



Beispielhafte RGBD-Kamera, die zusätzlich zum Tiefenbild nach dem ToF-Prinzip ein 2D-Farbbild (RGB) überlagert.

Lexikon der Bildverarbeitung: Time-of-Flight-Kameras

Tiefeninformationen

Autor: Ingmar Jahr, Manager Schulung & Support, Evotron GmbH & Co. KG | Bild: Evotron GmbH & Co. KG / KI-generiert

Eine 3D-Kamera, die Tiefeninformationen durch Messung der Lichtlaufzeit (Time-of-Flight, ToF) ermittelt. Der Abstand Kamera-Prüfobjekt wird für jedes Pixel separat als optisches Echo bestimmt. Die geometrische Auflösung in x, y und z kann verschieden sein. Modelle mit zusätzlich überlagertem 2D-Intensitäts- oder -Farbbild sind möglich.

In die Kamera integrierte Lichtquellen (typ. IR, 940nm) senden Puls- oder Dauerlicht zum Prüfobjekt im Abstand d . Das dort reflektierte Licht erreicht die Kamera nach der Zeit Δt , wobei der Abstand d zweimal durchlaufen wird:

$$\Delta t = 2d/c_0 \quad (c_0 = \text{Lichtgeschwindigkeit}).$$

Eines der möglichen Messverfahren arbeitet mit der Laufzeit einzelner Lichtpulse. Das erfordert eine hohe zeitliche Auflösung des Messsystems (technisch und finanziell aufwändig), denn Licht durchläuft in nur 33ps 1cm Weg. Zum Erreichen der typischen Tiefenauflösung von 1cm muss daher die Zeitauflösung im unteren ps-Bereich liegen, damit typische Messabstände von <1 bis 80m erreicht werden.

Verbreiteter sind phasenmessende Verfahren. Sie ermitteln die Phasenverschiebung

von moduliertem Dauerlicht zu dem vom Prüfobjekt reflektierten Licht. Als Sensor wird ein Photon Mixer Device (PMD) eingesetzt. Dieses Verfahren eignet sich für Messabstände von 0,1 bis 5m, ist aber durch die phasenbedingte Mehrdeutigkeit eingeschränkt. Die erreichbare Messunsicherheit unterliegt allgemein den Einflüssen von Prüfobjekt, Beleuchtungsparametern und der signalverarbeitenden Elektronik. Sie liegt aktuell unterhalb 1cm und ist für phasenbasierte Verfahren besser als bei Einzelpulsmessung.

Das Ergebnis der Messwertermittlung ist eine ortsdiskrete Tiefenkarte, die zu jedem 2D-Pixel einen Abstandswert enthält. Die Tiefeninformation liegt dort grauwert- oder farbcodiert (vor Grauwert oder Farbwert je Tiefenwert). Damit können Tiefeninformationen direkt mit klassischen BV-Tools weiterverarbeitet werden. Im Vergleich zu 2D-Bildsensoren ist die x-y-Auflösung von ToF-Sensoren

gering. Geringe Messunsicherheit und ein Eindeutigkeitsbereich über mehrere Meter benötigen ein um Größenordnungen besseres Signal-Rausch-Verhältnis als bei 2D-Bildsensoren (ca. 100-fache Elektronenanzahl). Um diese zu erzeugen, bedarf es entsprechend 10-fach größerer Pixel. Vorteile gegenüber anderen 3D-Verfahren ergeben sich bei ToF-Kameras durch die direkte und absolute Tiefenmessung in Echtzeit, was auch bei wenig texturierten Oberflächen funktioniert. Nachteilig ist die begrenzte Reichweite, die Anfälligkeit bei starkem Umgebungslicht und störende Reflexionen an glänzenden Flächen. Anwendung sind in der Industrieautomation und Logistik zur groben Objekterkennung im Raum (Robotik) und Vermessung, beim autonomen Fahren und Fliegen, im Smartphone und bei der Mensch-Maschine-Interaktion. ■

www.evotron-gmbh.de