



ifm electronic

**Optimierung und Lösung
von technischen Abläufen
durch Sensorik, Kommunikations-
und Steuerungssysteme**

Schulungsunterlagen



optoelector pmd

Schulungsunterlagen opto-efector pmd, V1.5

Hinweis zur Gewährleistung:

Sämtliche auf diesem Datenträger veröffentlichten Daten sind geistiges Eigentum der ifm bzw. wurden uns teilweise von Kunden oder Lieferanten zur exklusiven Nutzung überlassen. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass jedwede Verwertung (insbesondere Vervielfältigung, Verbreitung und Ausstellung) sowie Bearbeitung oder Umgestaltung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung durch ifm zulässig ist.

Diese Schulungsunterlagen wurden unter Beachtung der größtmöglichen Sorgfalt erstellt. Gleichwohl kann keine Garantie für die Richtigkeit und Vollständigkeit des Inhalts übernommen werden.

Da sich Fehler trotz intensiver Bemühungen nie vollständig vermeiden lassen, sind wir für Hinweise jederzeit dankbar.

ifm electronic gmbh, Abteilung VTD-STV, Teichstr. 4, 45127 Essen, Tel.: 0201/2422-0,

Internet: www.ifm.com

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Sensoren in industriellen Prozessen	5
2	Abstandsmessung	6
2.1	Übersicht	6
2.1.1	Bezeichnungen	6
2.1.2	Abstand	6
2.1.3	Messverfahren	7
2.1.4	Triangulation	7
2.2	Gesetzmäßigkeiten	8
2.3	Anwendungen	9
2.3.1	Interferometrie	9
2.3.2	Laufzeitverfahren	11
2.3.3	Modulation	11
2.4	Photonmischung	12
2.4.1	Überlagerung	12
2.4.2	Ladungsschaukel	13
2.4.3	Ausblick	14
3	Der Sensor	14
3.1	Besonderheiten	14
3.2	Daten	14
3.2.1	Mehr Informationen	14
3.2.2	Ausgewählte Eigenschaften	14
3.3	Zusammenfassung	16

1 Einleitung

1.1 Sensoren in industriellen Prozessen

wozu?

In automatisierten Produktionsabläufen ist der Einsatz von Sensoren als Informationsgeber Voraussetzung. Sie senden die notwendigen Signale über Positionen, Endlagen, Füllstände, oder dienen als Impulsgeber. Ohne zuverlässig arbeitende Sensoren ist die beste Steuerung nicht in der Lage, Prozesse zu kontrollieren. Ein typisches Beispiel ist der Näherungsschalter.

Man unterscheidet allgemein zwischen sogenannten binären Sensoren, die ein eindeutiges High-Low Signal schalten, und sogenannten analogen Sensoren, die vorzugsweise in der Messtechnik zur Temperatur-, Weg-, Druck-, Kraftmessung usw. eingesetzt werden. Hierbei gibt der Sensor ein analoges Signal ab, welches zur Messung und Regelung weiter ausgewertet wird.

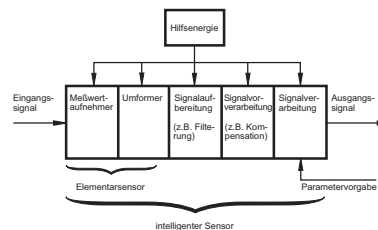


Abbildung 1: Struktur eines Sensors

Generell bestehen all diese Sensoren aus zwei Komponenten: Die erste registriert die Änderung physikalischer Zustände (Elementarsensor), die zweite setzt die Signale des Elementarsensors in elektrische Ausgangssignale um (Signalverarbeitung).

Sensor

Die Abbildung 1 zeigt das allgemeine Schema, das im Prinzip auf jeden Sensor zutrifft. Unterschiede gibt es nur im Detail, z. B. wenn einzelne Komponenten nicht vorkommen oder nicht zu trennen sind. Manchmal wird auch der Elementarsensor kurz als Sensor bezeichnet. Dann muss auf den Zusammenhang geachtet werden, ob das ganze Gerät oder der Elementarsensor gemeint ist. Manche Geräte bestehen auch aus getrennten Komponenten, z. B. ATEX-Geräte (NAMUR-Sensoren) oder häufig auch Temperatursensoren. Hier wird der Messwertaufnehmer an eine separate Auswerte- oder Verstärkereinheit angeschlossen. Solche Sensoren werden in beträchtlichen Stückzahlen weltweit eingesetzt. Sensoren fallen in die Rubrik der elektrischen Betriebsmittel.

optoelektronische Sensoren

Diese Art von Sensoren wird seit langem zur Positionserkennung eingesetzt. Dabei werden sie häufig als Lichtschranken bezeichnet. Genau genommen gehört der Lichttaster auch in diese Kategorie, siehe [Schulungsunterlagen optoelektronische Sensoren](#). Das sind binäre Sensoren, die wie z. B. [induktive Näherungsschalter](#) die Information liefern: "Objekt vorhanden" oder "Objekt nicht vorhanden". In speziellen Anwendungen, bei denen Kombinationen mehrerer Sensoren verwendet werden, können sie auch zur Messung z. B. von Längen oder Geschwindigkeiten eingesetzt werden. Dabei findet die Signalverarbeitung aber nicht im Sensor sondern in der nachgeschalteten Steuerung statt.

efector dualis

Eine weitere Gruppe sind die bilderzeugenden und -verarbeitenden Sensoren. Diese sind im täglichen Leben schon bei der Digitalkamera jedem geläufig. In der industriellen Praxis gibt es auch schon Systeme, die Objekte unabhängig von ihrer Lage (liegend, stehend, gedreht usw.) identifizieren können. Die Algorithmen, die dazu eingesetzt werden, erfordern eine erhebliche Rechenleistung. Das machte solche Systeme in der Vergangenheit aufwendig, langsam und teuer. Da die Prozessoren mit jeder neuen Generation leistungsfähiger und kompakter werden, verliert diese Einschränkung an Gewicht. Beim efector dualis ist es gelungen, die komplette Verarbeitung der Bildinformationen zusammen mit dem Sensor in einem relativ kleinen und kompakten Gerät zu integrieren. In der Anwendung kann man sich darauf beschränken, die binäre Information "Kontur korrekt" oder "Kontur nicht korrekt" abzufragen. Weitere Einzelheiten dazu sind auch in unseren [Schulungsunterlagen](#) zu finden.

efector pmd

Die ifm electronic bietet einen speziellen, neuartigen optoelektronischen Sensor an, der zur Messung von Entfernungen eingesetzt wird. Hier geschieht die Datenverarbeitung im Sensor direkt. Dazu wird das PMD-Verfahren (Photonmischdetektor) eingesetzt. Dieses soll hier kurz beschrieben werden.

2 Abstandsmessung

2.1 Übersicht

2.1.1 Bezeichnungen

Um den pmd-Sensor richtig einordnen und mit alternativen Meßmethoden vergleichen zu können, wird kurz auf einige Grundlagen eingegangen.

was bedeutet pmd?

Photonmischdetektor (photonic mixing device), ein neues Konzept zur optoelektronischen Entfernungsmessung. Auf die Funktionsweise wird weiter unten eingegangen.

nicht verwechseln mit

- photon multiplicity detector
- polarization-mode dispersion

2.1.2 Abstand

Abstand

Es gibt theoretische Definitionen, die hier aber nicht genauer behandelt werden. Mathematisch bedeutet Abstand etwa die Länge der Strecke zwischen zwei Punkten. Der Begriff Entfernung hat ungefähr die gleiche Bedeutung.

wieso nur etwa und ungefähr

Für den, der es ganz genau wissen will, soll die Problematik an einem Beispiel erklärt werden. Für den Abstand zweier Punkte auf der Erdoberfläche erhält man verschiedene Werte, je nachdem ob man darunter die Länge einer geraden Strecke zwischen den Punkten oder die Länge des Weges (das ist ein Kreisabschnitt!) dazwischen versteht. Im folgenden soll aber einfach die Länge einer geraden Strecke darunter verstanden werden.

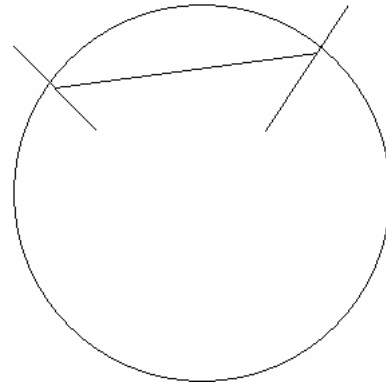


Abbildung 2: Was ist der Abstand?

2.1.3 Messverfahren

Bei den verschiedenen Messverfahren beschränken wir uns auch auf eines, das in Abbildung 3 beschrieben wird.



Abbildung 3: Prinzip des Messverfahrens

Bei diesem aktiven Messverfahren wird ein Instrument verwendet, das aus einem Sender (T für Transmitter) und einem Empfänger (R für Receiver) besteht.

was wird gesendet?

Hier werden in der Praxis drei Möglichkeiten verwendet:

- Mikrowellen (Radar)
- Lichtwellen
- Ultraschall

Beim pmd-Sensor werden Lichtwellen verwendet. Auch dabei gibt es wieder verschiedene Methoden:

- Triangulation
- Interferometrie
- Laufzeitmessung

2.1.4 Triangulation

Das häufig verwendete Triangulationsverfahren, das auch bei manchen Typen von Lichttastern zur Hintergrundausblendung verwendet wird, soll kurz beschrieben werden.



Abbildung 4: Triangulation

Das weiter entfernte Objekt reflektiert den Strahl auf einen anderen Punkt des Empfängers. Aus der Lage dieses Punktes lässt sich die Entfernung des Objekts bestimmen.

Grenzen der Triangulation

Voraussetzung für eine hinreichende Genauigkeit ist, dass der Empfänger diesen Versatz sehr fein auflösen kann. Eine Begrenzung des Messbereichs ist durch die räumliche Ausdehnung des Empfängerelements gegeben. Im Prinzip könnte man den Empfänger verschieben. In der Praxis verwendet man etwas komplexere Anordnungen, bei denen das Licht über (verstellbare) Spiegel umgelenkt wird. Dabei muss die Winkelstellung sehr präzise sein.

In diesem Fall bereitet die Nichtlinearität Probleme. Wenn man annimmt, dass der Empfänger den Unterschied zwischen 1 m und 1,5 m sehr gut auflösen kann, z. B. in Abbildung 4, dann wird es erheblich schwieriger zwei Objekte in 10 m und 10,5 m Entfernung voneinander zu unterscheiden.

Außerdem gibt es merkbare Temperatureffekte, die sich besonders beim optoelektronischen Empfänger auswirken.

Für Lichttaster ist das noch hinnehmbar, jedoch nicht, wenn genaue, reproduzierbare Messungen verlangt sind.

2.2 Gesetzmäßigkeiten

Werte und Formeln

Bevor die Interferometrie beschrieben werden kann, soll noch kurz an einige einfache Zusammenhänge erinnert werden. Es wird Licht verwendet, dass sich mit der Geschwindigkeit c ausbreitet.

Lichtgeschwindigkeit

$$c = 299.792.458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Frequenz und Wellenlänge

(1)

$$c = \lambda f$$

λ [m]: Wellenlänge; f [Hz]: Frequenz

Es wird eine Laserlichtquelle verwendet. Sie hat eine feste Wellenlänge (sichtbares Rotlicht) von:

(2)

$$\lambda = 650 \text{ nm} = 650 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Daraus ergibt sich eine Frequenz von

(3)

$$f = c/\lambda = 461,5 \cdot 10^{12} \text{ Hz} = 461,5 \text{ THz}$$

2.3 Anwendungen

2.3.1 Interferometrie

Kohärenz

Voraussetzung für die Interferometrie ist, dass die ausgesendeten Lichtwellen alle die gleiche Phase haben, dass sie sozusagen im Gleichtakt schwingen.

ist der Fachausdruck dafür.

Interferenz

Nur dann führt die Überlagerung verschiedener Wellen, hier der ausgesendeten und der reflektierten Welle, zu eindeutig reproduzierbaren Ergebnissen.

heißt diese Überlagerung.

Da Laserlicht diese Eigenschaft besitzt, sind Laser auch für Interferometrie gut geeignet.

Wellenlänge

Es soll kurz an die Bedeutung des Begriffs der Wellenlänge erinnert werden.

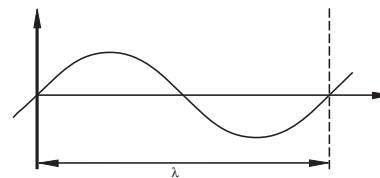


Abbildung 5: Wellenlänge

Im Detail

Nehmen wir einmal an, dass die ausgesendete und die reflektierte Welle sich derart überlagern, dass gerade Wellenberg mit Wellenberg, bzw. Wellental mit Wellental zusammentrifft. Das ergibt also eine Verstärkung. Verschiebt sich nun die Phase (z. B. der Punkt mit maximaler Amplitude) um $\lambda/2$ ergibt sich Auslöschung (Wellenberg trifft auf Tal), bei Verschiebung um λ ergibt wieder Verstärkung usw. Was das bedeutet soll an einem Beispiel verdeutlicht werden.

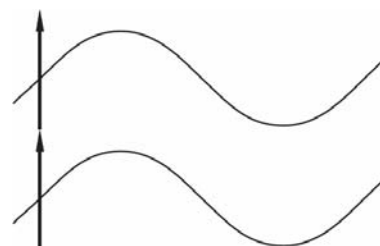


Abbildung 6: Verstärkung

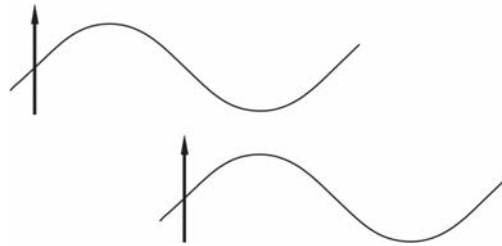


Abbildung 7: Auslöschung

Verschiebung um 1 mm	<p>1 mm entspricht nach $(2) (10^{-3} / 650 \cdot 10^{-9}) = 1,54 \cdot 10^3$ Wellenlängen = 1540 Wellenlängen.</p> <p>Wenn sich das Objekt verschiebt, wechseln sich diese beiden Fälle ab. Da also abwechselnd Licht (Verstärkung) bzw. kein Licht (Auslöschung) registriert wird, müssen also nur Impulse gezählt werden, um daraus die Entfernung zu ermitteln.</p>
Relativmessung	<p>Dieser Zählwert gibt aber genau genommen nur die Differenz zweier Entfernungen wieder, ähnlich dem inkrementalen Drehgeber, mit dem sich auch nur die Differenz zweier Winkel ermitteln lässt.</p> <p>Um den Abstand vom Messgerät zu ermitteln müsste sich das Objekt zuerst unmittelbar vor dem Gerät befinden und sich dann auf seine Enddistanz entfernen. Das wäre für die Praxis natürlich ungünstig.</p>
Geschwindigkeit	<p>Bei diesem Verfahren bereitet auch die Geschwindigkeit der Verschiebung Probleme. Einer Geschwindigkeit von 1 mm/s entspricht eine Signalfrequenz von 1,5 kHz. Bei 1 m/s hätten wir schon 1,5 MHz, was eine aufwendige Messung bedeutet.</p>
Praxis	<p>Im Prinzip kann Interferometrie also für Relativmessungen an bewegten Objekten eingesetzt werden. Häufiger wird Interferometrie für sehr genaue statische Messungen verwendet. Abweichungen in der Oberfläche um $\lambda/2$, also um $0,325 \mu\text{m}$, führen schon zur Auslöschung. Auf diese Weise lässt sich die Genauigkeit des Planschliffs bei Präzisionsinstrumenten kontrollieren.</p>
Zusammengefasst	<p>Für absolute Abstandsmessungen im Millimeter- bis Meterbereich ist Interferometrie nicht geeignet, weil das Ergebnis immer nur eindeutig bis auf Vielfache der Wellenlänge ist.. Daher benötigen wir beim pmd-Sensor auch kein kohärentes Licht.</p>

Einzelimpuls

2.3.2 Laufzeitverfahren

Man kann im Prinzip einen einzigen, kurzen Impuls aussenden, der vom Objekt reflektiert wird, und die Zeit messen, die er benötigt, um wieder anzukommen.

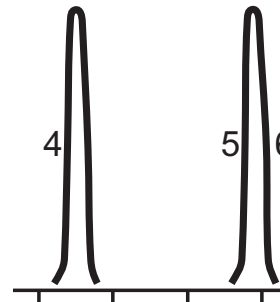


Abbildung 8: Laufzeit

In Abbildung 8 wurde zur Vereinfachung ein Sende- und Empfangssignal gleicher Größe dargestellt. Es ist auch nicht immer der Fall, dass beide die gleiche Form haben.

Beispiel

Objekt in 1 m Entfernung \Rightarrow Strecke (hin und zurück) 2 m. Wie groß ist die Laufzeit?

Wie hier gerechnet wird, kann man sich an einer Dimensionsbetrachtung klar machen:

Geschwindigkeit = Weg / Zeit \Rightarrow

Zeit = Weg / Geschwindigkeit, also:

$$\Delta t = (2 / 3 \cdot 10^8) \text{ s} = 6,7 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 6,7 \text{ ns}$$

Eine derart kurze Zeit ist aber schwer zu messen. Z. B. bei einer geforderten Genauigkeit von $\pm 1 \text{ mm}$ bedeutet das eine zeitliche Auflösung von 3,3 ps. Instrumente, die das leisten können, sind voluminös, schwer, empfindlich und teuer

was ist zu tun

Die oben geschilderten Methoden sind also alle nicht optimal. In Spezialfällen werden sie zwar angewendet, aber für einen einfachen, robusten, preiswerten Entfernungssensor so nicht geeignet.

2.3.3 Modulation

Der Ausweg liegt darin, dass, wie bei der Interferometrie, ein Dauersignal gesendet wird (bei dem die Wellen aber nicht kohärent sein müssen). Dieses Signal wird moduliert.

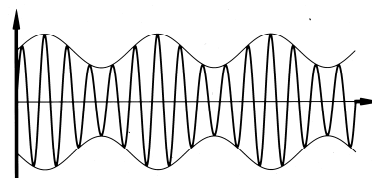


Abbildung 9: Modulation

Beispiel

Modulation mit 20 MHz. Daraus ergibt sich (siehe Abbildung 9)

$$\lambda = c/f = (3 \cdot 10^8 / 20 \cdot 10^6) \text{ m} = 15 \text{ m}$$

Dabei bedeutet λ jetzt die Wellenlänge der Modulation. Im folgenden geht es nur noch um die Wellenlänge bzw. Periode der Modulation. Die Länge der Trägerwelle (hier 650 nm) ist unerheblich, falls sie derart viel kleiner ist als die der Modulation wie in diesem Fall.

Messbereich

Nimmt man an, das Objekt befindet sich unmittelbar vor dem Gerät (Entfernung 0 m), dann überlagern sich die gesendete und die reflektierte Modulation so, dass sich eine Verstärkung ergibt. Bei einer Verschiebung der Phase um $\lambda/2$ ergibt sich Auslöschung. Das ergibt gerade den maximalen Messbereich, weil (bei einer Absolutmessung, ohne Verschiebung) z. B. folgende Fälle nicht unterschieden werden können. Es ist

$$\text{Signal}(\lambda/2 + x) = \text{Signal}(\lambda/2 - x) \text{ für } x < \lambda/2.$$

Beispiel

Signal (6,5 m) = Signal (8,5 m), kann also nicht unterschieden werden.

Es bleibt also "nur noch" die Auswertung der Zwischenwerte. Genau das ist aber die besondere Stärke des pmd-Sensors.

2.4 Photonmischung

2.4.1 Überlagerung

Vereinfachung

Es soll noch erwähnt werden, dass beim pmd-Sensor eine Mehrfachmessung stattfindet. dadurch kann mehr als nur der Bereich der Wellenlänge (der Modulation), also $\lambda/2$, genutzt werden.

So kommt man auch auf den Messbereich bis zu 10 m. Da es hier nur um die Verdeutlichung des Prinzips geht, wird dieses Detail hier nicht ausführlich erklärt. Wir müssen ja beachten, dass bei einer Verschiebung der Phase um $\lambda/2$ der Abstand zwischen Sender und Objekt nur $\lambda/4$ beträgt, weil das Licht hin und zurück läuft, also den Abstand zwei Mal durchläuft. Durch die Mehrfachmessung kann dieser Bereich auf 10 m ausgedehnt werden.

Spezialfall Rechteck

Um das Prinzip deutlich zu machen, nehmen wir an, die Modulation hätte eine ideale Rechteckform.

Das reflektierte Signal b hat bei einer Entfernung zwischen 0 und dem Meßbereichsendwert einen zeitlichen Versatz, eine Phasenverschiebung, im Vergleich zum ausgesendeten a.

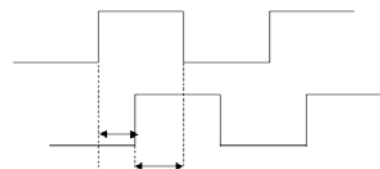


Abbildung 10: Phasenverschiebung

Aus der Breite p_1 der Verschiebung kann der Abstand ermittelt werden.

Beispiele

Bei den Extremfällen ist offenbar:

falls $p_1 = 0 \Rightarrow$ Abstand $d = 0$

falls $p_1 = \lambda/2 \Rightarrow$ Abstand $d = \lambda/2$ (im Beispiel 7,5 m)

Zeit	<p>Für den zeitlichen Versatz wird zunächst die Breite eines Impuls (entspricht λ) berechnet. Bei 20 MHz ist ein Impuls $(1/20 \cdot 10^6) \text{ s} = 0,05 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 50 \text{ ns}$ breit. $\lambda/2$ entspricht demnach 25 ns. Kurz gesagt: Bei 20 MHz Modulationsfrequenz (Wellenlänge 15 m) ist ein kompletter Sendepuls 50 ns lang.</p>
Beispiel	<p>Einer Strecke von 10 cm entspricht also eine Verzögerung des Empfangssignals um 0.33 ns gegenüber dem ausgesandten Licht.</p> <p>Auch das ist meßtechnisch eine Herausforderung.</p>
Konventionell	<p>Bisher wurden die Signale von Kanal a und jeweils separat empfangen, in elektrische Signale umgewandelt und dann verknüpft. - aufwendig und fehlerträchtig wegen extrem kurzen Zeiten</p>

2.4.2 Ladungsschaukel

2 Elektroden	<p>Beim pmd-Sensor geschieht die Auswertung direkt auf dem Empfängerchip. Dieser besteht aus einer Vielzahl von Empfangselementen.</p>
--------------	--

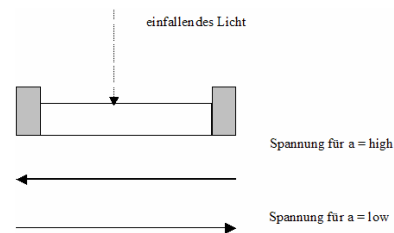


Abbildung 11: Auswertung beim Empfänger

Beim photoelektronischen Empfänger werden Ladungen freigesetzt, wenn Licht auf ihn fällt. Durch die im Wechsel, synchron zum Sendetakt, angelegte Spannung werden sie zuerst zur einen und dann zur anderen Elektrode geleitet. Das Verhältnis der Ladungsmengen entspricht genau dem Verhältnis von p_1 zu p_2 , siehe Abbildung 10. Die Ladungsmengen zu vergleichen ist erheblich einfacher als extrem kurze Zeiten zu messen.

pmd	<p>Bei pmd wird also der Empfänger getaktet ausgewertet ("Ladungsschaukel"). + Fehler können besser kompensiert werden + kompakte Bauform</p>
-----	---

Diese Darstellung ist natürlich vereinfacht. Viele Details wurden weggelassen. Mögliche Fehler, z. B. Fremdlichtbeeinflussung werden schaltungstechnisch minimiert. Darauf wird hier nicht weiter eingegangen. Festzuhalten ist die Konsequenz, dass solche Fehler hier erheblich besser kompensiert werden können.

Zur Kompensation des Fremdlichteinflusses und den Modulationskontrast (beim reflektierten Signal muss die Grenze zwischen Low und High eindeutig unterschieden werden können) dient die oben (2.3.3) erwähnte Mehrfachmessung.

Bild

2.4.3 Ausblick

Vergleicht man den pmd-Sensor mit dem Sensor einer Digitalkamera, dann besteht der Unterschied in der Auswertung der einzelnen Pixel. Bei der Kamera wird nur ausgewertet, wie viel Licht auf den Empfänger fällt. Das ist aber beim pmd-Sensor auch möglich. Die Summe der beiden Signale p_1 und p_2 , siehe Abbildung 10, entspricht dem gesamten Licht. Der pmd-Sensor kann also ein Bild erzeugen, das nicht nur 2-dimensional ist, wie bei der Kamera, sondern das zusätzlich die Information über den Abstand, also die dritte Dimension enthält.

3 Der Sensor

3.1 Besonderheiten

Oben wurden verschiedene Messverfahren beschrieben. Längenmessung ist natürlich schon lange ein wichtiges Gebiet der Messtechnik. Dabei sind bekannt:

- Laufzeitverfahren
- präzise optische Methoden
- kompakte, preiswerte Geräte

Worin liegt der Vorteil des Sensors?

Durch das spezielle Verfahren, der Auswertung auf einem Chip, ist es beim efector pmd gelungen, alle diese Eigenschaften in einem Gerät zu vereinigen. Bisher waren das Bedingungen, die sich gegenseitig ausgeschlossen haben.

Ausblick

Bei der ersten Generation der Geräte beschränkt man sich auf eine punktuelle Abstandsmessung. Wie in 2.4.3 schon beschrieben wurde, bietet das Verfahren die interessante Möglichkeit, dreidimensionale Bilder zu erzeugen. Die Information über den Abstand lässt sich dann auch wieder im Sinne einer Bildverarbeitung (siehe [Schulungsunterlagen Optische Grundlagen der Bildverarbeitung](#)) auswerten. Damit eröffnet sich eine Fülle neuer Möglichkeiten.

3.2 Daten

3.2.1 Mehr Informationen

Datenblätter mit allen Details sind bei [ifm im Internet](#) zu finden. Zur Zeit (siehe Seite 2) gibt es nur einen Typ, der leicht aufzufinden ist (bei optoelektronischen Systemen).

Sie können in dieser Datei auch direkt dem [Link](#) folgen. Da einige der Daten ähnlich sind wie bei anderen Sensoren, soll hier nicht einfach das gesamte Datenblatt besprochen sondern auf einige ausgewählte Eigenschaften eingegangen werden. Die Eigenschaften und die Handhabung sind in der [virtuellen Produktvorstellung](#) veranschaulicht.

3.2.2 Ausgewählte Eigenschaften

kompakt

Die Abmessungen sind (Länge x Tiefe x Höhe), jeweils in [mm]: 42 x 52 x 45. Bei der Höhe sind noch 13,5 mm für die M12-Steckverbindung dazuzurechnen.

Display	Trotz der geringen Abmessungen verfügt das Gerät über eine 4-stellige alphanumerische Anzeige und zwei Programmier Tasten. Zusätzlich gibt es LEDs zur Funktionsanzeige.
elektrische Daten	Die Stromaufnahme ist $< 150 \text{ mA}$. Die Digitalausgänge sind bis 200 mA belastbar. Sie können als Öffner oder Schließer programmiert werden. Ein Ausgang kann auch als skalierbarer Analogausgang für ein Stromsignal von 4 bis 20 mA konfiguriert werden. Die maximale Bürde beträgt dann 250Ω .
Programmierung	Die Programmierung verläuft ganz ähnlich wie bei vielen anderen Sensoren der ifm electronic. Wer z. B. einmal einen Drucksensor eingestellt hat, dem ist die Einstellung des efector pmd intuitiv klar. Details sind in der Betriebsanleitung zu finden.
Licht	Als Lichtquelle wird eine Laserdiode verwendet. Das Licht hat eine Wellenlänge von 650 nm (vgl. 2.2). Die Leistung ist $\leq 1 \text{ mW}$. Der Laser ist in Klasse 2 einzustufen. Damit genügen einfache Vorsichtsmaßnahmen (Kontakt mit dem Auge vermeiden! Nicht direkt in die Lichtquelle blicken!). Das Thema Gefährdung durch Laser wird ausführlicher in den Schulungsunterlagen Optoelektronische Sensoren behandelt.
Reichweite	Diese ist, ähnlich wie beim Lichttaster, von der Oberflächenbeschaffenheit und der Farbe des Objekts abhängig. Das wirkt sich weniger bei der unteren Grenze von $0,2 \text{ m}$ aus. Die maximale Reichweite ist 10 m bei weißem Papier (Remission 90%) 6 m bei grauer Farbe (Remission 18%) 4 m bei schwarzer Farbe (Remission 6%)
Genauigkeit, Reproduzierbarkeit	Diese Größen hängen vom Abstand ab. Eine Tabelle dafür findet sich im Datenblatt . Sie steigen jeweils bei kleinerer Messrate an. Die angegebenen Werte beziehen sich auf die maximale Messrate von 50 Hz . Die Bedeutung dieser Begriffe soll an einem Beispiel veranschaulicht werden. Dabei werden die Ergebnisse dreier Schützen verglichen.

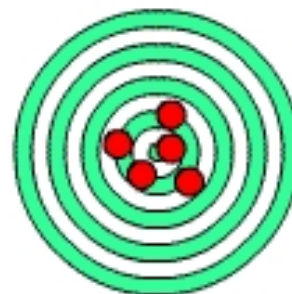


Abbildung 12: Genau und gut reproduzierbar

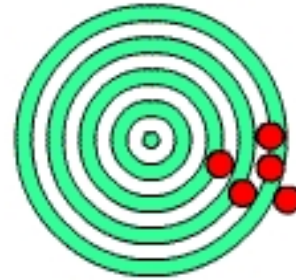


Abbildung 13: Ungenau aber gut reproduzierbar

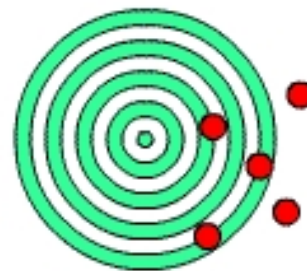


Abbildung 14. Ungenau und schlecht reproduzierbar

Man erkennt, dass Genauigkeit und Reproduzierbarkeit streng genommen nicht das gleiche ist. In vielen Fällen wird einfach nur eine Fehlergrenze angegeben, die beide Einflüsse umfasst. Beim efector pmd werden beide Werte angegeben.

was ist 3σ ?

Dieser Begriff wird bei der Beschreibung der Eigenschaften des efector pmd verwendet, genauer bei der Angabe der Fehlergrenzen. Die Bedeutung kann man sich wieder an Abbildung 12 bis Abbildung 14 klar machen. Wenn viele Messungen durchgeführt wurden, dann gibt 3σ die Größe eines Intervalls an, so dass 99,73 % aller Werte innerhalb dieses Intervalls liegen. Ein großes Intervall bedeutet also eine schlechte Messung, ein kleines eine gute. Damit wird also bestätigt, dass der efector pmd ein gutes Messgerät ist. wer es genauer wissen will, soll sich über den Begriff Standardabweichung informieren (z. B. bei [Wikipedia](#)).

Werte

Sie liegen unter günstigen Bedingungen im mm-Bereich und können unter ungünstigen Umständen im 100 mm-Bereich liegen. Da auch eine Tabelle nur Anhaltspunkte für den konkreten Anwendungsfall liefern kann hat die ifm electronic ein [Berechnungstool](#) ins Internet gestellt, mit dem der Anwender Werte erhält, die besser den konkreten Bedingungen angepasst sind.

3.3 Zusammenfassung

Die Eigenschaften noch einmal kurz zusammengefasst:

- Berührungslose Abstandsmessung bis zu 10 m Reichweite.
- PMD Smart Pixel mit integrierter Signalauswertung.
- Sichtbarer Rotlichtlaser der Klasse II für eine einfache Ausrichtung.
- 4-stellige alphanumerische Anzeige.
- Einfache Inbetriebnahme, in Sekunden eingestellt und montiert.

- 2 Schaltpunkte einstellbar, Schalt- und Analogausgänge.
- Robustes und kompaktes Metallgehäuse für den industriellen Einsatz.
- Überzeugendes Preis-/Leistungsverhältnis.

E N D E