

Time-of-Flight zur Entfernungsmessung und Objekterkennung

Eine bekannte Messmethode gewinnt durch innovative Sensortechnologien an Bedeutung und findet in vielen Bereichen Anwendungsmöglichkeiten.

Matthias Flack
Neumüller Elektronik GmbH

Time-of-Flight (ToF) ist eine Technologie, die in den 80er Jahren ihren Ursprung fand. Sie basiert auf der Laufzeitmessung des Lichtes. Licht wird von einem Sender emittiert und von einem oder mehreren Objekten reflektiert. Die reflektierten Lichtstrahlen werden von einem Empfänger detektiert und anschließend die Entfernung ermittelt.

Einzel- oder Mehrfachpulsbetrieb

Man unterscheidet prinzipiell zwei Arten der Laufzeitmessung: Einzel- und Mehrfachpulsbetrieb.

Beim Einzelpulsbetrieb wird die Zeit zwischen dem ausgesendeten und dem empfangenen Einzellichtimpuls ermittelt. Auf Grund der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (ca. 300 000 km/s) ist die vergangene Zeit proportional der Entfernung.

Anders verhält es sich im Mehrfachpulsbetrieb: Hier wird die Phasenverschiebung zwischen ausgesendeten und empfangenen modulierten Lichtpulsen ermittelt. Auch diese entspricht einer

Zeit und ist somit ebenfalls proportional der Entfernung.

Folgende Betrachtungen sind auf den Mehrfachpulsbetrieb beschränkt.

ToF-Pixelgrößen

Der Aufbau eines ToF-Pixels im Silizium ist deutlich komplexer als der Aufbau eines Pixels eines Kamerachips. Bei der speziellen Chip-Technologie der ESPROS Photonics AG wurden ToF-Pixelgrößen von $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ realisiert. Daraus resultieren Chip-Auflösungen von bis zu 320×240 Pixeln (QVGA). Mit dieser Auflösung lassen sich nicht nur Entfernungen messen, sondern auch Objekte oder Gesten erkennen. Hiermit sind komplexe Messaufgaben umsetzbar,

wie z. B. Gerätesteuerung über Gesten, Überwachung und intelligente Steuerung von Aufzügen und Rolltreppen, Kontrollen von Sicherheitsbereichen um Roboter und kostengünstige Realisierung fahrerloser Transportsysteme.

Die ToF-Chips der ESPROS Photonics AG sind als CSP/BGA (Chip Scale Package/Ball Grid Array) ausgeführt und weisen eine Dicke von nur ca. $50 \mu\text{m}$ auf. Damit lassen sich weitaus kleinere und kompaktere Sensorsysteme entwickeln, als dies in den Anfängen der ToF-Technologie möglich war.

Prinzip der Entfernungsmessung

Bei einem ToF-System müssen Optik, Hard- und Software-Design in geeigneter Weise zusammenspielen. Zunächst muss die maximale Entfernung zum Messobjekt definiert sein. Beim Mehrfachpulsbetrieb steht eine komplette 360° -Phase für die maximale, eindeutige Entfernung zur Verfügung. Ein Beispiel: Die 360° entsprechen einer maximalen Entfernung von 15 m, gleichbedeutend mit einer definierten Modulationsfrequenz ($1/t_{\text{MOD}}$). Der ToF-Chip liefert 4 Abtastwerte, sogenannte DCSx, die jeweils um 90° -Phasen verschoben sind. Aus diesen Abtastwerten kann sowohl die Amplitude (Signalqualität) als auch die Entfernung berechnet werden. Die Ausgabe der 4 DCSx-Werte erfolgt für jedes der Pixel. Bis zu 15 m lassen sich die Entfernungen eindeutig bestimmen. Steht das Objekt aber in einer Entfernung von 16 m, kann das ToF-System die Entfernung nicht ein-

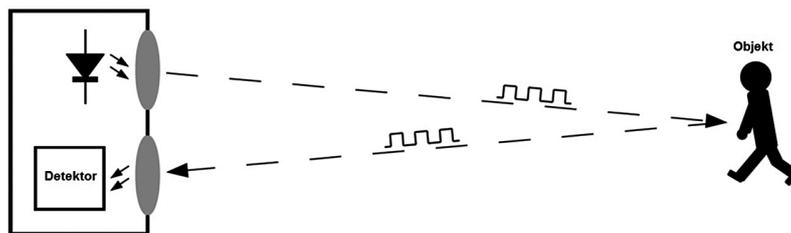


Bild 1: Time-of-Flight Prinzip

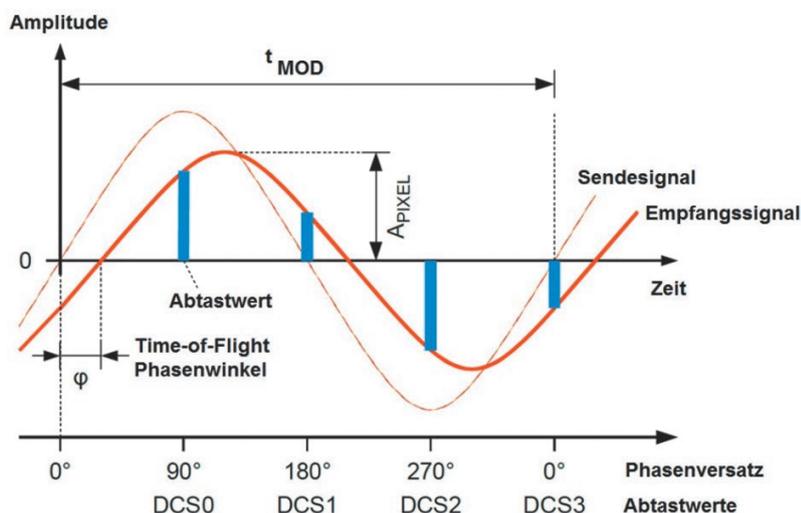


Bild 2: Messprinzip mit Signalverlauf Sender und Empfänger



Bild 3: ToF-Kamerasystem DME 660

eindeutig ermitteln und zeigt eine Entfernung von 1 m = 16 m - 15 m an.

Lichtmenge

Ein weiterer Aspekt ist das Sichtfeld (FOV: Field of View) des ToF-Kamerasystems. In der Regel ist nicht die Empfindlichkeit des ToF-Chips die kritische Größe, sondern vielmehr die Menge an ausgesandtem Licht. Das Sendemodul muss ausreichend Licht für die Reflektion in den Empfänger liefern. Dabei gilt: Je größer die Entfernung und das Sichtfeld, desto größer ist die Menge an Licht, die zur Detektion des Objektes notwendig ist.

Da es sich um ein optisch messendes System handelt, ist auch die Laserklasse zu berücksichtigen, wenn Personen in das Sichtfeld des Kamerasystems treten können.

Einflussgrößen des Messobjekts

Einfluss auf das Messergebnis haben natürlich auch die Beschaffenheit, der Reflektionsgrad und die Geschwindigkeit des Objektes. Es gibt stark und schwach reflektierende Materialien. Wird das Licht vom Objekt zu schwach reflektiert, kann dieses nur schwer oder gar nicht erkannt werden. Dies muss in der Designphase durch entsprechend gewählte Integrationszeiten berücksichtigt werden.

Eine hohe Bewegungsgeschwindigkeit des Objektes bedingt eine ausreichend hohe Rechenleistung bzw. die Wahl eines geeigneten Controllers, der die Messwerte ausreichend schnell verarbeitet und aussagekräftige Ergebnisse liefert. Aufnahmen von langsamen oder ruhenden Objekten sind wesentlich einfacher zu verarbeiten.

Störeinflüsse

Werden ToF-Systeme beispielsweise im Inneren eines Gebäudes eingesetzt, sind Umwelteinflüsse nicht zu berücksichtigen. Im Außeneinsatz sind allerdings geeignete Maßnahmen in der Hard- und auch Software vorzunehmen. Starkes Sonnenlicht kann durch die integrierte „Ambient Light Suppression“ (Umgebungslichtunterdrückung) auf Chipenebene unterdrückt werden. Hingegen müssen die Messwerte bei Temperaturveränderungen durch geeignete Software-Routinen, je nach Genauigkeitsanforderungen, korrigiert werden. Oftmals reicht es aus, mit einer höheren Messwertintegration zu arbeiten und entsprechende Korrekturfaktoren zur Temperaturkompensation zu verwenden.

Fazit

Die ToF-Technologie wurde in den letzten Jahren deutlich weiterentwickelt und ist bereits jetzt zuverlässig in einer Vielzahl von Applikationen einsetzbar. ■

Kontakt

Matthias Flack
New Business
Development Manager
Niederlassung Nord
Neumüller Elektronik
GmbH
Beimoorkamp 3
22926 Ahrensburg
Tel. +49 4102 66601-15
Fax +49 4102 66601-66
info@neumueller.com
www.neumueller.com

