.2    | Berechnung der Momente                            | 539        |
| 19.8      | Matching  | 541        |
| 19.8.1    | Matchingmaße                                      | 542        |
| 19.8.2    | Histogrammbasierte Matchingmaße                   | 544        |
| 19.8.3    | Signaturen  | 546        |
| 19.8.4    | Matching und Registrierung                        | 547        |
| 19.9      | Lokale Merkmale und Häufigkeitshistogramme        | 571        |
| 19.9.1    | Detektor nach Kadir und Brady                     | 572        |
| 19.9.2    | SIFT-Merkmale                                     | 572        |
| 19.9.3    | HOG-Merkmale                                      | 575        |
| 19.9.4    | Local Binary Patterns (LBP)                       | 576        |
| 19.9.5    | Statistiken von lokalen Merkmalen                 | 577        |
| 19.9.6    | Schnelle Berechnungen mit Integralbildern         | 579        |
| 19.10     | Transformation von Merkmalen                      | 580        |
| 19.10.1   | <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)         | 580        |
| 19.10.2   | Faktorenanalyse                                   | 585        |
| <b>20</b> | <b>Visuelle Erkennungsaufgaben</b>                | <b>589</b> |
| 20.1      | Herausforderungen der visuellen Objekterkennung   | 589        |
| 20.2      | Bildklassifikation                                | 591        |
| 20.2.1    | Kategorisierung mit globalen Merkmalen            | 591        |
| 20.2.2    | Kernelbasierte Kombination von mehreren Merkmalen | 595        |
| 20.2.3    | Kombinierte Merkmalsberechnung und Klassifikation | 596        |
| 20.2.4    | Erkennung auf Instanzebene                        | 597        |
| 20.3      | Objektlokalisierung                               | 598        |
| 20.3.1    | Sliding-Window Klassifikation                     | 599        |
| 20.3.2    | Viola-und-Jones-Verfahren                         | 600        |
| 20.3.3    | Fusion von Objekthypothesen                       | 604        |
| 20.3.4    | HOG Detektor                                      | 605        |
| 20.3.5    | Teilebasierte Verfahren                           | 606        |
| 20.4      | Semantische Segmentierung                         | 607        |
| 20.4.1    | Klassifikation lokaler Deskriptoren               | 607        |
| 20.4.2    | Klassifikation mit effizienten Pixelmerkmalen     | 609        |
| 20.4.3    | Iterative Verwendung von Kontextmerkmalen         | 611        |

**Teil IV Mathematische Hilfsmittel**

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| <b>21</b> | <b>Ausgleichsrechnung</b>                 | 617 |
| 21.1      | Quadratische Formen und Eigenwertprobleme | 617 |
| 21.2      | Ausgleichsrechnung                        | 620 |
| 21.2.1    | Lineare Ausgleichsrechnung                | 620 |
| 21.2.2    | Nichtlineare Ausgleichsrechnung           | 625 |
| 21.2.3    | Kovariantes Fitting                       | 630 |
| 21.2.4    | Ausreißer-Probleme (Outlier)              | 633 |
| 21.2.5    | Andere Schätzer (LAD)                     | 636 |
| <b>22</b> | <b>Lineare Algebra und Stochastik</b>     | 639 |
| 22.1      | Pseudoinverse                             | 639 |
| 22.2      | Regularisierung nach Tichonov und Arsenin | 644 |
| 22.3      | Singulärwertzerlegung (SVD)               | 645 |
| 22.3.1    | Grundlagen                                | 645 |
| 22.3.2    | Anwendungen                               | 647 |
| 22.4      | Blockmatrizen                             | 649 |
| 22.5      | Normalverteilungen                        | 651 |
|           | <b>Literatur</b>                          | 653 |
|           | <b>Sachverzeichnis</b>                    | 659 |

Bildverarbeitung und Objekterkennung  
Computer Vision in Industrie und Medizin

Süße, H.; Rodner, E.

2014, XVIII, 666 S. 204 Abb., 8 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-8348-2605-3