

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Den Anstoß für diese Arbeit gab das in den letzten Jahren stark zugenommene Interesse am Einsatz der CMOS-Technologie für die Realisierung von Bildsensordsystemen. Dieses ist bedingt durch eine schnell wachsende Nachfrage an preiswerten, kompakten Kamerasystemen mit geringer Leistungsaufnahme.

Potentielle Anwendungen für CMOS-Bildsensoren finden sich einerseits in Systemen, bei denen die spätere Wiedergabe eines aufgenommenen Bildes im Vordergrund steht. Hierzu zählen Camcorder sowie Kameras für digitale Photographie, Multimedia, Überwachung und Videokonferenzsysteme. Auch eindimensionale Sensorzeilen zur Verwendung in Scannern fallen in diese Kategorie. Andererseits bieten sich in der industriellen Bildverarbeitung und Meßtechnik Einsatzmöglichkeiten in Systemen, bei denen die Merkmalsextraktion für Mustererkennungszwecke oder die nichttaktile Gewinnung einer Meßgröße im Vordergrund stehen. Typische Beispiele hierfür sind Lagesensoren für Positioniersysteme, Sensoren zur ein- oder zweidimensionalen Geschwindigkeitsmessung, Lichtschnittsensoren oder Triangulationssensoren zur Entfernungsmessung. In der Automobilbranche besteht ein vitales Interesse an der Entwicklung von Systemen zur Verbesserung der Sicherheit, wobei die Anwendung optischer Sensorik und insbesondere der CMOS-Bildsensorik preiswerte Systemlösungen ermöglicht. Mögliche Anwendungen für CMOS-Bildsensoren zur Verbesserung der Sicherheit im Automobil sind Abstandsmessung, Fahrspurerkennung, Time-To-Crash-Sensoren und die Fahrzeuginnenraumüberwachung z.B. für eine gezielte Airbagauslösung oder zur Diebstahlsicherung.

Die CMOS-Technologie bietet gegenüber der bisher eingesetzten CCD-Technologie insbesondere den Vorteil, daß sich optische Sensorik mit analogen und digitalen Schal-

tungen gemeinsam integrieren läßt. Diese Möglichkeit erlaubt die Realisierung kostengünstiger und kompakter Ein-Chip-Kamerasysteme mit geringer Leistungsaufnahme, die neben der optischen Sensorik auch alle anderen zur Erzeugung eines gewünschten Video-Ausgangssignals erforderlichen Komponenten, wie zum Beispiel Taktgenerierung, digitale Ausleselogik, analoge Sensorsignalaufbereitung und -verarbeitung sowie Videosignalerzeugung nach CCIR-Norm oder Analog-Digital-Konverter (ADC) für den direkten Anschluß an eine digitale Signalverarbeitungseinheit, enthalten. Derartige Systeme lassen sich unter dem Oberbegriff „smart image sensors“ zusammenfassen.

Gegenüber CCD-Bildsensoren bieten CMOS-Bildsensoren auch ein hohes Maß an Flexibilität in bezug auf die Organisation der Sensorauslese. Während CCD-Bildsensoren prinzipiell nur die serielle Auslese ganzer Sensorzeilen erlauben, kann die Auslese zweidimensionaler CMOS-Sensorarrays wie bei einem Speicherbaustein wahlfrei erfolgen. Der für CCD-Kameras erforderliche Bildspeicher kann daher bei vielen Bildverarbeitungsanwendungen entfallen, da gezielt auf die jeweils benötigten Sensorsignale zugegriffen werden kann. Der wahlfreie Pixelzugriff ermöglicht zudem die ausschließliche Auslese interessierender Bildregionen, womit sich zum Beispiel Tracking-Algorithmen zur Verfolgung bewegter Objekte besonders effektiv implementieren lassen oder interessierende Bildregionen mit hoher Bildrate ausgelesen werden können.

Aufgrund der Möglichkeit des gleichzeitigen Zugriffs auf alle Zeilen beziehungsweise Spalten läßt sich zweidimensionale Signalverarbeitung besonders effektiv zeilen- beziehungsweise spaltenparallel implementieren. In bestimmten Fällen – wenn der zu realisierende Signalverarbeitungsalgorithmus durch einfache lokale Nachbarschaftsoperationen auf die Sensor-Ausgangswerte beschrieben werden kann – besteht zudem die Möglichkeit einer massiv-parallelen Realisierung der Signalverarbeitung im Inneren des zweidimensionalen Pixelarrays.

Einzelne Photosensoren lassen sich bei hoher Lichtempfindlichkeit wahlweise mit linearer oder logarithmischer Übertragungscharakteristik realisieren. Die logarithmische Sensorcharakteristik ermöglicht einen Eingangsdynamikbereich von bis zu sieben Dekaden an einfallender Lichtintensität und bietet insbesondere für den Einsatz in Bildverarbeitungssystemen den Vorteil, daß die für die Erkennung von Form, Struktur und Lage von Objekten relevante Kontrastinformation besonders einfach zu extrahieren ist.

Die hohe Flexibilität beim Schaltungsentwurf auf Grundlage der CMOS-Technologie erlaubt die Realisierung von Bildakquisitionssystemen mit optimal auf die jeweilige Anwendung angepaßten Eigenschaften. Kostenvorteile gegenüber der CCD-Technologie ergeben sich aus der Möglichkeit der On-Chip Systemintegration, dem daraus resultierenden geringeren Platzbedarf des Gesamtsystems und aus der Annahme, daß sich die Kosten einer Technologieentwicklung durch die hohen Umsätze mit CMOS-Logik und Speicherchips

amortisieren. CMOS-Bildsensoren profitieren direkt von der sehr schnell fortschreitenden Entwicklung der CMOS-Technologie, so daß die realisierbaren minimalen Strukturgrößen schon bald CMOS-Bildsensoren mit an die Beugungsgrenze optischer Systeme reichender Auflösung ermöglichen werden.

1.2 Wissenschaftliche Zielsetzung und Gliederung der Arbeit

Die wissenschaftliche Zielsetzung dieser Arbeit besteht in der Analyse, der Optimierung und der Entwicklung von integrierten CMOS-Bildsensoren und Schaltungen für die zweidimensionale Bildakquisition. Die entwickelten integrierten Bildsensoren sollen gegenüber herkömmlichen, auf der CCD-Technologie basierenden Systemen kostengünstigere und leistungsfähigere Systemlösungen ermöglichen.

Als Basis für kommende Sensor- und Schaltungsentwicklungen werden im Rahmen dieser Arbeit die für die Entwicklung zweidimensionaler CMOS-Bildsensoren erforderlichen Grundlagen zusammengefaßt (Kapitel 2 und 3) und die wichtigsten in der Fachliteratur vorgestellten Schaltungskonzepte für Sensorpixel und deren Auslese auf ihre Eigenschaften bezüglich Rauschen, Dynamikbereich, Zugriffsgeschwindigkeit und „Fixed Pattern Noise“ hin analytisch untersucht (Kapitel 4). Dabei wird insbesondere geklärt, durch welche schaltungstechnischen Maßnahmen eine Optimierung dieser Eigenschaften erreicht werden kann.

Anhand zweier integrierter Schaltungen, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt und gefertigt wurden, werden die Vorteile verdeutlicht, die sich bei der Entwicklung von 2D-Bildsensoren durch die Realisierung in CMOS ergeben (Kapitel 5). Als Beispiel für einen CMOS-Bildsensor mit sehr großem Eingangs-Dynamikbereich wird ein Kamera-Testchip mit 32×32 auf einem hexagonalen Abtastgitter angeordneten Photosensoren und logarithmischer Übertragungscharakteristik vorgestellt. Er weist einen Eingangs-Dynamikbereich von 7 Dekaden sowie ein gegenüber den in der Fachliteratur vorgestellten Systemen wesentlich verbessertes dynamisches Verhalten auf. Als Beispiel für einen CMOS-Bildsensor mit integrierter Signalverarbeitung dient ein Kamerachip mit 128×128 Photosensoren und lokaler Helligkeitsadaptation, bei dem der Signalstrom einer Photodiode auf dessen gewichteten räumlichen Mittelwert in der Umgebung des jeweiligen Pixels bezogen wird, um den Einfluß der Beleuchtung der aufgenommenen Szene auf das Ausgangssignal des Bildsensors weitgehend zu eliminieren. Die räumliche Mittelung des Eingangsbildes erfolgt massiv-parallel durch eine laterale Vernetzung der Pixel im Inneren des Sensorarrays.

Einen Schwerpunkt bildete bei der Entwicklung dieser Schaltung die in dieser Arbeit erstmalig vorgestellte Analyse der so entstehenden zweidimensionalen Mittelungsnetzwerke.