

CMOS in intelligenten Messsystemen

Fortschritte bei optischen Messsystemen mit CMOS-Bildsensoren

Die in den 60er Jahren entwickelten CCDs (Charge Coupled Devices), welche heute hauptsächlich als Bildsensoren dienen, werden in letzter Zeit immer mehr durch Systeme mit CMOS-Elementen verdrängt. Im folgenden Bericht werden die technischen Aspekte beider Typen erklärt und die Bedeutung von CMOS-Bildsensoren in der Messtechnik angesprochen. Weiterhin soll die Bedeutung der Signalqualität auf die Auswertemöglichkeit aufgezeigt werden. JENS LERNER

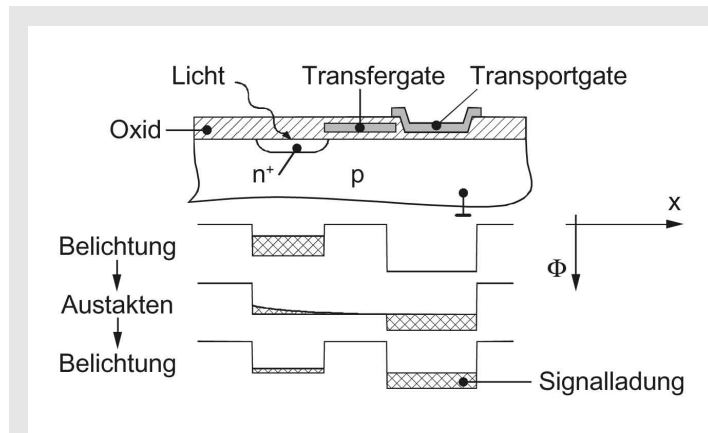


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer CCD-Zelle mit Photodiode und örtlicher Verlauf des Potentials Φ in den verschiedenen Phasen der Bildaufnahme

Seit Jahren dominiert bei der optischen Erfassung von Objekten, sowie der Erkennung ihrer räumlichen Lage und Geometrien der Einsatz von CCD (Charge Coupled Devices). Ursprünglich als Schieberegister, Multiplexer und analoger Speicher eingesetzt, dient er heute vor allem zur berührungslosen Erfassung von Formen und Geometrien. In letzter Zeit finden sich hingegen immer häufiger CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)-Sensoren in Kameras und Messsystemen. Bevor jedoch auf die Vor- und Nachteile beider Systeme eingegangen wird, sollen die Architekturen kurz vorgestellt werden.

Beiden Systemen ist gleich, dass das Licht in einem Halbleiter absorbiert wird. Bei diesem Prozess werden zusätzliche Elektronen-Loch-Paare erzeugt. Der Wirkungsgrad, bei dem Photonen Ladungsträger erzeugen, liegt bei etwa 99 Prozent. Damit die Elektronen-Loch-Paare nicht rekombinieren, müssen diese separiert und zu bestimmten Ladungsspeicherbereichen transportiert werden. Dies geschieht mit Hilfe eines elektrischen Feldes, der den so genannten Photostrom (Drift der

erzeugten Ladungen) verursacht. Dieser ist proportional zur einfallenden Lichtintensität und ist daher ideal für Anwendungen bei optischen Messsystemen und Kameras. Die Chips bestehen aus einer geometrischen Anordnung dieser lichtempfindlichen Zellen. Diese können je nach Anforderung zeilenförmig oder auch zweidimensional ausfallen. Trifft Licht auf diese Zellen, wird in jeder eine Ladung aufgebaut, die proportional zur Intensität ausfällt. Diese Belichtung wird Integration genannt.

CCD

Bei CCD-Chips sind die einzelnen Elemente, auch Pixel genannt, räumlich voneinander durch Stege oder Potenzialwälle getrennt. Diese sind notwendig, damit die erzeugten Ladungen nicht in benachbarte Zellen überlaufen (Abb. 1). Auf die genaue Beschreibung des Aufbaus wird verzichtet, da dies hier eine untergeordnete Rolle spielt. Wichtiger hingegen ist die Art, wie die Ladungen jeder einzelnen Zelle (und somit sein Informationsgehalt) ausgelesen werden. Um diese (sowohl bei CCD mit Photodiode als auch mit Photogate) messen zu können, werden die Zellen taktweise ausgelesen, und zwar nach dem Eimerkettenprinzip, indem sie von Zelle zu Zelle weitergereicht werden, bis sie schließlich einen Mess-/Auswerteverstärker erreichen. Am Beispiel des so genannten 3-Phasen-CCD soll das Prinzip erläutert werden.

Die erzeugten Ladungen sind in den einzelnen Zellen in Potenzialtöpfen gefangen. Durch Herabsetzen und Anheben der Potentiale einzelner Bereiche wandern die Ladungen zur nächsten Zelle, bis sie letztendlich die Auswerteeinheit erreichen. Diese Art des Auslesens bedeutet auch, dass die Pixel der Reihe nach ausgelesen und die Ladungen erst viel später ausgewertet werden.

CMOS

Wie bei CCD-Pixeln werden in einem Halbleiter Ladungsträger bei der Absorption von Licht erzeugt. Während bei CCD der eigentliche Bildwandler eine MOS-Kapazität darstellt, ist bei CMOS-Sensoren dies eine Photodiode. Die von den Photonen in der Raumladungszone erzeugten Ladungen werden durch ein elektrisches Feld getrennt. Eine angelegte Spannung vergrößert die Raumladungszone und erzeugt den Photostrom. Dieser wird dann in einer Kapazität aufintegriert. Im Gegensatz zu CCDs wird die Information jedes Pixels einzeln ausgelesen. Jede einzelne Zelle kann eine breite Palette von analogen und digitalen Schaltungen enthalten, so dass man von einem „intelligenten“ Pixel sprechen kann. Bei Flächensensoren findet man häufig integrierte A/D-Wandler und RISC-Prozessoren, bei Zeilensensoren hingegen integrierte analoge Auswertungen. Ebenso sind auch Zeilensensoren mit integrierter Signalverarbeitung erhältlich. Der

Dipl.-Ing. JENS LERNER
Applikationsingenieur
lerner@euro.de.mew.com
Matsushita Electric Works Deutschland
GmbH
Rudolf-Diesel-Ring 2
D-83607 Holzkirchen
Fon: 08024/648-729, Fax: 08024/648-555

Sensor selbst kann also schon auf seine spätere Aufgabe hin konzipiert werden.

Vergleich CMOS zu CCD

Stellt man die Vor- und Nachteile von beiden Systemen gegenüber, kristallisieren sich die Anwendungsgebiete beider Typen heraus: CCD-Chips sind seit den 70ern realisiert und technologisch nahezu ausgereift. Sie eta-

blierten sich neben den anfänglichen Aufgaben als Schieberegister heute vor allem als Bildaufnahmesensor. Neben einem geringen Rauschen (welches vor allem bei Photographien gewünscht ist) ist eine hohe Auflösung realisierbar. Auf der anderen Seite bietet CCD keine Logikintegration. Zusätzlich müssen die erzeugten Ladungen nahezu perfekt von Zelle zu Zelle transportiert werden (serielles Auslesen). Aufgrund dieses Aufbaus ist auch kein wahlfreier Zugriff auf

einzelne Bereich möglich.. Dies ist sowohl räumlich als auch zeitlich der Fall. Es kann immer nur der gesamte Inhalt ausgelesen und analysiert werden.

Demgegenüber steht der CMOS-Sensor. Hier kann auf beliebige Pixel zugegriffen werden („Region Of Interest“). Und dies auch zeitlich gesehen, da hier das Licht kontinuierlich aufgenommen wird. Auch wirkt sich die geringere Leistungsaufnahme positiv aus. Bei der Signalqualität ist vor allem der

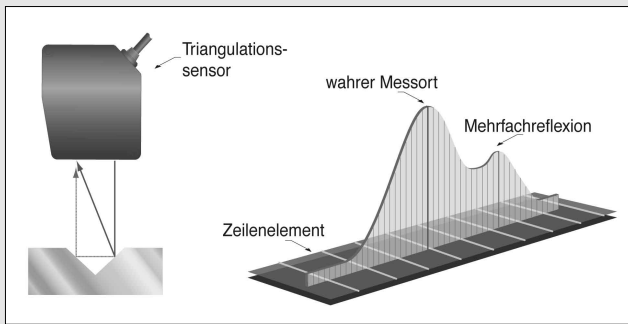


Abb. 2: Intensitätsverteilung auf einer Zeile mit Haupt- und Nebenmaxima (verursacht durch Mehrfachreflexionen)

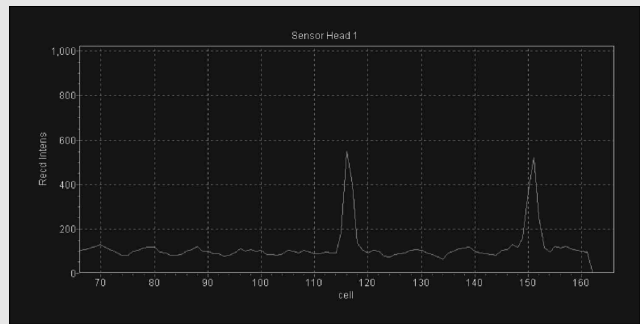


Abb. 3: Intensitätsprofil auf einer CMOS-Zeile bei der Dickenmessung von Glas. Der Abstand der beiden Peaks ist ein Maß für die Glasdicke

geringere ‚Blooming‘-Effekt bei CMOS von Vorteil. Nachteilig bei CMOS ist jedoch, dass aufgrund des erhöhten Rauschens eine Korrektur unbedingt notwendig ist. Auch bringt die Integration der Auswertekomponenten eine erhöhte Komplexität des Chips mit sich. Jedoch ist der Vorteil einer Integration der Auswerteelektronik überwiegend. Neben den technischen Aspekten spielt auch der wirtschaftliche eine Rolle. Während nur etwa 10 Fabriken weltweit CCD-Chips herstellen können, sind mehr als 1.000 Fabriken potenziell in der Lage, CMOS-Chips zu produzieren. Dies wirkt sich positiv auf die Kosten aus. Da CMOS-Sensoren einen höheren Dynamikbereich haben als CCD, eignen sie sich vor allem für messende Systeme. Ähnlich wie das menschliche Auge, existieren logarithmisch empfindliche Typen, die sowohl sehr schwach als auch sehr stark belichtete Zellen auswerten können. In der Praxis bedeutet dies, dass sowohl sehr dunkle als auch sehr helle Objekte gemessen werden können, ohne dass das Signal im Grundrauschen untergeht oder gesättigt ist.

Die Entwicklungen in letzter Zeit zeigt jedoch, dass im Falle der CMOS-Typen noch sehr viel Potenzial steckt. So nähert sich die Bildqualität bezüglich des Rauschens immer mehr den CCD-Chips an. Während CMOS bei Digitalkameras bisher nur in der unteren Qualitätsklasse zu finden war, wird er heute überall eingesetzt.

Bezeichnend für den Bekanntheitsgrad von CCD ist der Umstand, dass obwohl CMOS-Technik für die Bildaufnahme eingesetzt wird, dennoch mit CCD-Technik geworben wird. Denn obwohl sich die CMOS-Technik besser für Messaufgaben eignet und häufig auch eingesetzt wird, ist der Bekanntheitsgrad nicht all zu groß.

CMOS mit angepasster Auswertelogik

Aufgrund der oben genannten Stärken von CMOS gegenüber CCDs liegt sein Einsatz-

gebiet vorrangig bei Messsystemen. Die Schwächen, die das System hat, sind nebensächlich, da hier andere Eigenschaften von Bedeutung sind. Stellvertretend für diese Systeme soll der Triangulationssensor besprochen werden. Hier werden Linearelemente (CCD- bzw. CMOS- Zeilen) zur Bildaufnahme eingesetzt, meist mit integrierter analoger Auswertung.

Beispielsweise ist der ‚Blooming‘-Effekt wesentlich geringer als bei CCD-Elementen. Beim so genannten ‚Blooming‘ wird eine Zelle über ihr Speichervermögen hinaus belichtet, die zusätzlich erzeugten Elektronen gelangen in Nachbarzellen. Bei einem Photowürde das bedeuten, dass die hellen Stellen ausgefranst sind. Die in der Umgebung liegenden Zellen sind überbelichtet und geben einen falschen Wert aus. Aufgrund der Architektur ist dieser Effekt sehr gering. Eine Verfälschung des Messergebnisses kann so minimiert werden. Demgegenüber steht zwar eine relativ ungleichmäßige Empfindlichkeit der Zellen, diese ist jedoch bei Messsystemen nahezu unbedeutend.

Bei einem Triangulationssensor wird der Messfleck wieder auf die Empfangszeile projiziert. Ziel ist es, das Intensitätsmaximum zu bestimmen. Um die Empfindlichkeitsverteilung richtig auswerten zu können, verfälscht ein ‚Blooming‘ das Ergebnis wesentlich stärker als eine inhomogene Empfindlichkeitsverteilung: Fließt vom Maximum Ladung weg, ‚zerfließt‘ die Intensitätsverteilung. Die Schwerpunkt- und Maximumbestimmung ist fehlerbehaftet.

Neben der bereits im Chip integrierten Logik können aufgrund der Intensitätsverteilung auch weitere Messfehler minimiert werden. Ist bekannt, welche Reflexionseigenschaften das zu messende Objekt hat, ist auch seine typische Intensitätsverteilungsform bekannt. Das Signalprofil geht folglich ebenfalls in die Auswertung mit ein, filtert bekannte Messfehler aus und liefert den wirklichen Wert. Eine weitere Möglichkeit bei der Analyse besteht darin, Mehrfachreflexionen zu erken-

nen, und die einzelnen Peaks zu separieren. Unerwünschte Peaks (wie bei Reflexionen auf glänzenden Oberflächen) können ignoriert werden (Abb. 2). Oder aber auch die Abstände zwischen zwei Maxima können ausgewertet werden, um beispielsweise eine Dickenmessung bei Glas durchzuführen (Reflexion an der Vorder- und Rückseite). Abbildung 3 zeigt, wie dieses Intensitätsprofil auf der CMOS-Zeile aussieht.

Bei aktuellen Systemen ist es durch die Nutzung all dieser Vorteile möglich, bisher sehr schwierige Materialien zu vermessen. Inzwischen lassen sich sowohl sehr dunkle (wie schwarzer Gummi) als auch stark reflektierende Oberflächen (wie z.B. Spiegel) auswerten.

Fazit

Die CCD-Sensoren haben zwar nicht an Bedeutung verloren, werden jedoch in der Messtechnik stark von CMOS verdrängt. Neben dem rein wirtschaftlichen Aspekt (ca. 1.000 Fabriken, die geeignet sind, CMOS herzustellen und damit die Herstellungskosten senken), sind es vor allem die technischen Vorzüge, die sie für einen Einsatz prädestinieren. Es bleibt jedoch abzuwarten, welches Potenzial in CMOS noch steckt. Schließlich ist die Technik im Gegensatz zur CCD noch nicht ausgereizt, zeigt aber, dass die Einsatzgebiete wesentlich breiter gefächert sind als bei bisherigen Modellen. Neben den bekannten Applikationen im produzierenden Gewerbe sind auch Messaufgaben in der Glasindustrie, der Metallverarbeitung und Gummiindustrie lösbar.

Dieser Beitrag als PDF und weiterführende Informationen (ähnliche Beiträge, technische Daten, Direktlinks zum Hersteller etc.) sind online verfügbar auf www.aud24.net.