

Neue Form der Laufzeit-Messung

3D-Time-of-Flight-Technologie mit indirektem Pulslaufzeit-Verfahren



In unserer dreidimensionalen Welt müssen Sensor-Systeme zukünftig in der Lage sein, alle drei Dimensionen zu erfassen – und zwar in Echtzeit. Das ermöglichen jetzt neuartige 3D-Bildsensoren auf Basis der Time-of-Flight-Technologie. Ein patentiertes Pulslaufzeit-Verfahren vermeidet zudem Mehrdeutigkeiten und unterdrückt störendes Hintergrundlicht.

2D-Monochrom-Kameras liefern für jeden Pixel eine Helligkeitsinformation. 3D-Kameras gehen einen Schritt weiter und liefern zudem Tiefeninformationen für jeden Pixel oder für bestimmte Punkte im Raum. Die Qualität der Tiefeninformation hängt dabei vom gewählten 3D-Messverfahren ab. Welches Messverfahren angewendet wird, bestimmt die Kundenapplikation. Das Spektrum der 3D-Messverfahren ist groß: Es reicht von Triangulationsverfahren wie Stereokameras oder Streifenprojektionen über Radar und Ultraschall bis hin zu optischen Time-of-Flight Verfahren.

Triangulations-Verfahren

Klassische Triangulationsverfahren für den Nahbereich liefern sehr genaue Messungen im Millimeterbereich. Sie arbeiten sehr gut bei bekannten Lichtverhältnissen. Bei wechselnden Umgebungslichtbedingungen können jedoch Ungenauigkeiten in der Messung auftreten. Meist werden geometrische Beleuchtungen wie Laserlinien in Kombination mit 2D-CMOS-Kameras und aufwendigen Algorithmen zur Informations-Extraktion aus den aufgenommenen 2D-Bilddaten eingesetzt. Abschattungsprobleme und Erkennungsfehler liefern eine variierende Anzahl von 3D-Punkten pro Aufnahme.

Radar und Ultraschall

Radar und Ultraschall sind durch große ausgesendete Keulen örtlich relativ ungenau, dafür ist die Technologie über Jahre ausgereift und für viele Low-Cost-Anwendungen geeignet. Messungen der sensorseitig abgestrahlten elektromagnetischen Wellen oder Schallwellen werden von Reflektionen aus vorherigen Messungen beeinflusst und können material- und temperaturabhängig sein. Ein großer Vorteil bei Radar ist die weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber

Schmutz. Produkte, in denen ein Mehrwert zur Abgrenzung zu Wettbewerbern entwickelt werden soll, stoßen immer öfter an physikalische Grenzen der Verfahren. Die Tiefenaufösung kann bei idealen Bedingungen unter 1 cm liegen.

TriDiCam: Unternehmen für Abstandssensoren

TriDiCam, eine Ausgründung aus dem Fraunhofer Institut für Mikroelektronische Systeme in Duisburg, wurde mit dem Ziel aufgebaut, den immer weiter wachsenden Bedarf an Abstandssensoren zu bedienen. Märkte sind beispielsweise Einparkhilfen, intelligente Türsysteme, Überwachung von Sicherheitsbereichen, Automobilklassifizierung im Straßenverkehr, Personenzählung, Tracking, Gestik-Erkennung oder intelligente Benutzerschnittstellen. Der 64 x 2 Pixel-Sensor mit Application-Kit ist bereits erhältlich, den 128 x 96 Pixel-Sensor wird TriDiCam voraussichtlich im November dieses Jahres auf den Markt bringen. Eine 320 x 200 Pixel-Variante ist für Ende 2012 geplant. Höhere Integrationsdichten auf dem Chip bzw. Sonderanfertigungen auf Chip-Ebene sind ebenfalls möglich.

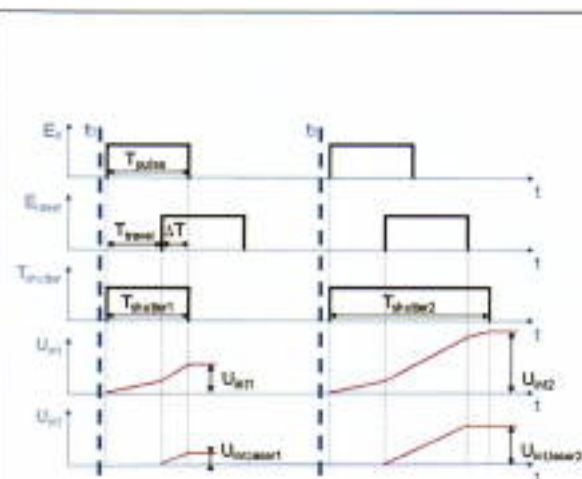


Abb. 1: Messverfahren der TriDiCam-Time-of-Flight Technologie

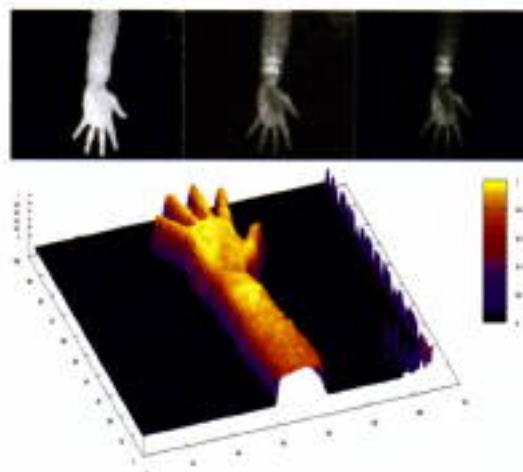


Abb. 2: Oben, von links nach rechts: Quotient, TriDiCam 128 x 96 Pixel-Sensor mit langem und kurzen Shutter; unten die 3D-Darstellung des Quotienten einer Hand

Time-of-Flight-Verfahren

Optische Time-of-Flight (ToF)-Technologien stellen einen in der nahen Zukunft sehr wichtigen Zweig von 3D-Messverfahren dar. Die Verfahren sind günstig, einfach zu integrieren, innovativ und in sehr vielen Anwendungen einsetzbar. Drei Time-of-Flight-Verfahren finden in vielen Sensoren und Kundenanwendungen Verwendung:

- Continuous-Wave (CW)-Verfahren,
- direktes Pulsverfahren,
- indirektes Pulsverfahren von TriDiCam.

In der Praxis kann die Tiefenauflösung dabei anwendungsabhängig unter 1 cm liegen.

Das CW-Verfahren beruht auf der Bestimmung der Phasenverschiebung von ausgesendeter und empfangener Welle, das direkte Pulsverfahren beruht auf der Zeitmessung zwischen ausgesendetem und empfangenem Puls. Beide Verfahren können aufgrund der Messmethoden Störungen wie Lichtreflexionen aus vorherigen Messdurchläufen, Licht von unterschiedlichen reflektierenden Materialien oder starkes Gegenlicht nur unter bestimmten Annahmen kompensieren und werden meist in teuren CMOS-CCD-Hybridprozessen hergestellt. In den meisten Fällen kann zudem nicht bestimmt werden, ob die Messungen verlässlich der Realität entsprechen oder ob sie Fehlmessungen darstellen, z.B. weil sich mehrere Sensoren gleicher Bauart untereinander stören. Kundenfeedback hat gezeigt, dass gehäuft Probleme auftreten, wenn bisherige 3D-ToF-Sensoren unter Außenbedingungen eingesetzt

werden. Besonders der Hintergrundlichteinfluss wurde hier genannt. Sensoren des Unternehmens TriDiCam beheben diese Lücke.

Indirektes Pulsverfahren

Die Besonderheit der TriDiCam-Sensoren ist das patentierte, einzigartige Verfahren der Time-of-Flight-Messung, einem eindeutigen, indirekten Pulslaufzeit-Verfahren und die Produktion in einem reinen CMOS-Prozess. Die hohe Auslesegeschwindigkeit des TriDiCam-Zeilensensors macht erst viele Applikationen möglich.

Abbildung 1 zeigt die Prinzip-Skizze einer TriDiCam-Time-of-Flight-Messung. Ein einzelner Lichtpuls wird auf das zu messende Objekt geschossen. Nach einer Zeit T_{travel} kehrt der Puls zum Sensor zurück und wird dort mit zwei Integrationsfenstern gleichzeitig gemessen: einem kurzen und einem langen Fenster T_{shutter1} und T_{shutter2} . Einzige Bedingung für die Entfernungsberechnung ist die Lage des reflektierten Pulses innerhalb der Messfenster. Im kurzen Shutter-Fenster darf nur ein Teil des Pulses liegen, im langen Shutter-Fenster muss der gesamte Puls liegen. In einer anschließenden Messung (nicht in Abb. 1 dargestellt) wird das Hintergrundlicht aufgenommen und von den Spannungen der Integrationsfenster abgezogen, so dass nur noch die Informationen des reflektierten Pulses vorhanden sind. Das Hintergrundlicht kann aufgrund des Timings im Nanosekundenbereich als statisch angesehen werden. Der Quotient $U_{\text{Short}}/U_{\text{Long}}$ stellt einen Entfernungsfaktor dar.

Störende Einflüsse eliminieren

Wie alle ToF-Verfahren werden die theoretischen Modelle durch reale Bedingungen und Sensor-Chip-Eigenschaften gestört. Die störenden Einflüsse auf das Sensorsignal müssen kalibriert werden, um eine höhere Messgenauigkeit zu erreichen. Beim TriDiCam-Verfahren ist dies möglich, da zwei hintergrundlichtfreie Shutter unabhängig kalibriert werden können, und nicht, wie häufig bei anderen Technologien, ein einziges Ausgangssignal mit allen Signal-Störfaktoren zusammen.

Das TriDiCam-Verfahren hat im Gegensatz zu anderen Technologien abhängig von der Applikation eine hohe Framerate, wenig Bewegungsunschärfe und ein hohes Puls-Signal-Verhältnis zu Hintergrundlicht-Einflüssen, da die Puls- und Integrationszeiten im Nanosekundenbereich liegen. Weiter werden Quantifizierungsfehler drastisch reduziert, indem das Hintergrundlicht analog auf dem Chip von den Rohdaten abgezogen wird. Abbildung 2 zeigt die Messung einer menschlichen Hand mit dem 128 x 96 Pixel-Sensor.

► **Autor**
Dipl.-Ing. Stefan Schwöpe,
Entwicklungsleiter



► **Kontakt**
TriDiCam GmbH, Duisburg
Tel.: 0203/2986050-20
Fax: 0203/2986050-60
stefan.schwöpe@tridicam.de
www.tridicam.de