

Tabula rasa

Grundlagen der Bildverarbeitung: Der Hintergrund

Bei industriellen Anwendungen ist ein Bild mit einem homogenen Hintergrund oft besonders günstig für die nachfolgenden Verarbeitungsschritte. Es ermöglicht eine sichere, robuste Trennung von Vordergrund und Hintergrund. Dieser Beitrag behandelt einige einfache Verfahren der Bildverarbeitung, die in dieser Hinsicht für die Charakterisierung einer Beleuchtungssituation nützlich sein können.

In der industriellen Bildverarbeitung soll die Beleuchtung die relevanten Merkmale von Objekten hervorheben und die irrelevanten Eigenschaften unterdrücken. Im einfachsten Fall erzeugt die Beleuchtung ein nahezu binäres Bild, in dem sich z.B. dunkle Objekte mit deutlichem Kontrast von einer hellen Unterlage abheben. Abbildung 1a zeigt ein typisches Beispiel. Die meisten Bildverarbeiter sind sehr zufrieden mit der Beleuchtung, wenn mit einer globalen Binarisierungsschwelle das Graustufenbild in ein brauchbares Binärbild überführt werden kann und der Schwellwert innerhalb weiter Grenzen verändert werden darf, ohne dass die Segmentierung nennenswert leidet.

die dunklen Münzen und für den hellen Hintergrund gehören. Wie kann also dort eine Verteilung mit einer Breite von jeweils etwa 20 Graustufen entstehen? Noch deutlicher wird die Problematik bei einem Blick auf Abbildung 1c. Dort ist auf der Ordinate nach oben nicht die Anzahl, sondern die Wurzel aus der Anzahl der Pixel mit dem jeweiligen Grauwert aufgetragen. Im Bereich zwischen den beiden Häufungen kommen offenbar sämtliche möglichen Grauwerte tatsächlich im Bild vor. Ein Grund für die Zwischenwerte im Histogramm ist die Bildgebung an den Kanten der Münzen. Dort entstehen Reflexionen und Schatten, zusätzlich trägt die optische Abbildung zu einer Verschlei-

fung der Kanten bei. Dadurch entsteht ein kontinuierliches Kantenprofil, das mit dem Detektorraster diskret abgetastet wird. Dabei können grundsätzlich alle möglichen Grauwerte zwischen dem Wert für den hellen Hintergrund und dem dunklen Objekt erzeugt werden. Hinzu kommt das Rauschen des Bildsignals, das bei Standardkameras nicht zu unterschätzen ist. Auch die unterschiedliche Empfindlichkeit der Detektorpixel und die unterschiedlichen Dunkelsignale, („fixed pattern noise“) tragen zur Verteilung der Graustufen bei.

Das Histogramm des Prüfbildes erlaubt demnach keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Güte der Beleuchtung. Mehr Infor-

Grauwertverteilung

Oft wird eine solche Situation anhand des Grauwert-Histogramms beurteilt. In Abbildung 1b ist das Histogramm der Szene aus Abbildung 1a dargestellt. Das Histogramm zerfällt in diesem Fall in zwei deutlich getrennte Bereiche. Die Häufung um den Grauwert 25 herum gehört zu den dunklen Objektpixeln, die Häufung um den Grauwert 215 zu den hellen Hintergrundpixeln. Eine Binarisierung mit der globalen Schwelle 104 führt zu dem Binärbild in Abbildung 1d mit klarer Trennung von Objekten und Hintergrund.

Damit scheint es sich um eine ideale Beleuchtungssituation zu handeln. Bei näherer Betrachtung ist die Angelegenheit jedoch komplizierter. Das Bild in Abbildung 1a zeigt Münzen, die im Durchlicht aufgenommen worden sind. Münzen sind vollständig undurchlässig. Folglich sollten nur zwei scharfe Linien im Histogramm erscheinen, die jeweils zum Grauwert für

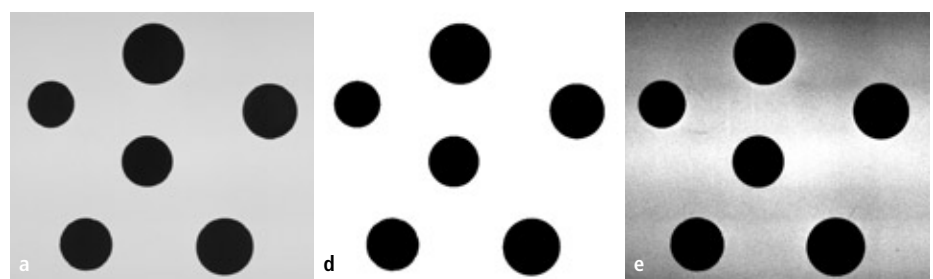
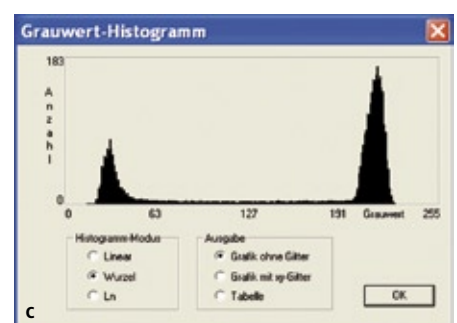
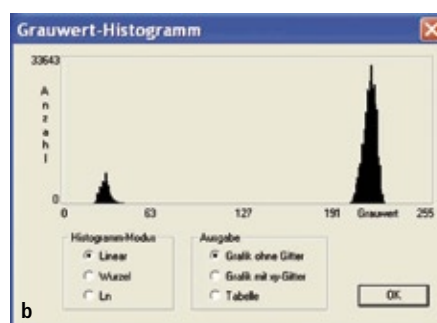


Abb. 1: Eine Durchlichtaufnahme, das zugehörige Grauwert-Histogramm mit linearer Skala und mit Wurzelskalierung, das daraus entstehende Binärbild und das Ergebnis einer Grauwertspreizung



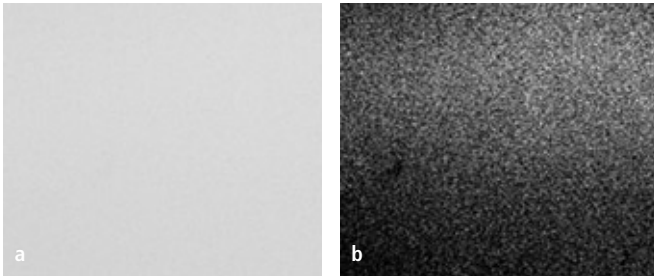


Abb. 2: Ein Ausschnitt aus dem Hintergrund von Abbildung 1 sowie das Ergebnis einer Grauwertspreizung für diesen Ausschnitt

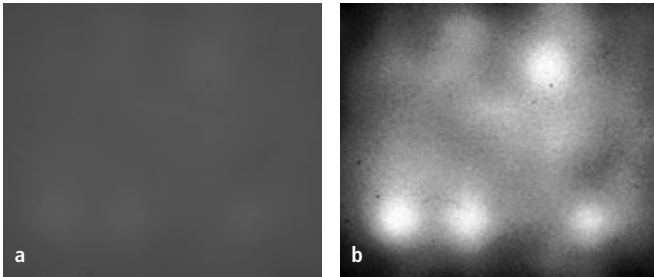


Abb. 3: Die Aufnahme eines kommerziellen Durchlichtfeldes und das Ergebnis einer Grauwertspreizung

mation liefert eine Aufnahme von einer beleuchteten Fläche, ohne dass sich Objekte im Bild befinden. Als Beispiel ist in Abbildung 2a ein Ausschnitt aus dem Hintergrund von Abbildung 1a dargestellt. Das zugehörige Histogramm besteht aus einer glockenförmigen Häufung im Bereich zwischen den Grauwerten 206 und 225. Grauwerte außerhalb dieses Intervalls kommen im Bildausschnitt gar nicht vor. Die Spannweite beträgt lediglich 20 Grauwerte, der Median liegt bei 216, und die Standardabweichung ist 2,7. Diese globalen statistischen Größen oder davon abgeleitete Größen, die z.B. auf den Zentralwert der Verteilung normiert sind, können für manche Anwendungen durchaus zur Charakterisierung der Güte einer Beleuchtung geeignet sein.

Lokale Strukturen

Globale Kenngrößen geben aber nicht unmittelbar Aufschluss über Strukturen im Bild. Selbst bei so günstig erscheinenden statistischen Parametern wie für Abbildung 2a kann man Überraschungen erleben. Abbildung 2b zeigt denselben Bildausschnitt, jedoch nach einer Kontrastanhebung. In diesem Beispiel wurden die Grauwerte zwischen 210 und 225 auf den vollen Grauwertumfang gespreizt, also alle Grauwerte unterhalb 211 auf Null gesetzt, alle Grauwerte oberhalb von 224 auf 255, und alle Grauwerte dazwischen linear auf den Bereich von 0 bis 255 verteilt. Die Bildinformation hat sich dadurch nicht geändert, sie ist lediglich für einen menschlichen Betrachter besser zugänglich. Es ist deutlich erkennbar, dass die Helligkeitsverteilung keineswegs homogen und auch

nicht nur statistisch verrauscht ist, sondern dass es einen Helligkeitsverlauf und Flecken im Bild gibt. Noch deutlicher wird die Situation, wenn diese Operation auf das gesamte Bild angewandt wird. Abbildung 1e zeigt das Ergebnis für eine Spreizung des Grauwertintervalls von 190 bis 220. Hier treten Strukturen und Effekte in Erscheinung, die allein mit globalen statistischen Parametern nicht aufgedeckt werden können. Ein weiteres, spektakuläres Beispiel zeigt Abbildung 3a, eine Aufnahme eines kommerziell erhältlichen Durchlichtfeldes. In diesem Bild kommen Grauwerte im Intervall von 59 bis 93 vor, die Standardabweichung beträgt 5,1. Die Spreizung der Grauwerte zwischen 70 und 90 in Abbildung 3b zeigt jedoch sehr deutlich, dass es massive Strukturen in der Beleuchtung gibt.

Vielfältige Einflussfaktoren

Bei dieser Vorgehensweise handelt es sich nicht um die Charakterisierung der Beleuchtung selbst, sondern um die Kombination der Einflüsse der Beleuchtung, der Abbildungsoptik und der Eigenschaften des Detektors sowie der nachfolgenden Signalverarbeitung. Beispielsweise kann eine Verzeichnung durch das Objektiv dazu führen, dass die tatsächliche Verteilung der Bestrahlungsstärke auf der Probe nicht gleichmäßig in ein Bildsignal umgesetzt wird. Außerdem haben viele Objektive, die für die Bildverarbeitung eingesetzt werden, einen Randabfall, d.h. zum Bildfeldrand hin wird von einer ideal homogen leuchtenden Fläche weniger Licht auf den Detektor übertragen als im Zentrum. Letztlich geht es bei einer Applikation aber nicht in erster



Intelligente Gigabit Ethernet Kameras



Die neueste Kamera-Generation mit integrierter Bildverarbeitung und einfacher Einbindung in Standard-Netzwerke

- ▶ GigEVision und GenICam kompatibel
- ▶ programmierbare Bildverarbeitung in der Kamera
- ▶ ideal für verteilte Systeme
- ▶ hochwertige industrielle CCD- und CMOS-Sensoren
- ▶ einfache Prozessanbindung über Digital-I/Os
- ▶ universell einsetzbar für Machine Vision, Medizin, Sicherheitstechnik u.v.m.
- ▶ Windows- und Linux-Unterstützung
- ▶ kostenlose Bildverarbeitungs-bibliothek mvIMPACT Base
- ▶ umfangreiche Software-Unterstützung durch mvIMPACT und viele andere Standard-Pakete

www.matrix-vision.com/mvBlueCOUGAR

Z-LASER**Der neue
ZM18 Laser****Laserbeleuchtung für:**

- Bildverarbeitung
- 3D Vermessung
- Triangulation
- Oberflächeninspektion
- Positionserkennung

Features:

- 5-30VDC mit Surge- und Spice- Schutz
- Analoge und digitale Modulation gleichzeitig bis zu 10MHz
- Handfokussierbar
- Bis zu 200mW optische Leistung
- RGB, verschiedene Wellenlängen
- Industrietauglich, IP67

www.Z-LASER.com

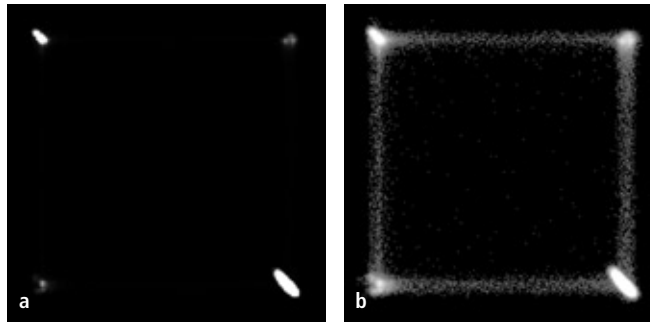


Abb. 4: Die Grauwertübergangsmatrix für Abbildung 1 und eine Nachbearbeitung zur Hervorhebung weiterer Strukturen in der Matrix

Linie um die Eigenschaften der Beleuchtung selbst, sondern um die Ausprägung der Bildinformation, die durch das Zusammenspiel von Beleuchtung, optischer Abbildung und Detektor samt Folgeelektronik erzeugt wird. Oft wirkt sich eine kontinuierliche Variation der Helligkeitsverteilung im Bild auch gar nicht störend aus. Wenn beispielsweise die Verarbeitung der Bilddaten auf Kantenerkennung beruht, kommt es auf den globalen Verlauf der Helligkeit gar nicht wesentlich an. Letztlich ist bei den meisten Bildverarbeitungsaufgaben ein guter lokaler Kontrast entscheidend, denn die Bildverarbeitung setzt weitgehend an lokalen Grauwertunterschieden an.

Inhomogenitäten der Beleuchtung dürfen also nicht zu vorgetäuschten lokalen Kontrasten führen. Solche Artefakte können jedoch in sehr vielen verschiedenen Ausprägungen auftreten, vergleichbar der Problematik bei der Prüfung von Oberflächen auf Kratzer, Einschlüsse und andere Fehler, die nicht vollständig vorher beschrieben werden können.

Systematische Analyseverfahren

Als systematischer Ansatz ist ein Gradientenbild geeignet, das die lokalen Steigungen zwischen benachbarten Grauwerten erfasst. Auch Verfahren aus der Texturanalyse können für diesen Zweck geeignet sein. Als Beispiel zeigt

Abbildung 4a die Grauwertübergangsmatrix, die sog. Co-occurrence-Matrix, für die Szene aus Abbildung 1a. Auf den beiden Achsen des Bildes sind die möglichen Grauwerte im Bild aufgetragen, in diesem Beispiel der Bereich von 0 bis 255. Für jedes Pixel im Bild wird nun der Grauwert ausgelesen und untersucht, welchen Grauwert das benachbarte Pixel hat. Hat das aktuelle Pixel z.B. den Grauwert 100 und das Nachbarpixel den Grauwert 120, wird im Ergebnisbild der Zähler für die Matrixposition (100, 120) um eins erhöht. Für eine perfekt homogene Verteilung, bei der alle Grauwerte im Bild identisch sind, wird also nur ein einziger Punkt in der Matrix belegt. Die Co-occurrence-Matrix in Abbildung 4a ist etwas komplizierter. Es gibt zwei sehr helle Bereiche auf der Diagonalen, die den homogenen dunklen Flächen der Objekte und dem hellen Hintergrund entsprechen. Auf der Gegendiagonalen sind zwei schwächer ausgeprägte Bereiche zu sehen, die den Übergängen an den Kanten zuzuordnen sind. Bei der Erzeugung dieser Matrix wurde nicht der Grauwert des direkt benachbarten Pixels abge-

prüft, sondern eines Pixels, das sich 16 Pixel rechts und 16 Pixel unterhalb des aktuellen Pixels befindet. Auf diese Weise tritt der Einfluss der Kanten stärker hervor, die Reichweite der lokalen Betrachtung wird erhöht. In Abbildung 4b wurde diese Matrix noch einmal kontrastverstärkt, d.h. die Helligkeit der Bereiche entspricht nun nicht mehr linear der Zahl der Eintragungen in der Matrix. Dadurch wird erkennbar, welche weiteren Grauwertsprünge im Bild vorhanden sind. Diese Darstellung ist ein nützliches Hilfsmittel bei Überlegungen zur Festlegung eines Toleranzbereichs für die Graustufenschwelle bei einer Binarisierung, für die Auslegung einer adaptiven Schwelle oder für die Kantenerkennung. Auch die lokalen Variationen eines Hintergrundbildes kann man damit genauer charakterisieren. Die Co-occurrence-Matrix ist jedoch immer noch ein komplexes Gebilde. Es ist nahe liegend, aus dieser Matrix Kenngrößen zu berechnen, die zur Beurteilung der Grauwertverteilung im Hintergrund für die jeweilige Applikation geeignet sind. Beispielsweise könnte abgeprüft werden, dass die Matrix nur innerhalb einer vorgegebenen Zone in einem Teilbereich der Diagonale belegt ist. Andere Kenngrößen werden in der Texturanalyse verwendet und sind in der Literatur beschrieben [1].

Literatur

- [1] Gonzales, R.C., Woods, R.E., Digital Image Processing, Addison-Wesley 1993, p. 508 ff.

► Autor

Prof. Dr. Christoph Heckenkamp
Hochschule Darmstadt
Studiengang Optotechnik
und Bildverarbeitung
heckenkamp@h-da.de
www.fbmn.h-da.de

