

Non-Line-of-Sight Imaging

Systeme zum Non-Line-of-Sight (NLOS) Imaging sollen quasi „um die Ecke sehen“ und Objekte aufnehmen können, die sich außerhalb ihres direkten Blickfeldes befinden. Ihre technische Realisierung könnte insbesondere auf der computergestützten Auswertung von Streulicht basieren. Sie werden erforscht, weil man sich von ihnen in vielen Anwendungsbereichen ganz neue Möglichkeiten erwartet, vom autonomen Fahren bis hin zur militärischen Aufklärung.

Die Besonderheit der hier betrachteten Ansätze des NLOS Imaging besteht darin, dass sie auf mehrfach diffus gestreutem Licht beruhen. Dabei wird das hinter einem Hindernis verborgene Objekt indirekt mit Lichtpulsen beleuchtet, die dazu auf eine Fläche (Wand, Boden, Zimmerdecke etc.) neben dem Objekt gerichtet werden. Ein Teil des Lichts wird von dieser Fläche in Richtung des Objekts gestreut, von dem es wiederum über die Fläche zurück durch weitere Streuungen zu einem speziellen Detektor neben der Lichtquelle gelangt. Mit einer konventionellen Abbildungsoptik kann aus diesem Streulicht kein Bild des Objekts erzeugt werden. Allerdings trägt auch diffus gestreutes Licht Informationen über die Form von mit ihm wechselwirkenden Objekten und die Geometrie ihrer Umgebung. Zudem ist der Informationsgehalt prinzipiell umso höher, je häufiger das Licht auf seinem Weg von der Lichtquelle bis zum Detektor gestreut worden ist.

Um diese Informationen extrahieren und daraus schließlich Bilder des verborgenen Objekts rekonstruieren zu können, muss der zeitliche Ablauf der Lichtausbreitung präzise analysiert werden. Zur Beleuchtung werden daher oft Ultrakurzpulslaser verwendet, die extrem kurze Lichtpulse mit einer Dauer im Bereich von Billiardsteln einer Sekunde (Femtosekunden) liefern. Die nach Aussendung eines Lichtpulses nacheinander am Detektor über unterschiedliche Wege eintreffenden Lichtreflexe werden dann mit hoher Zeitauflösung detektiert, um ihre jeweiligen Laufzeiten zu messen. Die Detektoren müssen dabei nicht nur schnell, sondern auch sehr empfindlich sein, weil die Intensität der Lichtreflexe aufgrund der

mehrfachen diffusen Streuung um mehrere Größenordnungen geringer ist als die des ursprünglich ausgesandten Lichtpulses. Aus den so gewonnenen Daten gilt es dann, mit geeigneten mathematischen Verfahren und entsprechenden Computeralgorithmen die benötigten räumlichen Informationen herauszufiltern. Die meisten bisher demonstrierten Ansätze basieren dabei auf Verfahren der sogenannten Rückprojektion, die in ähnlicher Form auch in der Computertomographie zum Einsatz kommen. Dabei wird jeder detektierte Lichtreflex u. a. anhand seiner Laufzeit zurückgeführt auf eine Gruppe von Raumpunkten, an denen die Lichtstreuungen potenziell stattgefunden haben könnten. Die Auswertung einer großen Anzahl an Lichtreflexen kann als eine Art Abstimmung unter diesen potenziellen Punkten aufgefasst werden, bei der die Punkte mit den meisten Zuordnungen schließlich als Oberfläche und somit Rekonstruktion der darzustellenden Objekte aufgefasst werden.

Zukünftige NLOS-Imaging-Systeme könnten in einer Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz kommen, in denen eine Bildgebung mit direkter Sichtlinie unzureichend, technisch unmöglich oder gefährlich ist. Im Automobilbereich könnten sie in Fahrerassistenzsystemen zur Kollisionsvermeidung eingesetzt werden, indem sie z. B. vor Kreuzungen oder Ausfahrten für den Fahrer noch nicht sichtbare querende Verkehrsteilnehmer detektieren. Weitere Anwendungsmöglichkeiten fänden sich beispielsweise in der industriellen Qualitätssicherung im Hinblick auf eine optische Inspektion von Bauteilen mit verborgenen Oberflächen oder im Rahmen von Sicherheitstechnischen Prüfungen wie der Inspektion von Flugzeugtriebwerken – hierbei wäre sogar eine Bildgebung im laufenden Betrieb vorstellbar. Ebenfalls vorstellbar wäre ein Einsatz bei Erkundungsmissionen, wie z. B. von Schiffswracks oder Meereshöhlen. In einem aktuellen Projekt der NASA wird NLOS Imaging als Möglichkeit zur Untersuchung von Höhlen auf dem Mond von einem Satelliten aus untersucht. Ein weiteres Anwendungsfeld für NLOS Imaging stellt die medizinische Bildgebung dar,

wo endoskopische Anwendungen denkbar wären, bei denen im Körper um Hindernisse oder in schwer einsehbare Bereiche geschaut wird. Im militärischen Kontext könnten NLOS-Imaging-Systeme zu einer Erweiterung des Lagebewusstseins genutzt werden. Zweifelsfrei würde die Fähigkeit, um die Ecke sehen zu können, einen enormen taktischen Vorteil in vielen militärischen Einsatzszenarien darstellen. So könnten beispielsweise bei Einsätzen im urbanen Bereich mögliche Angreifer entdeckt werden, die sich außerhalb der Sichtlinie hinter Häuserecken, Mauern, Fahrzeugen usw. verstecken. Denkbar wäre es auch, Personen in Innenräumen zu detektieren, z. B. von der Straße aus durch höherliegende Fensteröffnungen oder innerhalb von Gebäuden aus der Deckung neben geöffneten Türen.

NLOS Imaging befindet sich aktuell noch in einem sehr frühen Forschungsstadium, in dem die prinzipielle Machbarkeit experimentell demonstriert worden ist. Die Auflösung der Rekonstruktionen von Objekten außerhalb der Sichtlinie ist in der Regel sehr gering, ihre Darstellung oft eher schemenhaft. In vielen demonstrierten Fällen können Objekte zwar detektiert, anhand der Rekonstruktion aber nicht eindeutig identifiziert werden. Eine brauchbare Rekonstruktion gewöhnlicher Räume mit mehreren Objekten, bewegten Personen oder unterschiedlichen Oberflächen ist derzeit technisch völlig unmöglich und erscheint allenfalls sehr langfristig realisierbar. Was das tatsächlich mögliche Potenzial von NLOS Imaging betrifft, herrscht z. B. noch Unklarheit darüber, welcher Detaillierungsgrad sich bei der Rekonstruktion verborgener Objekte maximal erreichen lässt oder ob Objekte auch über mehr als eine streuende Fläche (also um mehrere Ecken hinweg) brauchbar rekonstruiert werden könnten. Systeme zur Kollisionsvermeidung im Automobilbereich erscheinen dagegen mittelfristig realisierbar, weil hier eine bloße Detektion von verborgenen Objekten ausreicht. Gleiches gilt für Systeme, mit denen sich die Bewegung eines Objekts außerhalb der Sichtlinie verfolgen ließe.

Dr. David Offenber