

Bewegung eingefroren

Grundlagen der Bildverarbeitung: Bewegte Objekte

Eine Standardsituation der industriellen Bildverarbeitung ist die Prüfung von bewegten Objekten im kontinuierlichen Fertigungsfluss. Die Prüfteile liegen z. B. auf einem Förderband und werden mit konstanter Geschwindigkeit durch den Sichtbereich der Kamera transportiert. Während der Integrationszeit einer Standardkamera kommt es dabei schon bei moderaten Transportgeschwindigkeiten zu erheblichen Bildverschmierungen. Die Bildaufnahme bei bewegten Objekten erfordert daher spezielle Maßnahmen bei der Ansteuerung der Kamera und der Beleuchtung, damit ein scharfes, gut auswertbares Bild entsteht.



Bewegungsunschärfe

In der industriellen Fertigung sind Transportgeschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde keine Seltenheit. Bei der Briefsortierung oder der Prüfung von Bahnware werden sogar Geschwindigkeiten von 10 m/s erreicht. Die Prüfteile werden häufig auf Förderbändern, auf Rutschen, in Riemenführungen oder im freien Fall an der Bildverarbeitungsstation vorbeigeführt und müssen in der Bewegung aufgenommen werden. Abbildung 1 verdeutlicht die Situation. Es handelt sich um eine Schokoladenlinse mit ca. 1 cm Durchmesser, die sich von rechts nach links bewegt und dabei mit einer 50-Hz-Halbbild-Kamera aufgenommen wurde. Die beiden Halbbilder werden bei dieser Kamera mit einem zeitlichen Versatz von 20 ms erzeugt. Es ist deutlich erkennbar, dass die Kanten des Objekts in der ersten, dritten, fünften usw. Zeile aus dem ersten Halbbild gegenüber der zweiten, vierten, sechsten usw. Zeile des zweiten Halbbildes erheblich versetzt sind. Die Kanten sind durch den Halbbildversatz kammartig aufge-

fasert. Bei „progressive scan“-Kameras gibt es keine Halbbilder, sondern nur noch Vollbilder, so dass der lästige „Kammeffekt“ entfällt. Eine Bildverschmierung entsteht aber auch bei diesem Kameratyp. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel aus der freien Natur, das sog. Taubenschwänzchen, eine Schmetterlingsart. Durch eine extrem hohe Flügel Schlagfrequenz gelingt es dem Tier, stabil vor einer Blüte zu schweben und mit seinem schlauchförmigen Rüssel Nektar zu entnehmen. Die Flügel sind wegen der langen Integrationszeit der Aufnahme nicht scharf abgebildet, sondern nur verschmiert über den gesamten vom Flügel Schlag überstrichenen Bereich schwach erkennbar.

Schon bei 1 m/s Transportgeschwindigkeit wird ein Objekt während 1 ms um 1 mm in Bewegungsrichtung versetzt. Eine „progressive-scan“-Kamera mit einer Bildaufnahme Frequenz von 50 Hz, die man mittlerweile als Standardkamera für die industrielle Bildverarbeitung betrachten kann, hat eine Integrationszeit von 20 ms. Bei dieser Kamera verschiebt sich ein Objekt bei 1 m/s

Transportgeschwindigkeit während der Integrationszeit um 20 mm. Eine Objektkante wird folglich im aufgenommenen Bild um 20 mm in Bewegungsrichtung verschmiert erscheinen. Bei 10 m/s Transportgeschwindigkeit wächst die Bewegungsunschärfe sogar auf 200 mm an. Eine Bildverschmierung in dieser Größenordnung ist für die meisten Prüfaufgaben nicht akzeptabel. Man wird daher bei bewegten Objekten dafür sorgen müssen, dass die Bildaufnahme während eines erheblich kürzeren Zeitintervalls im Vergleich zur Standardansteuerung einer Kamera stattfindet. Wie kurz das erlaubte Zeitintervall sein darf, hängt von der Größe der akzeptablen Bildverschmierung und von der Transportgeschwindigkeit ab. Meist wird es sinnvoll sein, die Verschmierung so weit zu reduzieren, dass sie etwa eine Pixelkantenlänge oder weniger beträgt. Wäre eine größere Verschmierung akzeptabel, würde auch eine Kamera mit geringerer Pixelauflösung für die Prüfaufgabe ausreichen. Will man umgekehrt die Pixelauflösung der Kamera nutzen, ist es in der Regel nicht sinnvoll, eine Bildver-



schmierung von mehr als einer Pixelkantenlänge zuzulassen. Als Beispiel betrachten wir eine Situation, bei der ein Gesichtsfeld von $b=100$ mm Breite mit einer Kamera mit einer Pixelauflösung von $N \times M = 1.000 \times 1.000$ Pixeln erfasst werden soll. Die Transportgeschwindigkeit sei $v = 1$ m/s in x-Richtung. Die Pixelauflösung im Gesichtsfeld beträgt dann $dx = b/N = 100 \text{ mm}/1.000 \text{ pxl}$, also $0,1 \text{ mm/pxl}$. Damit die Bildverschmierung unter $dx = 0,1 \text{ mm}$ bleibt, muss die Bildaufnahmezeit $dt = dx/v = 0,1 \text{ mm}/(1 \text{ mm/ms}) = 0,1 \text{ ms}$ betragen, also $100 \mu\text{s}$ oder $1/10.000 \text{ s}$. Grundsätzlich gibt es zwei einfache Möglichkeiten, diese Bildaufnahmezeit zu realisieren: die elektronische Steuerung der Belichtungszeit des Detektors („electronic shutter“) oder eine Blitzbeleuchtung („strobe“).

„Electronic shutter“

Die Idee des „electronic shutter“ wird in Abbildung 3 veranschaulicht. Eine Standardkamera läuft mit einer festen Taktrate, z.B. 50 Hz. Wenn es sich um eine „progressive scan“-Kamera handelt, wird in diesem Beispiel die Ladung, die in jedem Detektorpixel durch den Lichteinfall entsteht, über einen Zeitraum von 20 ms gesammelt und am Ende der Integrationszeit ausgelesen. Die Speicherzellen sind dann wieder leer, und der nächste Integrationszeitraum beginnt. Eine 50 Hz-progressive-scan-Kamera mit „electronic shutter“ liefert ebenfalls alle 20 ms ein Bild. Die Ladungsintegration wird aber so modifiziert, dass z.B. nach 19 ms die gesamte bis dahin in den einzelnen Pixeln akkumulierte Ladung durch einen Löschimpuls für alle Pixel gleichzeitig verworfen wird. Das Detektorarray integriert anschließend weiter bis zum Ende der Standard-Integrationszeit, also noch 1 ms. Am Ende der Taktzeit von 20 ms

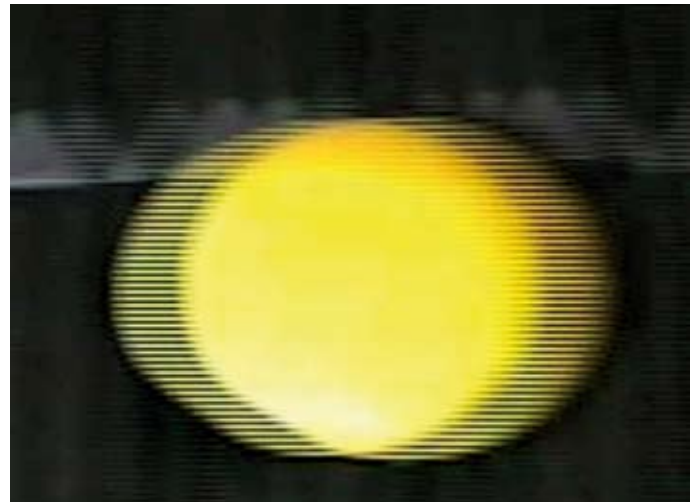


Abb. 1: Ein Objekt, das sich von rechts nach links bewegt, aufgenommen mit 50-Hz-Halbbildkamera. Der zeitliche Versatz zwischen dem ersten und zweiten Halbbild führt zur kammartigen Auffaserung der Kanten in Bewegungsrichtung.



Abb. 2: Bildverschmierung bei einer „progressive-scan“-Kamera, hier erkennbar im Bereich der schnell bewegten Flügel des Schmetterlings; Belichtungszeit: 25 ms

wird der Detektor ausgelesen, so dass das Bildsignal einer Integrationszeit von 1 ms entspricht. Allein durch die Steuerung des Löschimpulses kann folglich die effektive Belichtungszeit modifiziert werden, ohne dass der Auslesetakt der Kamera verändert werden muss. Die oben geforderte Belichtungszeit von $100 \mu\text{s}$ ist mit einem „electronic shutter“ bei heute verfügbaren Kameras leicht realisierbar. Das Integrationszeitintervall liegt allerdings zwangsläufig immer am Ende der regulären Integrationszeit. In einer Fertigungsanlage erscheinen die Prüfobjekte jedoch häufig nicht in einem festen Takt in der Prüfzone, sondern können asynchron einlaufen. Meist wird das Objekt durch eine Lichtschranke kurz vor dem Sichtbereich der Kamera detektiert. Das nächste aufgenommene Bild kann dann zur Bildaufnahme herangezogen werden. Falls die Licht-

schranke kurz nach dem Beginn einer Standard-Integrationszeit auslöst, liegt das effektive Integrationszeitintervall am Ende der Taktzeit, und es wird etwa 20 ms dauern, bis das Bildsignal aufgenommen wird. Falls die Lichtschranke kurz vor Ende der Standard-Integrationszeit auslöst, steht das effektive Integrationszeitintervall unmittelbar bevor. Je nach der zeitlichen Lage des Lichtschrankensignals zum Kameratakt kann das Bildsignal folglich zu Bewegungsphasen gehören, die sich um bis zu 20 ms unterscheiden. Innerhalb von 20 ms hat sich das Objekt bei einer Transportgeschwindigkeit von 1 m/s jedoch bereits um 20 mm, bei 10 m/s um 200 mm weiterbewegt. Das Bild ist zwar nun scharf, aber die Objektlage im Bild variiert, in unserem Beispiel um 20 mm. Bei einem Bildfeld von 100 mm wird man das Objekt unter diesen

Fordern Sie unser kostenloses Handbuch an!

Kappa opto-electronics GmbH
Germany | info@kappa.de | www.kappa.de

realize visions .

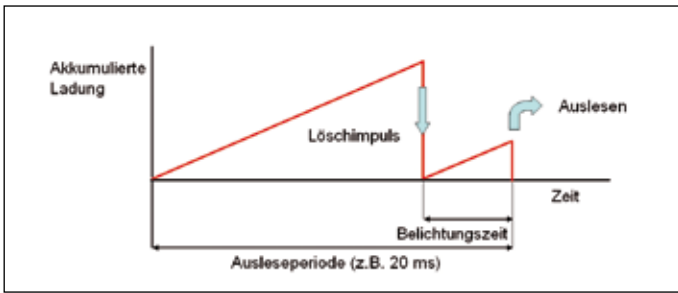


Abb. 3: Prinzip der elektronischen Belichtungszeitsteuerung

Umständen vielleicht noch fangen können, die Bildverarbeitungsroutine muss aber diese Funktionalität zur Verfügung haben. Bei kleinen Gesichtsfeldern und großen Transportgeschwindigkeiten kann es jedoch vorkommen, dass das Objekt das Gesichtsfeld der Kamera bereits verlassen hat, wenn der „electronic shutter“ auf das Bildsignal zugreift. Die Kombination einer frei laufenden Kamera mit einem „electronic shutter“ ist folglich nicht uneingeschränkt geeignet, wenn bewegte Objekte geprüft werden sollen. Ein möglicher Ausweg sind Kameras mit „restart/reset“-Funktion. Diese Kameras haben einen Triggereingang, der die laufende Bildaufnahme unmittelbar beendet, die Speicherzellen entleert und direkt die nächste Bildaufnahme startet. In Kombination mit einer Lichtschranke ergibt sich damit eine feste zeitliche Verzögerung zwischen dem Reset-Signal und dem Zeitpunkt, zu dem der „electronic shutter“ wirksam wird. Wenn die Transportgeschwindigkeit konstant ist, kann die Lichtschranke in einem definierten Abstand von der Aufnahmezone angebracht werden, so dass sich das Objekt während der zeitlichen Verzögerung gerade bis in den Sichtbereich der Kamera bewegt und dort immer an derselben Position aufgenommen werden kann. Alternativ gibt es Kameras mit asynchroner Steuerung der Integrationszeit („asynchronous shuttering“). Bei diesen Kameras wird die akkumulierte Ladung unmittelbar nach dem Trigger-Impuls gelöscht, und es beginnt sofort

eine Bildaufnahme, die sich nur über die gewünschte Integrationszeit erstreckt. Am Ende der Integrationszeit wird das Bild ausgelesen. Solche Kameras sind also nicht an einen festen Aufnahmetakt gebunden. Da die Integrationszeit unmittelbar nach dem Trigger beginnt, muss man nun evtl. eine Verzögerung des Triggersignals herbeiführen, je nachdem, ob die Lichtschranke bei der vorderen oder der rückwärtigen Kante des Objekts auslöst und wo sie platziert werden kann.

Blitzbeleuchtung

Wer einen „electronic shutter“ verwendet, wird in der Regel eine Dauerstrichbeleuchtung einsetzen. Beim oben konstruierten Beispiel mit 100 μ s Belichtungszeit wird gegenüber der Standard-Belichtungszeit von 20 ms nur 0,5% der verfügbaren Lichtenergie für die Bildgebung genutzt, d.h. im Vergleich zum Standard-Bild ist das Bild mit Belichtungszeitsteuerung sehr erheblich dunkler. Die Lichtleistung der Beleuchtung wird folglich wesentlich größer sein müssen als bei einer Bildaufnahme mit der Standard-Integrationszeit. Günstiger ist in dieser Hinsicht eine definierte gepulste Beleuchtung, z.B. mit LEDs. Eine Leuchtdauer

von 100 μ s erfüllt beim oben genannten Beispiel dieselbe Funktion wie der „electronic shutter“ mit 100 μ s Integrationszeit. Wenn die Umgebungshelligkeit hinreichend gering oder abgeschirmt ist, wird die Bewegung durch den LED-Blitz „eingefroren“, denn nur während der Leuchtdauer der gepulsten Lichtquelle trifft genügend Licht für ein Bildsignal auf den Detektor, und die Kamera kann während der gesamten Standard-Integrationszeit lichtempfindlich bleiben. Der LED-Blitz erzeugt dann irgendwann innerhalb der Standard-Integrationszeit das Bildsignal. Die zeitliche Steuerung richtet sich auch bei dieser Methode nach dem Triggersignal von der Lichtschranke, die den asynchronen Einlauf des Prüfteils erfasst. Dieses Signal löst einen „restart/reset“ an der Kamera aus und setzt das Signal für die Blitzbeleuchtung ab, ggf. zeitlich verzögert, damit das Prüfteil sich im Sichtbereich der Kamera befindet, wenn der Blitz die Szene ausleuchtet. Auf diese Weise definiert die Blitzdauer die Bewegungsunschärfe, und der Blitzzeitpunkt in Bezug auf den Lichtschrankenimpuls definiert die Position, an der das Prüfobjekt im Bild erscheint. Um flexibel für verschiedene Anwendungen zu bleiben, ist in jedem Fall zusätzliche Hardware ratsam, die die Triggersignale für den Kamera-Reset und den Blitz erzeugt, eine programmierbare Verzögerung und am besten auch eine Umsetzung des Triggerimpulses von der Lichtschranke auf andere Pegel, Polarität und Flankensteilheit ermöglicht. Gute Frame Grabber bieten diese Funktionen an.

► **Autor**
Prof. Dr. Christoph Heckenkamp
 Hochschule Darmstadt
 Studiengang Optotechnik
 und Bildverarbeitung
 heckenkamp@h-da.de
 www.fbm.h-da.de



...in
 Serie



Kalypso 023-USB
 Robuste 1/3" CMOS Kamera
 für Machine Vision

10 Bit, 748 x 480 Pixel, 55 dB,
 Temperaturbereich -20°C bis +80°C,
 kleines Gehäuse 50 x 29 mm,
 inkl. Software KCC Kalypso

Kappa opto-electronics GmbH
 Germany | info@kappa.de | www.kappa.de

realize visions .