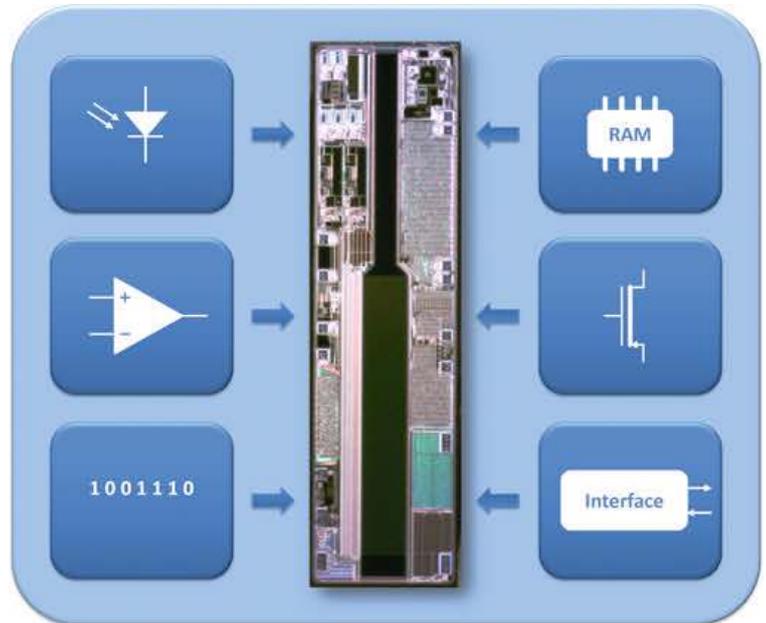


Optische Sensorsystemintegration

GENAUERE UND SCHNELLERE OPTISCHE POSITIONSERFASSUNG FÜR WINKEL UND ENTFERNUNG

Moderne Submikrometer-CMOS-Technologien in Kombination mit Design-Knowhow und neuen, für optische Anwendungen geeigneten Gehäusen sind die Basis für eine erfolgreiche Integration von optischen Sensoren für Anwendungen in der Industrie und Medizintechnik.



MARKO HEPP
MAGNUS MEIER

Ziel ist es, ein optisches Sensorsystem auf einem Chip (SOC) zu integrieren und ein optimiertes *on-chip* Optosystem zu erreichen. Der höhere Integrationsgrad ergibt dabei erhebliche Vorteile bezüglich Geschwindigkeit, Platzbedarf und Systemkosten. Aktuelle Beispiele, die die heutigen Möglichkeiten und den Integrationstrend aufzeigen, sind ein absoluter Encoder und ein LED/Laser-Triangulationssensor.

Optische Sensoren übernehmen vielfältige Aufgaben zur Erfassung von physikalischen Größen, wie zum Beispiel Dicke, Länge, Winkel, Abstand oder auch Entfernung. Für die präzise Erfassung von linearen oder rotierenden Bewegungen sind beispielsweise optische Encoder seit Jahrzehnten erfolgreich im Einsatz. Zur Bewertung von Abständen mit Distanzsensoren oder auch zur Absicherung von Gefahrenbereichen mit Sicherheitslichtgittern reicht oft eine einfache digitale »Ja/Nein«-Aussage. In beiden Fällen geht es um eine schnelle und sichere Erfassung von Position beziehungsweise Abstand,

um schnelle Regelungen oder Entscheidungen auf der Steuerungsebene zu treffen. Der Sensoraufbau nutzt meist eine geregelte LED/Laser-Lichtquelle [1]. Als optischer Wandler für die Erzeugung elektrisch auswertbarer Signale dienen unter anderem einfache Photodioden, PSD (*position sensitive detector*) oder auch

KONTAKT

iC-Haus GmbH
55294 Bodenheim, Deutschland
Tel. +49 61 35 92 92-300
www.ichaus.de
Laser 2013: Stand B1.308
Sensor + Test 2013: Stand 12.410

ganze Photozeilen beziehungsweise Photoarrays/CCDs. Die applikationsspezifischen Verstärker- und Auswerteschaltungen werden bereits seit Jahren in Standard-CMOS-Technologie integriert. Neuere Submikrometer-CMOS-Technologien bieten nun jedoch die Möglichkeit,

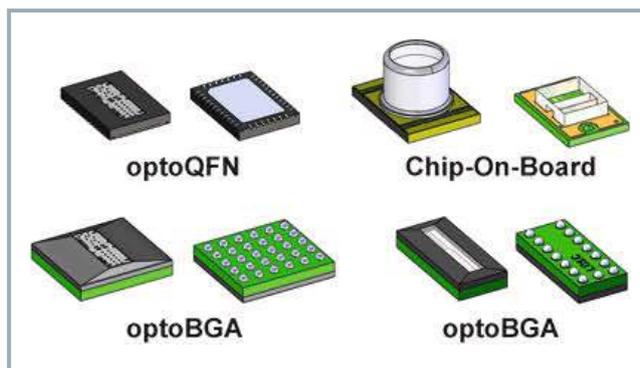
optische Empfänger-elemente in nahezu beliebiger Anzahl zusammen mit der applikationsspezifischen Auswerteelektronik und der Schnittstelle zur Ansteuerung der Lichtquelle sowie einer externen Steuerung auf einem Halbleiterchip zu integrieren. Es gilt bei dieser optischen Systemintegration, den »sweet spot« aus Leistungsmerkmalen, Kosten, Flexibilität und Zuverlässigkeit für die gewünschte Applikation zu finden.

Neue Gehäuse für die optische Systemintegration

Seit Langem sind keramische Gehäuse mit Glasfenster für optische Sensoren verfügbar, die aber oft zu teuer in der Herstellung und bei der Neuentwicklung von Varianten sind. Für die automatisierte Oberflächenmontage mit kleineren Abmessungen wurden sogenannte *Chip-On-Board*- (COB-) Varianten mit Klarsicht-Plastikverkapselung oder aufgelötetem Metallgehäuse entwickelt (Bild 1, rechts oben). Für die optische Systemintegra-

tion sind SMD-Gehäuse notwendig, die über eine unterschiedliche Anzahl von Anschlusspins verfügen und auch größere Siliziumchips aufnehmen können. Dies ist erforderlich, da die Chipgröße meist durch die Anzahl und Größe der zu integrierenden Photoelemente bestimmt wird.

Um die Kosten für Neuentwicklungen und Herstellung weiter zu senken, wurde ein »optoBGA« entwickelt (Bild 1, links unten). Es handelt sich dabei um ein »ball grid array« mit unterschiedlicher Anzahl von Lötanschlüssen (balls) aus einer Sn/Cu/Ag-Legierung. Der optische Chip wird mittels Standard *die-attach* und *wire-bond* Techniken auf ein Substrat (PCB oder Keramik) aufgesetzt und mit diesem verbunden. Das optische Fenster für die lichtempfindlichen Sensorflächen wird durch das Aufbringen spezieller Dünngläser erreicht. Im unteren Teil von Bild 1 ist links ein optoBGA mit 30 Anschlüssen gezeigt. Die Abmessungen betragen dabei 7,6x7,1x1,6 mm³. Das optoBGA mit 15 Anschlüssen ist rechts zu sehen und hat die Abmessungen 9,4 mm² sowie eine



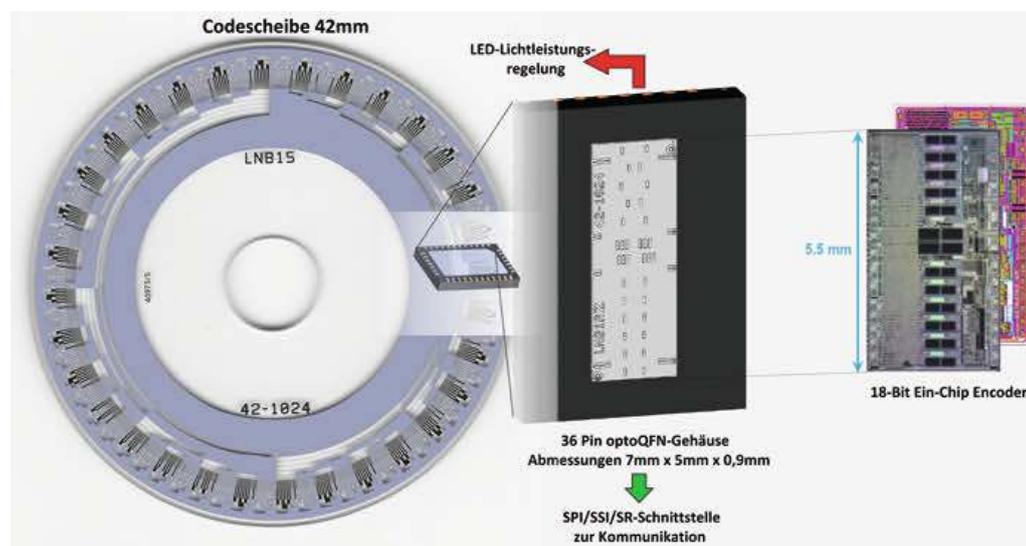
1 Gehäusebeispiele für die optische Systemintegration

Optischer absoluter Encoder auf einem Chip

Die elektrischen Leistungsmerkmale eines optischen Encoders werden im Wesentlichen bestimmt durch die Codescheibe (Auflösung), die LED-Lichtquelle mit Regelung (Stabilität), das Photodiodenarray (Empfindlichkeit), eine programmierbare Signalverstärkung (Genauigkeit) mit Temperaturkompensation, die Sin/Cos-Interpolation (Auflösung/Genauigkeit) und die Schnittstellen zur Steuerung (zum Beispiel SPI/SSI/BISS).

Encoders (iC-LNB) mit 18-bit-Auflösung. Der Chip hat 26 Photodioden zur Abtastung der Codescheibe auf einer Breite von circa 5 mm integriert. Bild 2 zeigt auch die geometrische Anordnung und man erkennt, dass die Chipgröße im Wesentlichen von der Anzahl und Lage der Photodioden bestimmt wird. Als Gehäuse kann sowohl das 38-polige optoQFN wie auch das etwas breitere optoBGA mit 30 Anschlüssen zum Einsatz kommen.

Zwischen der durch die Codescheibe vorgegebenen Geometrie der Photodioden-Anordnung belässt die verwendete Submikrometer-CMOS-Technologie ausreichend Chipfläche, um eine hohe Funktionalität zu integrieren. So wurde zum Beispiel für die Sinus-Digitalwandlung im Interpolator eine flexible Einstellung des Interpolationsfaktors vorgesehen. Dieser FlexCount ist über die SPI-Schnittstelle zwischen 1 und 65 536 Impulsen pro Umdrehung einstellbar. Der absolute 16 bit Positionswert wird zusätzlich parallel als Gray-Code ausgegeben. Die Latenzzeit des Ein-Chip-Encoders beträgt nur 500 ns, da die gesamte



2 Optische Codescheibe und ein absoluter Ein-Chip-Encoder mit 18-bit-Auflösung in einem Gehäuse

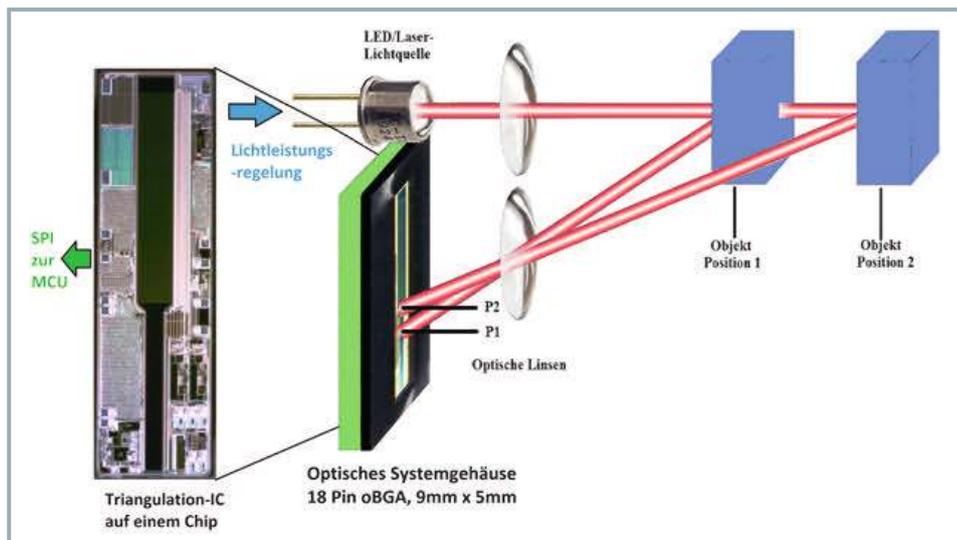
Dicke von 2,29 mm (einschließlich der Lötballen). Bild 1 zeigt links oben auch die neueste Weiterentwicklung des QFN-Gehäuses zu einem optoQFN mit 38 Anschlüssen und Abmessungen von 7x5 mm². Es besitzt ein Glasfenster oder eine Chromblende, und die Gehäusedicke beträgt nur 0,9 mm. Diese neuen Gehäuse sind Voraussetzung für eine optimale optische Systemintegration auf einem einzigen Siliziumchip.

Die Integration aller Funktionsblöcke, außer der LED und der Codescheibe, auf einem einzigen Chip reduziert nicht nur den Flächenbedarf, sondern erhöht auch die Genauigkeit und Geschwindigkeit der Positionserfassung im Vergleich zum Aufbau mit einzelnen Komponenten.

Bild 2 zeigt das Beispiel einer Codescheibe mit 42 mm Durchmesser und einer Strichcodeeinteilung von 1024 sowie eines optischen, absoluten Ein-Chip-

Signalverarbeitung parallel auf dem Chip erfolgt und dadurch kurze Signallaufzeiten erzielt werden. In der Anwendung heißt dies, dass die Positionserfassung auch bei hohen Drehzahlen (hier bis 12 000 U/min bei 16-bit-Auflösung und 3000 U/min bei 18 bit) sicher und schnell erfolgt [2].

Die absolute 18-bit-*single-turn*-Auflösung kann über die SPI-Schnittstellen mit einer 10-MHz-Taktrate ausgelesen ▶



3 Optischer Triangulationsensor im optoBGA-Gehäuse

werden. Über die ebenfalls integrierte LED-Stromquelle wird eine konstante Lichtleistung für die Photodioden geregelt, was für eine optimale Signalqualität des Sinus-/Cosinus-Signals sorgt. Dadurch werden auftretende Versorgungsspannungs- oder Temperaturschwankungen sowie eine Alterung der LED-Lichtquelle kompensiert. Die optimale Wellenlänge der LED-Lichtquelle für die integrierten Photodioden liegt bei 680 nm.

Der interne Speicher wird durch ein Paritätsbit ständig überwacht. Im Vergleich zu integrierten absoluten magnetischen Ein-Chip-Encodern [3] wirkt sich, bei vergleichbarer Auflösung, die höhere absolute Genauigkeit der Codescheibe (100 nm bis 1 μ m) direkt positiv auf die Systemgenauigkeit aus.

Triangulationsensor auf einem Chip

Die Messung eines Abstandes mittels Triangulation ist ein einfaches geometrisches Prinzip. Der fokussierte Strahl einer LED oder einer Laserdiode wird auf das zu messende Objekt gerichtet. Das reflektierte Licht wird über eine Optik gebündelt und mit einem optischen Sensor gemessen. Es kann sich dabei im einfachsten Fall um einen PSD handeln. Alternativ lässt sich auch eine Photozeile (zum Beispiel 32 bis 1024 Photoelemente) oder aber eine spezielle applikationsspezifische Photodioden-Anordnung verwenden. Bild 3 zeigt das Prinzip der Triangulation mit einer LED-Lichtquelle und einem für diese spezielle

Aufgabe entwickelten integrierten Ein-Chip-Triangulationsensor.

Abhängig von der Objektposition \gg oder \ll trifft der reflektierte Lichtstrahl auf P1 beziehungsweise P2 des Sensors und wird dort ausgewertet. Bei diesem optischen Sensor handelt es sich um eine Anordnung von 129 Photodioden, wie links im Bild 3 auf dem Chip (iC-LO) zu sehen ist. Für eine schnelle Objekterkennung wurde der Sensor in drei unterschiedliche Felder eingeteilt: eine Nahfeld-Photodiode mit einer Fläche von 0,927 mm², eine Fernfeld-Photodiode mit 0,15 mm² und eine Photodioden-Zeile mit 127 Photodioden für den eigentlichen Messbereich mit einer aktiven Fläche von 2,23 mm². Diese 127 Photodioden können dem Nahfeld oder dem Fernfeld zugeordnet werden. Wie im Foto in Bild 3 zu sehen ist, bestimmt diese Anordnung der Photodioden die Chipgröße und erfordert auch ein spezielles optisches Gehäuse. Es wird ein optoBGA mit 18 Anschlüssen und 0,45 cm² Flächenbedarf verwendet. Die Gehäusehöhe beträgt dabei nur 1,8 mm.

Die Photoströme für das Nah- und Fernfeld werden getrennt mit je einem automatisch geregelten AC-Verstärker aufbereitet. Danach wird eine Summen- und Differenzbildung durchgeführt, die dann wiederum von programmierbaren Komparatoren ausgewertet wird. Die Verstärkerkennlinie passt sich dynamisch an die empfangene Lichtmenge an. Bei einer zu geringen Lichtmenge wird eine Warnung ausgegeben. Die logarithmische Kennlinie des Verstärkers ergibt einen hohen Dynamikbereich von 100 dB, der auch mit starken

Objektspiegelungen zurechtkommt. Mithilfe eines zusätzlichen Filterglases wird eine sehr hohe Tageslichtunterdrückung von 100 000 Lux erreicht.

Zur einfachen Parametrisierung mittels eines externen Mikrocontrollers dient die integrierte SPI-Schnittstelle. Als Lichtquelle kann eine Laserdiode mit Treiberschaltung [1] für große Entfernungen verwendet werden. Da aber bereits heute sehr lichtstarke LEDs (HBLEDs) zur Verfügung stehen, wurde auch die Ansteuerung mit einem in puncto Dauer und Strom programmierbaren Pulsstrom bis 1150 mA integriert.

Fazit

Auch hier bietet die Integration der Photodioden mit kompletter Auswertelogik deutliche Platz- und Geschwindigkeitsvorteile. So lassen sich der komplette Triangulationsensor, eine +5V-Spannungsversorgung und IO-Link-Schnittstelle [4] auf nur circa 3 cm² realisieren. Die Positionserfassung kann alle 72 μ s erfolgen. Wie an den zwei Beispielen gezeigt wurde, erreicht die optische Sensorsystemintegration mit speziellen Opto-Gehäusen bisher nicht erreichbare Leistungsmerkmale und bietet zahlreiche Vorteile gegenüber den bisherigen diskret aufgebauten Lösungen.

LITERATUR

- 1 »Entwurf und Test schneller Laserdiodentreiber-Schaltungen«, White Paper iC-Haus
- 2 »Positionsänderungen schnell und einfach erfassen«, White Paper iC-Haus
- 3 »Optisch vs. Magnetisch«, Elektronik 5/2012
- 4 »PNP/NPN/PP oder IO-Link?«, Elektronik Information 03/2011

AUTOREN

Dipl.-Ing. (FH) MARKO HEPP begann 1997 bei iC-Haus und ist heute zuständig für die Betreuung von Industrie-Applikationen wie Laserdiodentreibern, optischen Sensoren und BiSS-Interface-Support.

Dipl.-Ing. MAGNUS MEIER ist seit 2007 bei iC-Haus für die Betreuung von Encoder- und Power-Management-Applikationen zuständig.

■ www.laser-photonik.de
Online LP110185