

Erste Erfahrungen mit dem 3D-Sensor PMD[vision] 19k

Manfred WIGGENHAGEN

Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden erste Anwendungen des 3D-Sensors PMD[vision] 19k der Firma PMDTechnologies GmbH vorgestellt. In Laborversuchen wurden die Messeigenschaften bei unterschiedlichen Materialoberflächen getestet und erste Optimierungen beim Einsatz der Nutzerschnittstelle VisCam Pro vorgenommen. Filtermethoden zur Verringerung des Messrauschens sowie die Anpassung der Integrationszeit an die unterschiedlichen Messbedingungen führten zu ersten erfolgversprechenden Datensätzen, die visuell und statistisch beurteilt werden konnten.

1 Grundlagen

1.1 Motivation

Photogrammetrische Verfahren zur dreidimensionalen Objektrekonstruktion aus Bildsequenzen basieren z.B. auf zeitintensiven Korrelationsverfahren, die offline durchgeführt werden und daher keine Echtzeitanwendung erlauben. Da die aktuell verfügbaren 3D Sensoren Intensitäts- und Tiefeninformationen mit bis zu 50 Datensätzen pro Sekunde abspeichern, eignen sie sich als praktikable Lösung für die Erfassung dynamischer dreidimensionaler Prozesse. Der untersuchte Sensor der Firma PMDTechnologies GmbH, Siegen hat eine Sensorgröße von 160 x 120 Bildelementen. Für jedes Bildelement wird die Entfernungsinformation nach dem Phasenvergleichsverfahren bestimmt und zusammen mit dem Intensitätswert abgespeichert.

1.2 Technische Daten

Kernstück des Sensors ist ein 2D-Feld von Photomischsensoren.

Diese Photomischsensoren engl. Photonic Mixing Device (PMD) ermöglichen für die 160 x 120 Sensorelemente die Bestimmung der Intensität des empfangenen Signals simultan zur Berechnung der Entfernung zwischen Bildelement und Objektoberfläche. Hierzu wird das Objekt mit moduliertem Infrarotlicht beleuchtet.

Als Beleuchtungseinheit sind an beiden Seiten der Sende-Empfangs-Optik LED-Felder mit Infrarot-Emittern angebracht. Die PMD-Sensorelemente demodulieren das empfangene Lichtsignal durch Korrelation mit dem Referenzsignal (s. Abb.1). Aus der Phasenverschiebung wird als Messergebnis die Tiefeninformation in einem Eindeutigkeitsbereich von 7.5 m abgeleitet.

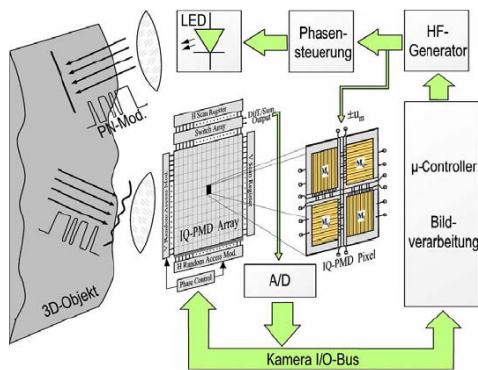


Abb. 1: Funktionsablauf des PMD Sensors (aus SCHWARTE, (2006))

Wesentliche Kenngrößen des PMD-Sensors sind:

- CMOS Sensor mit 160 x 120 Sensorelementen
- Pixelabstand 40 μm , Sensorgröße 6.4 x 4.8 mm,
- Frame Rate bei 3D-Messung bis 15 fps
- Max. Messabstand 7.5 m bei 20 MHz,
- Distanzauflösung >6 mm
- Öffnungswinkel 40° bei $f=12$ mm

In das Gerät sind leistungsfähige Prozessorbausteine, Speicher, LEDs und AD-Wandler integriert. Die Steuerung des Systems sowie der Datenaustausch mit dem PC kann über IEEE 1394 oder Internet-Verbindung erfolgen. In den ersten Untersuchungen erwies sich die TCP/IP Schnittstelle als zu langsam im Dialog mit dem angeschlossenen PC, daher wurden die weiteren Messungen mit der IEEE 1394 Schnittstelle am PC bzw. Notebook durchgeführt. Der Datenaustausch über diese Schnittstelle konnte über einen Testzeitraum von über 40 Stunden mit hoher Stabilität und akzeptabler Geschwindigkeit durchgeführt werden.

Die Nutzerschnittstelle wird über die graphische Oberfläche der mitgelieferten Software CamVis Pro realisiert. Nach Auswahl der gewünschten Datenschnittstelle ist das Gerät unmittelbar betriebsbereit und zeigt in der Voransicht das farbkodierte Tiefenbild des aktuellen Bildausschnittes an.

Die Nutzerschnittstelle umfasst folgende Funktionen:

- Wahl der Datenquelle, Daten-Skalierung,
- Darstellungsart (Intensitätsbild, Tiefenbild),
- Filter und Vorverarbeitungen,
- Einstellung der Integrationszeit,
- Speicherung (Bild-, Tiefendaten, Sequenz).

Die Farbkodierung und Skalierung der Tiefendaten erfolgt generell automatisch, kann aber zusätzlich manuell beeinflusst werden.

Erweiterte Programmfunktionen dienen zur Datenvorverarbeitung, Filterung und Datenanalyse. Interessant für den direkten Einsatz des 3D Sensors sind nutzerdefinierte Filter und Funktionen zur bildbasierten und volumenbasierten Analyse von Objektveränderungen.

Als Anwendungsgebiete für den PMD-Sensor sind u.a. folgende Bereiche interessant:

Öffentlicher Verkehr, Fertigungsautomation, Automobilindustrie, Unterhaltungstechnik, Medizin, Aufzugstechnik, Haus- und Sicherheitstechnik.

In diesen Bereichen kann der 3D Sensor Echtzeitlösungen liefern, die in Ergänzung oder als Ersatz zu bisherigen zweidimensionalen Verfahren realisiert werden.

2 Laborversuche

2.1 Materialabhängiges Messverhalten

Potentielle Anwender sind in vielen Fällen zunächst daran interessiert, ob der Sensor seine spezifizierten technischen Eigenschaften unter den speziellen Rahmenbedingungen erfüllt. In den materialabhängigen 3D-Messungen wurde daher das Messsystem mit folgenden Materialien getestet:

- Polierte Holzoberflächen,
- Messing,
- Aluminium,
- Chrom,
- Leder, (glatt, genarbt),
- Textilien.

Bei stark reflektierenden Oberflächen wird das Messsignal durch spiegelnde Reflexion gestört, insbesondere wenn der Winkel zwischen optischer Achse und Normalenvektor der Oberfläche kleiner als 10 Grad ist. Eine Reduktion der störenden Glanzlichter in den Messdaten kann durch Anwendung des Medianfilters (z.B. Median 7x7) und durch die Verringerung der Integrationszeit erreicht werden. Die Verringerung von Übersättigungseffekten durch Anpassung der Integrationszeit wurde bereits in MAY (2006) beschrieben.

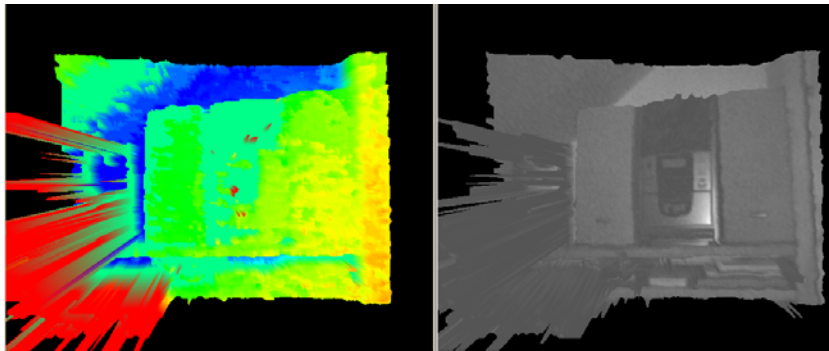
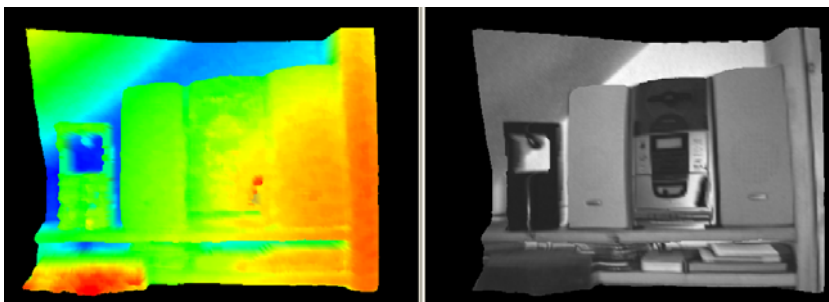
Die Messung auf diffus reflektierende Materialien wie z.B. Leder ist unkritisch allerdings wurden Änderungen der Distanzmessung in Abhängigkeit von der Objektfarbe beobachtet. Diese Effekte sollen in zukünftigen Untersuchungen im Detail überprüft werden.

Da die Visualisierung der farbkodierten Tiefenbilder auf den minimalen und maximal erfassten Distanzen basiert, ist die automatisch durchgeführte Skalierung bei Ausreißern und Messfehlern in den meisten Fällen ungeeignet. Abhilfe kann durch Anwendung des Median oder Mittelwertfilters, Bestimmung der minimalen und maximalen Distanzwerte aus den gefilterten Daten und Anwendung auf die Datenskalierung geschaffen werden (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Datenskalierung des Tiefenbildes

	min	max	Mittelwert	Standard- abweichung	Integrationszeit in μs
ohne	1	7469	628	26	1200
mit Medianfilter 3x3	599	658	626	26	1200
ohne	538	695	641	23	2000
mit Medianfilter 3x3	618	683	641	20	2000

Bei Materialien mit dunkler, diffus streuender Oberfläche kam es in manchen Fällen zu fehlerhaften Distanzmessungen. In diesen Fällen führte die Verlängerung der Integrationszeit von 2 msec auf 40 msec zu wesentlich besseren Ergebnissen (s. Abb.2 und Abb.3).

**Abb. 2:** Tiefenbild (links) und Intensitätsbild (rechts) bei 4 msec Integrationszeit**Abb. 3:** Tiefenbild (links) und Intensitätsbild (rechts) bei 25 msec Integrationszeit

Wie bereits von REULKE (2006) beschrieben, verbessert sich die Qualität der Distanzmessung durch Verlängerung der Integrationszeit.

Allerdings sind Abhängigkeiten der Distanzmessung von der Farbe der angemessenen Materialoberfläche zu beobachten. Die simultane Messung auf Vergleichsflächen mit unterschiedlichen Grautönen ergab eine Verfälschung der Tiefenmessung über schwarzen bzw. Flächen mit 80% Grauanteil von bis zu 680 mm in einem Messvolumen von 1500x100x800 mm. Diese Problematik wurde auch bereits in KAHLMANN (2006) beschrieben und durch Kalibrierung des Sensors minimiert.

2.2 Sequenzauswertung

Erste Versuche mit der Registrierung von 3D-Sequenzen ermöglichte die Erfassung von Tiefeninformationen und Intensitätsbildfolgen mit bis zu 15 Datensätzen pro Sekunde.

Die Speicherung erfolgte in Binär, Text- bzw. UML-Format. Zur Herstellung von Animationen können Bildsequenzen im 24bit BMP-Format für Tiefenbilder und 8-bit Format für Intensitätsbilder abgespeichert werden. Die tatsächlich erreichbare Anzahl an Bildern pro Sekunde ist stark vom eingesetzten PC abhängig und lag durchschnittlich bei 10 Datensätzen pro Sekunde.

3 Anwendungsbeispiele

3.1 Fahrerkontrollsystem

Zur Kontrolle der Bewegungen von Fahrzeuglenkern, z.B. LKW-Fahrern erscheint die Messauflösung und Wiederholrate des 3D Sensors gut geeignet. In ersten Versuchen konnte mit der Funktion „Volumetric Detection“ der Nutzerschnittstelle ohne zusätzlichen Programmier- bzw. Anpassungsaufwand die Aufzeichnung und Analyse von Kopfbewegungen der Versuchsperson in einem festgelegten 3D Volumen durchgeführt werden. Auffällige Bewegungen z.B. Nicken des Kopfes wurden automatisch erkannt und über eine Ereignisanzeige bestätigt. Diese Anwendung soll zukünftig weiter verfeinert werden.

3.2 Zugangskontrolle

Die bisher gebräuchlichen Infrarotbewegungsmelder reagieren generell auf Veränderungen in einem fächerförmig ausgestrahlten Messbereich. In diesem Bereich detektierte Objekte können nicht nach Größe und Form unterschieden werden. Fehlauflösungen erfolgen daher sehr häufig durch kleine Tiere oder sich bewegende Äste und Pflanzen im Messbereich.

Mit dem 3D Sensor können sowohl Volumenbereiche als auch Bildbereiche zur gezielten Überwachung markiert werden. Die Zugangskontrolle für Türen konnte in ersten Versuchen erfolgreich auf definierte dreidimensionale Messbereiche eingeschränkt werden.

4 Zukünftige Anwendungen

4.1 Mensch-Maschine Schnittstelle

Die berührungslose Steuerung von Maschinen wird als erfolgversprechende Anwendung des PMD-Sensors angesehen. Vorteilhaft erscheint, dass keine Beeinträchtigung der Funktion durch Verschmutzung oder durch spezielle Arbeitskleidung z.B. Arbeitshandschuhe zu befürchten ist und die Eingabeeinheit keine Abnutzung im rauen Praxisbetrieb erleiden wird. Hierzu sollen in Zukunft Prototypuntersuchungen erfolgen.

4.2 Autonome Fahrzeuge

Die Navigation autonomer Fahrzeuge erfolgt bereits über die Kombination von Laserscannern, Radar- und optischen Sensoren. Die Echtzeitfähigkeit des PMD Sensors mit der sofortigen Bereitstellung von Tiefeninformation in einem Messbereich bis zu 7.5 m stellt eine wertvolle Ergänzung zu den bisherigen Messsystemen dar. Untersuchungen in diesem Bereich sind in naher Zukunft ebenfalls geplant.

5 Literatur

Kahlmann T., F. Remondino, H. Ingersand (2006): *Calibration for increased accuracy of the range imaging camera SWISSRANGER*. ISPRS Commission V, Symposium 'image Engineering an Vision Metrology', Dresden, S.136-141.

May S. et al. (2006): 3D time-of-flight cameras for mobile robotics. www.ais.fraunhofer.de/~surmann/papers/iros2006.pdf

Reulke R. (2006): *Combination of distance data with high resolution images*. ISPRS, Commission V, WG V/5, Dresden 2006.

Schwarte R. (2006): *PMD-Sensorik für Automotive- Möglichkeiten und Grenzen*. Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik, Leonberg. www.3d-view.org/pub/Schwarte_VotrOptischeTechnol_17Mai2006.pdf