

Menschenbilder – Umgebungswahrnehmung eines automatisierten Fahrzeuges

Das erste Bild, welches in meinem Kopf auftauchte, nachdem ich das ProScientia Thema 2024 – Menschenbilder - erfahren hatte, war ein Gemälde von Vincent van Gogh. „Warum genau dieses Bild?“, fragte ich mich. Das Gemälde zeigt einen Mann, gekleidet in einem graugrünen Mantel und einer blau-schwarzen Fellmütze. Eine Gesichtseite des Mannes, dort, wo man sein Ohr vermuten würde, ist von einer weißen Bandage verdeckt. Der Blick ist ruhig, unaufgeregt, aber leicht apathisch. Das Gemälde ist ein Selbstporträt Van Goghs – mithilfe eines Spiegels gemalt, nachdem er sich 1888 das Ohr oder zumindest einen Teil davon selbst abschnitt oder es abgeschnitten wurde. Was genau zur Verstümmelung führte, ist bis heute nicht eindeutig geklärt. Durch den Spiegel wurde die betroffene Seite vertauscht: im Bild zierte der Verband die rechte Gesichtseite, tatsächlich handelte es sich jedoch um das linke Ohr. Die Antwort auf meine Frage scheint nun einfach: ein Selbstporträt – das Menschenbild schlechthin. Menschenbilder in der Kunst gibt es viele. Als wesentlich jünger lässt sich jene Technologie datieren, mithilfe derer wir heute tagtäglich etliche Menschenbilder selbst anfertigen oder anfertigen lassen: die Fotografie. Eines der ersten fotografischen Menschenbilder entstand 1839 durch Robert Cornelius, ebenso ein Selbstporträt - ein Selfie. Damals steckte die Fotografie noch in den Kinderschuhen, erst wenige Jahre zuvor entstanden die ersten Fotos überhaupt – heute bekannt als das älteste erhaltene Foto ist „Blick aus dem Arbeitszimmer von Le Gras“, 1826. Doch auch andere Technologien sollten nachfolgend eine regelrechte Revolution durch neuartige „Menschenbilder“ einleiten, so zum Beispiel das erste Röntgenbild 1895, welches die Handknochen einer Frau inklusive ihrem Ehering zeigen - die Hand Berta Röntgens, Ehefrau von Wilhelm Conrad Röntgen. Menschenbilder müssen heute wie damals keinesfalls der Realität entsprechen. Animationen, Computergrafik oder Künstliche Intelligenz erstellen ebenso Menschenbilder. Im Vordergrund der Menschenbilder steht die Darstellung für uns Menschen. Wir Menschen nehmen Menschenbilder hauptsächlich durch unseren Sehsinn wahr. Unsere Kameras sind unsere Augen. Doch was ändert sich an dem Verständnis eines Menschenbildes, wenn die Darstellung nicht mehr für uns Menschen ist, sondern für eine Maschine? Wie sieht ein automatisiertes Fahrzeug uns Menschen? Wie erkennt es uns am Zebrastrifen? Was sind die Augen des Fahrzeuges?

Die Umgebungswahrnehmung eines Fahrzeuges ist so vielfältig wie unsere Sinne. Wenn auch manchmal weniger bewusst, setzen wir in einer realen Situation im Gegensatz zum Betrachten eines Gemäldes oder einer Fotografie nicht allein unsere Augen für die Wahrnehmung der Umgebung ein. Unsere anderen Sinne spielen eine wesentliche Rolle. Je mehr wir davon einsetzen können, umso genauer wird unser Eindruck – unser inneres Bild von der Situation. Ebenso bedient sich ein Fahrzeug verschiedenster Sensoren, um eine möglichst genaue Wahrnehmung der Umgebung zu erreichen. Generell werden bei der Sensorik für Fahrzeuge zwischen zwei Arten unterschieden: aktive und passive Sensoren. Aktive Sensoren senden ein Signal aus, welches von der Umgebung verändert wird, z.B. durch Reflexion an Objekten, und dessen Veränderung gemessen wird. Durch die Differenz von gesendetem und empfangenen Signal lassen sich Rückschlüsse über die Umgebung ziehen. Ein Beispiel dafür ist ein Ultraschallsensor, welcher durch die Abstandsmessung mittels Ultraschallsignalen das Einparken erleichtert. Die Distanz ergibt sich aus der Dauer zwischen gesendetem und empfangenem, reflektiertem Signal. Je näher ein Objekt, desto eher wird die Reflexion des eigenen Signals vom Sensor gemessen. Weitere wichtige aktive Sensoren sind Radar- und Lidarsensoren, auf welche später noch genauer eingegangen wird. Im Gegensatz dazu, nehmen passive Sensoren die Umgebung auf, ohne selbst aktiv Signale zu senden. Beispiele dafür sind Kameras, welche Licht aufnehmen. Ähnlich dazu

eine Wärmebildkamera, welche Infrarotenergie von Gegenständen misst. Auch Nachrichtenkommunikation spielt bei der Umgebungswahrnehmung von Fahrzeugen eine entscheidende Rolle. Das Senden von Nachrichten ermöglicht die Umgebungswahrnehmung von anderen Verkehrsteilnehmern, das Empfangen solcher Nachrichten trägt zur eigenen Umgebungswahrnehmung bei.

Radio Detection and Ranging (Radar): Ein Radar emittiert eine elektromagnetische Welle, welche sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Sollte die Welle auf Objekte treffen, wird sie reflektiert und Teile davon erreichen möglicherweise den Sensor. Der zeitliche Abstand zwischen Senden und Empfangen

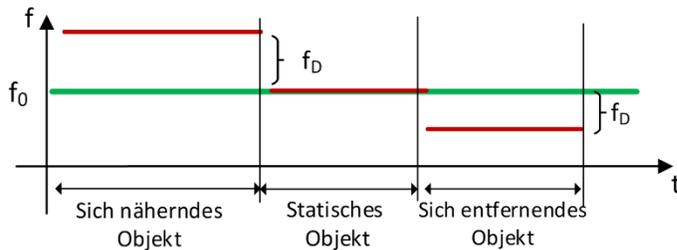


Abbildung 1: Signal (grün) und empfangene Signalreflektion (rot) eines CW-Radars für ein sich näherndes, statisches und sich entfernendes Objekt.

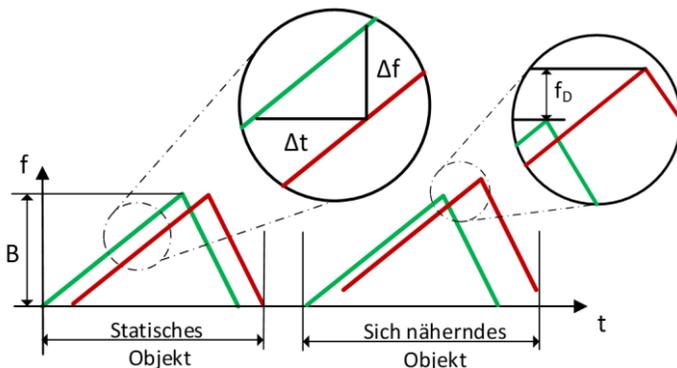


Abbildung 2: Signal (grün) und empfangene Signalreflektion (rot) eines FMCW-Radars für ein statisches und sich näherndes Objekt.

gibt Aufschluss über die Distanz des Objekts. Je nach Modulation der Welle unterscheidet man zwischen unmodulierten (continuous wave - CW) Radaren und frequenzmodulierten (frequency modulated continuous wave - FMCW) Radaren. Beim CW-Radar ist die Welle von konstanter Amplitude und Frequenz (f_0). Das empfangene Signal weist bei Objekten, welche sich relativ zum Radar nicht bewegen, dieselbe Frequenz auf. Bewegen sich Objekt oder Radar und der Abstand zwischen beiden verringert sich, dann ist die Frequenz des empfangenen Signals höher als jene des gesendeten Signals. Umgekehrt verhält sich die Frequenz bei einer Entfernungserhöhung (siehe Abbildung 1). Die Frequenzdifferenz (f_D), die sogenannte Dopplerfrequenz, ist proportional zur radialen Geschwindigkeit. Derselbe Effekt, der Dopplereffekt, tritt ein, wenn ein Krankenwagen mit aktivem Signalthorn auf uns zu bzw. von uns

wegfährt: Signalwellen – in diesem Fall akustische Wellen – werden gestaucht bzw. gedehnt, benannt nach dem österreichischen Mathematiker und Physiker Christian Doppler. Da CW-Radare daher nur Entfernungsänderungen wahrnehmen können, aber keine absoluten Distanzen messen können, finden sich ihre Anwendungsbereiche vor allem bei Geschwindigkeitsmessungen im Sport, im Verkehr (Radarkasten) oder als Bewegungsmelder. Ein Fahrzeug benötigt zur Umgebungswahrnehmung FMCW-Radare, welche gepulste frequenzmodulierte Signale aussenden, z.B. in Form eines Sägezahnes (siehe Abbildung 2). Diese Pulse werden „Bursts“ genannt. Damit kann nicht nur die radiale Geschwindigkeit zwischen Radar und Objekt, sondern auch die Distanz ermittelt werden. Dabei ist die zeitliche Differenz (Δt) proportional zur Distanz und die Dopplerfrequenz (f_D) proportional zur Geschwindigkeit. Neben dem Einsatz im Fahrzeug, z.B. als Tempomat mit Abstandsregelung, finden FMCW-Radare auch Einsatz in Flugzeugen (Höhenmessung), Schiffen (Rundradar) oder Industrie (Füllstandsmessung).

Light detection and ranging (Lidar): Ähnlich dem Radar – Senden und Empfangen von selbst generierten Signalen und Ermittlung der Zeitdifferenz zur Bestimmung der Entfernung – arbeitet auch der Lidar, jedoch mit gepulstem infrarotem Licht, welches sich wiederum mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Um das benötigte Licht zu erzeugen, besteht ein Lidar aus einer bis vielen (n) Laserdioden, welches ihr

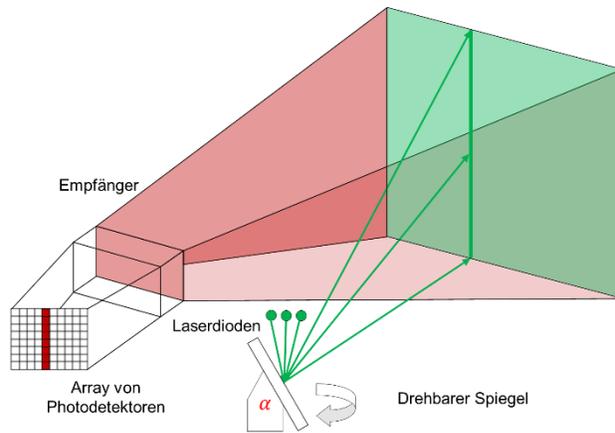


Abbildung 1: Signal (grün) und Signalreflexion (rot) eines rotierenden Lidarsensors.

Licht - einen gepulsten Laserstrahl - auf einen drehbaren Spiegel „schießt“ (siehe Abbildung 3). Von diesem Spiegel werden die Strahlen Richtung Szenerie gelenkt. Treffen die Strahlen auf ein Objekt, werden sie reflektiert. Eventuell werden Teile der Signalreflexionen wieder zurück zum Lidar gelenkt, welche von einem Feld aus Photodetektoren detektiert werden können. Über eine Laufzeitmessung zwischen gesendetem und empfangenem Puls wird die Distanz des reflektierenden Objekts bestimmt. Diese einmalige Messung aller n -Laserstrahlen, ein Scan, ergibt kein vollständiges Bild, sondern lediglich eine vertikale Linie bestehend aus n Distanzwerten.

Um einen größeren Bereich abdecken zu können, bedarf es dem Spiegel. Er rotiert um eine Position weiter, zu einer neuen Scanposition, ein neuer Laserpuls wird erzeugt und neue Distanzwerte können gemessen werden. Je nach Bauart und Konfiguration sind verschieden große Scanwinkel, auch bis 360° (α), möglich. Ein Bild, eine sogenannte Punktwolke, besteht aus vielen einzelnen Scans. Da diese sequenziell durchgeführt werden, ist die finale Punktwolke keine Momentaufnahme, sondern ein über einen gewissen Zeitraum erstelltes Bild der Umgebung. Während die Anzahl der Laserdioden die vertikale Auflösung bestimmen, bestimmt der maximale Scanwinkel sowie die Anzahl der Scans die horizontale Auflösung. Beispielhafte Werte für einen Lidar am Fahrzeug sind 64 Laserdioden und 1024 Scanpositionen auf 360° . Um eine komplette Rundumsicht erzeugen zu können, werden je nach Anzahl der Scanpositionen zwischen 50ms und 100ms benötigt. 360° -Lidarsensoren sind üblicherweise am Dach eines Fahrzeugs montiert, sodass das Fahrzeug selbst nicht unnötig das Sichtfeld einschränkt. Die resultierende Point Cloud besteht im vorangegangenen Beispiel aus 64×1024 Bildpunkten, wobei jeder Bildpunkt die gemessene Distanz zum Lidarsensor wiedergibt.

Radar- und Lidarsensoren sind sich sehr ähnlich: sie messen Distanzen auf Basis von Laufzeitmessungen von Signalen, welche sie aktiv erzeugen. Während ein Radar elektromagnetische Wellen verwendet, greift ein Lidar auf infrarotes Licht zurück. Zuverlässige Umgebungswahrnehmung im Fahrzeug kann nicht von einem Sensor oder Sensortyp allein erreicht werden. Während beispielsweise Lidarsensoren Stärken in der Präzision und Auflösung haben, sind sie anfällig für Störungen durch Regen/Schnee, da Tropfen/Flocken das Licht reflektieren können. Zudem sind sie sehr teuer. Genau diese Witterungsrobustheit und geringe Kosten sind die Stärken des Radars. Jedoch können dessen Bilder nicht eine so hohe Präzision und Auflösung aufweisen. Oftmals können mehrere Sensortypen am Fahrzeug an unterschiedlichen Stellen befestigt werden, um erstens, die Robustheit zu erhöhen, und zweitens einen größeren Bereich abdecken zu können. So sind Ultraschallsensoren, welche zum Einparken verwendet werden, in mehrfacher Ausführung an den Stoßstangen angebracht. Um für eine Vielzahl von Verkehrsszenarien gewappnet zu sein, ist ein Mix von verschiedensten Sensortypen und Sensoren notwendig.