

Keine 08/15-Lösung

In autonomen Fahrzeugen kommen verschiedene Lidar-Technologien zum Einsatz.

Florian Friedl

Die beste Lidar-Technologie für automobiler Anwendungen gibt es nicht. Dieser Artikel stellt die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme vor und nennt ihre wichtigsten Unterschiede.

Ob in der Fabrikhalle oder im Auto: Smarte, autonome Systeme sind auf dem Vormarsch. Eine

wichtige Voraussetzung für sichere und funktionstüchtige Systeme sind hochentwickelte Sensoren und Bildgebungsverfahren, die ein realitätsgetreues Abbild ihrer Umgebung generieren. Bereits aktuelle Advanced Driver Assistance Systeme (Adas) verwenden rund hundert solcher Sensoren für Spurhalteassistenten, automatische Abstandskontrollen

und weitere Systeme für Komfort und Sicherheit. Absolute Genauigkeit und schnelle Reaktionszeiten sind dabei unabdingbar – auch bei hohen Geschwindigkeiten und unvorhergesehenen Situationen.

Eine der vielversprechendsten Entwicklungen der letzten Jahre ist dabei der Einsatz von Lidar-Systemen (Light Detection and Ranging), einem optischen Verfahren zum Messen von Abständen und Geschwindigkeiten. Anders als beim Radar erfassen Lidar-Sensoren ihre Umwelt allein mithilfe von Licht, das durch einen Photosensor erfasst wird. Doch Lidar ist nicht gleich Lidar, und Photosensor nicht gleich Photosensor. Welche Technologie die richtige ist, hängt vom jeweiligen Anwendungsfall ab.

Bei der Auswahl und Zusammenstellung der richtigen Komponenten hilft Hamamatsu Photonics, ein Hersteller von optischen Produkten und Halbleiterkomponenten. Mit seinen Produkten deckt das Unternehmen die ganze Bandbreite der Lidar-Technologien ab.

Aktuell gibt es zwei grundsätzliche technologische Herangehensweisen: Time of Flight, auch TOF oder Laufzeitmessung genannt, oder Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW), welche über Frequenzmodulation funktioniert. Während TOF-Lidars noch immer die Regel sind, erfreuen sich

Autonom fahrende Autos benötigen exakte und zuverlässige Daten über ihr Umfeld. Unter anderem Lidarsensoren liefern sie ihnen – auch wenn Tesla im Speziellen keine einsetzt.



FMCW-Systeme zunehmender Popularität und versprechen, einige der Probleme des Time-of-Flight-Ansatzes zu lösen.

Rundreise für das Licht

Beim TOF-Lidar sendet eine Lichtquelle einen konzentrierten Lichtstrahl aus, der von einem Hindernis – etwa einem Fußgänger oder einem vorausfahrenden Auto – reflektiert und an einen Photosensor zurückgeworfen wird. Der Sensor berechnet die Entfernung des Objektes anhand der Zeit, bis das reflektierte Licht auf den Sensor trifft.

Als Strahlungsquelle dienen häufig gepulste Laser, in zwei unterschiedlichen Ansätzen: Beim „Scanning Lidar“ werden mehrere einzelne Lichtimpulse ausgesandt, die zusammen ein Gesamtbild ergeben. Für ein 360°-Bild der Umgebung sind häufig rotierende Plattformen mit mehreren Laserdioden nötig. Ganz ohne mechanische Teile geht es beim Flash-Lidar: Hier flutet ein Lichtpuls die gesamte Umgebung, wobei der Beleuchtungsbereich dem Sichtfeld des Detektors entspricht. Als solcher dient ein Array von APDs, die unabhängig voneinander die ToF auf das Zielmerkmal messen.

Wellenlänge und Polarisationszustand des Impulses sind einstellbar. Üblich sind Wellenlängen zwischen 850 und 1550 Nanometern. Niedrigere Wellenlängen ermöglichen den Einsatz von Siliziumdetektoren und zeigen eine günstigere Wasserabsorption. Allerdings erfordern sie Laserstrahlen mit niedrigerer Energie und eignen sich daher nicht für alle Anwendungen. Lichtwellen mit 1550 nm setzen auf InGaAs-Detektoren und liefern auch über 200 m Entfernung bei einer Reflexion von 10 Prozent zuverlässige Ergebnisse. Dadurch eignen sie sich für Anwendungen, die hohe Entfernungen erreichen müssen.

Eine Herausforderung der TOF-Technologie ist der Streuverlust des Lichtes: Nur ein kleiner Teil der emittierten Photonen findet den Weg zurück zur aktiven Fläche des Photosensors. Umwelteinflüsse wie Regen oder Staubpartikel in der Luft sowie weitere reflektierende Oberflächen absorbieren einen Teil des Lichtes und reduzieren die Menge der Photonen. Zugleich treffen andere Photonen als Hintergrundrauschen auf die Detektoren und verringern die Messgenauigkeit. Ein optischer Filter, der um die Wellenlänge des Lasers zentriert ist, kann helfen. Vollständig verhindern lässt sich dieses Hintergrundrauschen jedoch nicht. Deshalb sinkt die Genauigkeit des Lidars mit zunehmender Entfernung.

Messen durch Modulieren

Eine Möglichkeit, dieses Problem zu reduzieren, sind FMCW-Lidars. Statt Lichtimpulsen wird hier ein kontinuierlicher, „gechirpter“ Laserstrahl ausgesendet. Das heißt, die Frequenz des Signals wird immer wieder geändert. Auch hier wird der Lichtstrahl von einem Objekt reflektiert und an den Photodetektor zurückgesandt. Entscheidend ist jedoch der Unterschied in der Frequenz des eingehenden im Vergleich zum zeitgleich ausgehenden Signal. Anhand dieses Unterschiedes kann der Lidar den Abstand und die Geschwindigkeit des sich bewegenden Objekts bestimmen.

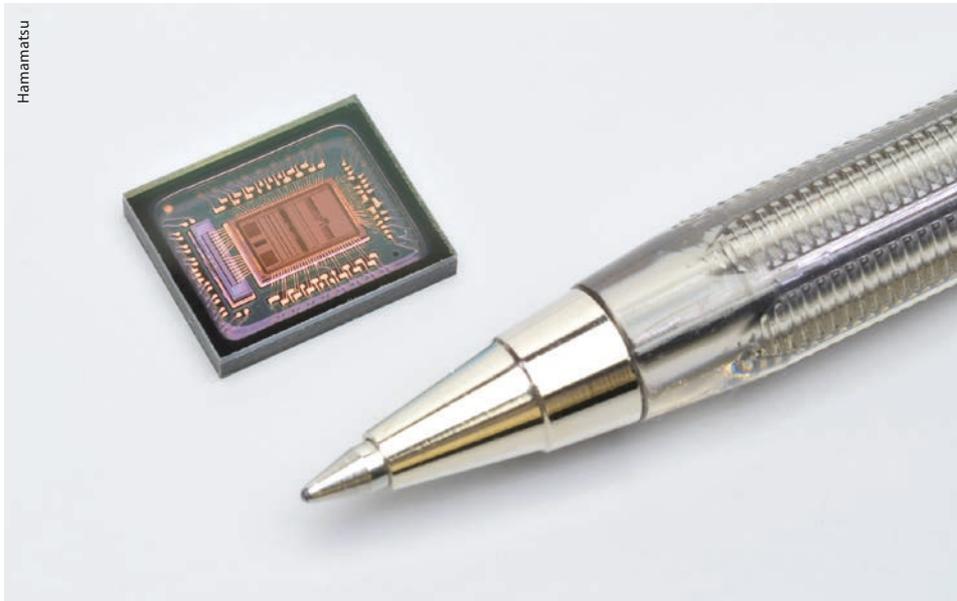
Der Frequenzabgleich nimmt etwas mehr Rechenleistung in Anspruch als eine simple Zeiterfassung. Im Vergleich zu einem TOF-Lidar benötigt das FMCW-Verfahren etwas mehr Zeit, um ein akkurates 3D-Umgebungsmodell zu erstellen. Die Technologie ist zudem relativ neu und daher oft noch sperrig und kostspielig. Auf der anderen Seite sind FMCW-Lidars weniger anfällig für Störgeräusche und können eine höhere Laserleistung nut-



RELIABLE UNDER ALL CONDITIONS.

Heading into the unknown to open new horizons demands reliable tools. Help turn your research goals into reality. Vacuum valve solutions and bellows from VAT provide unfailing reliability and enhanced process safety – under all conditions.





Ein MPPC-Array, auch bekannt als Silizium-Photomultiplier (SiPM), mit Asic von Hamamatsu

zen, ohne die Augen zu gefährden. Bei der Frage nach der besten Lidar-Technologie kommt es also sehr auf die Einsatzszenarien und Rahmenbedingungen an. Ebenso wichtig ist der richtige Photosensor.

Genauigkeit vs. Reichweite?

Im Idealfall sollten Photosensoren messempfindlich sein, um eine große Menge an Photonen aufzunehmen, ohne zu viel Nebengeräuschen zu detektieren. Gerade in automobilen Anwendungen müssen sie schnell und zuverlässig reagieren. Zudem sollten sie sich in großer Menge produzieren lassen, einer ganzen Reihe unterschiedlicher Umweltbedingungen – von Temperaturschwankungen bis zu wechselnden Lichtverhältnissen – trotzen können und kosteneffizient sein. Hier gibt es große Unterschiede zwischen den Systemen: Silizium- und InGaAs-Varianten unterscheiden sich im Preis um etwa den Faktor zehn.

Für alle Photodetektoren gilt: Mit größerem Abstand zum Objekt sinkt die Messgenauigkeit. Doch nicht für alle Arten von Detektoren ist diese Entwicklung gleich.

Einfach und günstig

Eine PIN-Photodiode ist die einfachste und kostengünstigste Art von Photosensor. Auch der Energieverbrauch ist mit einer Betriebsspannung von bis zu zehn Volt gering. Auf kurzen Distanzen ist das Signal stärker, bei geringem Verlust. Temperaturschwankungen beeinträchtigen die Leistung kaum. Der Auslesebereich ist relativ groß, und auch bei starkem Umgebungslicht funktioniert eine PIN-Photodiode meist problemlos. Als Ausleseschaltung kommt ein Transimpedanzverstärker zum Einsatz. Die Verstärkung für die PD ist allerdings ebenfalls gering und liegt bei 1.

Für Anwendungen, in denen das Licht keine weiten Strecken zurücklegen muss, reicht ein PIN-Photodiode-Array aus und bietet das beste Preis-Leistungs-Verhältnis. Die S15158, ein Si-PIN-Photodiode-Array von Hamamatsu Photonics, eignet sich durch die schnelle Ansprechzeit beispielsweise für Entfernungsmessungen zwischen 380 und 1100 Nanometern. Bei 960 nm erreicht sie eine Sensitivität von 0,63 A/W und eine Bandbreite von etwa 25 MHz. Zudem verträgt die

S15158 Betriebstemperaturen zwischen -40 und $+100$ °C.

Für große Reichweiten

Wie der Name bereits verrät, bedienen sich Lawinen-Photodioden (Avalanche Photo Diodes, APD) des Avalanche-Effektes, um eine interne Verstärkung zu erzeugen. Dies ermöglicht Verstärkungen von bis zu 100, was den Sensoren eine größere Reichweite verleiht als PIN-Photodioden. Um Messungenauigkeiten durch Hintergrundgeräuschen zu verhindern, müssen Hersteller jedoch meist zu einem Bandpassfilter greifen. APDs sind sehr temperaturempfindlich und weisen eine Betriebsspannung von 100 bis 200 V auf. Neben Si-APDs gibt es spezielle InGaAs-APDs, für eine Wellenlänge von 1550 nm (G14858-Serie in der Produktpalette von Hamamatsu).

Zwar sind APDs aufwändiger und teurer als PIN-Dioden, für Anwendungen mit größerer Reichweite jedoch nahezu unverzichtbar. Seit einiger Zeit gibt es bei Hamamatsu aber einen dritten Kandidaten im Rennen.

Verlässliche Photozähler

Multi Pixel Photon Counter (MPPC), auch bekannt als Silizium-Photomultiplier (SiPM), bestehen aus einer Reihe von APDs (hier als Channel bezeichnet), die im Geiger-Modus arbeiten. Dadurch gewinnt ein MPPC-Sensor deutlich an Leistung – bis zu einem Faktor 10^6 sind problemlos möglich. Der Einsatz mehrerer parallel geschalteter APDs verhindert zugleich, dass Informationen über die Anzahl der einfallenden Photonen verloren gehen. MPPCs eignen sich dadurch für das Erfassen einzelner Photonen und kommen so auch mit suboptimalen Bedingungen zurecht, etwa bei sehr schwachem Lichteinfall. Sie liefern auf große Entfernungen verlässliche Ergebnisse – bei geringer Reaktionszeit. Bei der Temperaturempfindlichkeit ordnen sich MPPCs zwischen APDs und PIN-Photodioden ein. Und während sich MPPCs ebenso wie PIN-Photodioden oder APDs über einen Transimpedanz-Verstärker schalten lassen, sind auch weniger komplexe Ausleseschaltungen möglich, etwa ein Hochfrequenz-Verstärker.

Für die neue Generation von MPPC-Detektoren hat Hamamatsu die Photonen-Detektions-Effizienz (PDE) bei 905 nm deutlich verbessert. Diese Kombination aus Merkmalen macht MPPC-Photosensoren zu einer attraktiven Alternative für viele automobiler Anwendungen, in denen bislang APD-Sensoren zum Einsatz kamen.

Hohe Reichweite, niedrige Kosten

Zusätzlich will das Unternehmen in naher Zukunft 2D-SPPC-Arrays (SPCC ist die Hersteller-spezifische Bezeichnung für SPAD) auf den Markt bringen. Ebenso wie MPPC-Detektoren können auch diese „Single Pixel Photon Counter“ weite Entfernungen abdecken und zeigen ähnliche Charakteristika im Bereich Reaktionszeit und Temperaturbeständigkeit. Die Systemkosten liegen jedoch deutlich unter denen für eine MPPC-Lösung. Bisher hauptsächlich in der Quantenkommunikation eingesetzt, haben SPPC-Lösungen das Potenzial, die Kosten für Hochleistungs-Lidar-Anwendungen im Automobilbereich deutlich zu senken.

Der Weg zu vollständig autonomen Industrie- und Automobil-Anwendungen ist steinig und weit verzweigt. Um dieser Komplexität gerecht zu werden, bedarf es individuell angepasster Lösungen. Customization statt Standard-Lösungen – diese Devise gilt auch für Lidar-Systeme. Hier bietet Hamamatsu unabhängige Beratung und liefert alle Komponenten aus einer Hand, vom Photodetektor bis zur Laserdiode.

Der Autor

Florian Friedl, Group Leader Automotive & Optoelectronic Components
Hamamatsu Photonics
Deutschland GmbH, Herrsching
Tel.: +49 8152 375 0
info@hamamatsu.de
www.hamamatsu.de

Beschleuniger-Technologie

PiNK[®]

Hochpräzise Beschleunigerstrukturen

UHV-Dipolkammern, bei PiNK Vakuumtechnik präzise verlötet in einem speziell entwickelten Hochtemperatur-Vakuumlötofen. Die produktionstechnische Herausforderung: Flansche und Rippen mit einem extrem dünnwandigen Rohr mit nur 0,3 mm Blechstärke aus Spezial-Edelstahl zu fügen und hochpräzise zu biegen, ohne das Strahlführungsrohr und die angelöteten Bauteile zu beschädigen. Im Endstadium wird daraus eine sehr massearme Struktur, die die notwendigen Voraussetzungen für neue Teilchenforschungsexperimente schafft.

Haben auch Sie höchste Anforderungen an Komponenten und Systeme für Teilchenbeschleuniger? Setzen Sie sich mit uns in Verbindung, wir stehen gerne für weitere Auskünfte zur Verfügung!

In diesen von PiNK Vakuumtechnik produzierten rippenstabilisierten Dipol-Kammern mit aktiver LHe-Kühlung werden im FAIR-Beschleuniger Elementarteilchen auf Kreisbahnen gelenkt.