Das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen berichtet über neue Technologien

Lidar-on-a-Chip

Im Bereich des autonomen Fahrens und der mobilen Robotik ist Lidar (Light Detection and Ranging) eine wichtige Methode zur räumlichen Erfassung der Umgebung zwecks Wegplanung und Kollisionsvermeidung. Hierfür werden heute üblicherweise Lidar-Systeme in Form von Laserscannern verwendet, die auf einer mechanischen Strahlschwenkung mit beweglichen optischen Komponenten beruhen, wie z. B. rotierenden Spiegeln oder in Chips integrierten kippbaren Mikrospiegeln. Aktuell gibt es jedoch auch starke Entwicklungsbemühungen um Lidar-Systeme mit nichtmechanischer Strahlschwenkung, bei denen sämtliche Komponenten in einem einzelnen Chip integriert sind, einem sogenannten photonischen Schaltkreis. Analog zu den schon lange etablierten Phased-Array-Antennen im Radarbereich werden dazu seit einigen Jahren vor allem verschiedene Ansätze basierend auf sogenannten optischen Phased-Arrays (OPA) untersucht. Mit diesen erscheinen in Zukunft ultrakompakte, kostengünstig massenfertigungstaugliche und mechanisch extrem robuste Lidar-Systeme realisierbar.

Das Grundprinzip der Umfelderfassung mittels Lidar besteht darin, einen Laserstrahl in eine bestimmte Richtung auszusenden und die Zeit zu messen, bis das Laserlicht nach der Reflexion an einem Objekt wieder zurückgekehrt ist. Aus der Laufzeit des Lichts wird die Entfernung des Objekts berechnet. Dieser Vorgang wird zehntausende Male pro Sekunde wiederholt, während mit dem Laserstrahl der gewünschte Raumbereich abgetastet wird. Das Ergebnis ist eine Punktwolke, die kontinuierlich aktualisiert wird und gewissermaßen eine dreidimensionale Karte der Umgebung darstellt – oft detailliert genug, um Objekte nicht nur als Hindernis erkennen, sondern auch identifizieren zu können.

Die Methode der Strahlschwenkung spielt hierbei eine besonders wichtige Rolle, da sie maßgeblich mitentscheidend für die Größe, das Gewicht, den Stromverbrauch, die Robustheit, die Scangeschwindigkeit und den abgedeckten Winkelbereich des Lidar-Systems ist. Bei einem Phased-Array nutzt man eine Anordnung einzelner Strahlungsemitter, deren Phasen relativ zueinander eingestellt werden können, um einen Strahl zu formen und seine Richtung zu verändern. Elektronische Phased-Arrays werden schon seit Jahrzehnten im Radar-Bereich zur nicht-mechanischen Schwenkung von Radar-Strahlen eingesetzt. Die Entwicklung von Phased-Arrays für optische Strahlung (Licht) ist jedoch ungleich anspruchsvoller. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass die einzelnen Emitter eines Phased-Arrays idealerweise in Abständen geringer als die halbe Wellenlänge der verwendeten Strahlung angeordnet sein sollten. Somit müssen bei optischen Phased-Arrays komplexe Strukturen im Submikrometerbereich erzeugt werden, während bei elektronischen Phased-Arrays im Radar-Bereich einfacher herstellbare Strukturen im Zentimeterbereich genügen. Zwar enthalten bisher demonstrierte optische Phased-Arrays bereits tausende von Komponenten, wie Laser, Wellenleiter, Strahlteiler, Beugungsgitter, Phasenschieber, Amplitudenregler etc. und können mit gängigen Chipfertigungsverfahren hergestellt werden. Es bestehen jedoch noch einige technische Herausforderungen im Hinblick auf die Herstellung praktisch nutzbarer Lidar-Systeme basierend auf optischen Phased-Arrays.

So wird beispielsweise das Erreichen derart geringer Emitter-Abstände dadurch erschwert, dass in einem dichtgepackten hochintegrierten photonischen Schaltkreis Licht aus einem Wellenleiter in benachbarte Wellenleiter einkoppeln und sich dadurch störend auswirken kann (optisches Übersprechen). Ähnliches gilt für die verbreitet eingesetzten thermooptischen Phasenschieber in Form mikroskopischer elektrischer Heizelemente an den Wellenleitern, mit denen man den Brechungsindex der Wellenleiter verändern und somit Phasenverschiebungen zwischen unterschiedlichen Emittern bewirken kann. Hier kann es in den dichtgepackten photonischen Schaltkreisen zusätzlich zu einem thermischen Übersprechen kommen.

Um auch in größerer Entfernung eine ausreichende Auflösung erzielen zu können, muss der Hauptstrahl eines OPA-basierten Lidar-Chips entsprechend gebündelt sein. Dies kann prinzipbedingt nur durch eine ausreichend große Anzahl an Emittern erreicht werden. So sollte beispielsweise für eine Anwendung im Bereich des autonomen Fahrens die Strahldivergenz weniger als 0,1 Grad betragen, um Objekte noch in 200 m Entfernung identifizieren zu können, wofür Arrays mit mehr als 700 Emittern benötigt werden. Eine Skalierung der demonstrierten Ansätze hin zu derart großen Arrays wird durch unterschiedliche Aspekte erschwert. So steigt mit der Anzahl an Emittern entsprechend auch die Anzahl an Phasenschiebern und weiteren Komponenten, die wiederum mit elektrischen Leiterbahnen kontaktiert werden müssen und komplexere Steuerungselektroniken benötigen.

Im Gegensatz zu den heute verbreitet eingesetzten Lidar-Systemen basierend auf rotierenden Laserscannern ist mit einem OPA-basierten Lidar-System keine 360-Grad-Erfassung der Umgebung mit einem einzelnen Gerät möglich. Denn mit einem ebenen Chip kann man allein aus geometrischen Gründen nicht mehr als 180 Grad erfassen, technisch bedingt sogar deutlich weniger. Zur Erstellung eines Rundumblicks, z. B. im Rahmen des autonomen Fahrens, müssen die Daten einer ausreichenden Anzahl an Lidar-Chips, die an Front, Heck und Seiten des Fahrzeugs montiert sind, computerbasiert fusioniert werden. Die Gesamtkosten sollten dennoch deutlich geringer ausfallen als für einen auf dem Fahrzeugdach montierten herkömmlichen Laserscanner, da langfristig massengefertigte Lidar-Chips zu Preisen im Bereich von 10 Euro für realistisch gehalten werden.

Prinzipiell erscheinen die Herausforderungen bei der Entwicklung von OPA-basierten Lidar-Chips Fachleuten als lösbar. Bis zu einem marktreifen entsprechenden Lidar-System, das die Anforderungen für autonome Fahrzeuge voll erfüllt, sind jedoch noch Entwicklungsarbeiten in größerem Umfang erforderlich, die schätzungsweise noch 5 bis 15 Jahre in Anspruch nehmen könnten.

Dr. David Offenberg