

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
08. Oktober 2020 (08.10.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/201337 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01S 7/35 (2006.01) G01S 13/931 (2020.01)
G01S 13/34 (2006.01) G01S 13/26 (2006.01)
G01S 13/58 (2006.01) G01S 7/288 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/059226

(22) Internationales Anmeldedatum:
01. April 2020 (01.04.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 204 914.1
05. April 2019 (05.04.2019) DE

(71) Anmelder: ZF FRIEDRICHSHAFEN AG [DE/DE]; Lö-
wentaler Straße 20, 88046 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder: ENGELS, Florian; Eichenstraße 5, 88239 Wan-
gen im Allgäu (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,

(54) Title: DETERMINATION OF AN UNAMBIGUOUS RELATIVE SPEED BY MEANS OF MODEL ADJUSTMENT

(54) Bezeichnung: BESTIMMUNG EINER EINDEUTIGEN RELATIVGESCHWINDIGKEIT MITTELS MODELLANPASSUNG

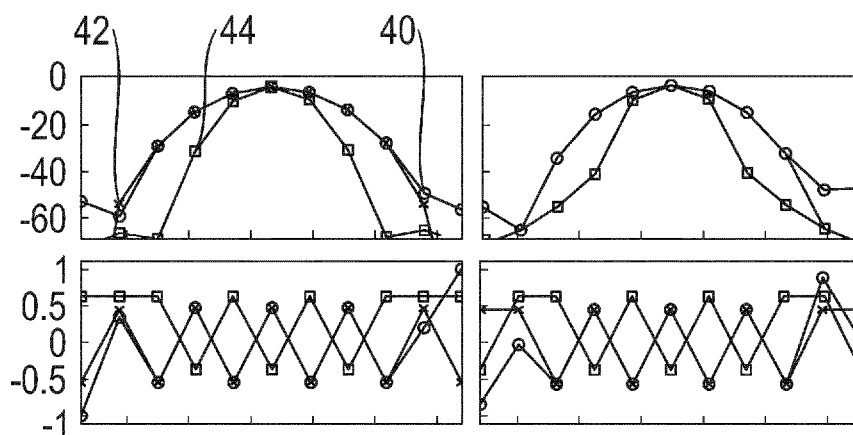


Fig. 6

(57) **Abstract:** The present invention relates to an apparatus (16) for determining a relative speed of an object (12), having: an input interface (22) for receiving preprocessed sensor data from a frequency-modulated multi-pulse radar sensor (14), wherein the sensor data comprise a frequency spectrum of an object in an environment of a vehicle (18); an evaluation unit (24) for determining a position of a peak inside the frequency spectrum on the basis of the sensor data; a description unit (26) for determining a description parameter which describes a shape of the frequency spectrum in an immediate environment of the position of the peak; a modelling unit (28) for adjusting a predefined model on the basis of the determined position of the peak and for determining a plurality of model values on the basis of the adjusted model, wherein the model values each describe a shape of a frequency spectrum for a speed hypothesis; a comparison unit (30) for comparing the description parameter with the plurality of model values and for selecting a model value with maximum correspondence to the description parameter; and an output unit (32) for outputting the speed hypothesis of the selected model value as the relative speed of the object. The present invention also relates to a system (10) and to a method for determining a relative speed of an object (12).

(57) **Zusammenfassung:** Bestimmung einer eindeutigen Relativgeschwindigkeit mittels Modellanpassung Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung (16) zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts (12), mit: einer Eingangsschnittstelle (22)



SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

zum Empfangen von vorverarbeiteten Sensordaten eines frequenzmodulierten Multipuls-Radarsensors (14), wobei die Sensordaten ein Frequenzspektrum eines Objekts in einem Umfeld eines Fahrzeugs (18) umfassen; einer Auswerteeinheit (24) zum Ermitteln einer Position eines Hochpunkts innerhalb des Frequenzspektrums basierend auf den Sensordaten; einer Beschreibungseinheit (26) zum Ermitteln eines Beschreibungsparameters, der eine Form des Frequenzspektrums in einer unmittelbaren Umgebung der Position des Hochpunkts beschreibt; einer Modellierungseinheit (28) zum Anpassen eines vordefinierten Modells basierend auf der ermittelten Position des Hochpunkts und zum Ermitteln mehrerer Modellwerte basierend auf dem angepassten Modell, wobei die Modellwerte jeweils eine Form eines Frequenzspektrums für eine Geschwindigkeitshypothese beschreiben; einer Vergleichseinheit (30) zum Vergleichen des Beschreibungsparameters mit den mehreren Modellwerten und zum Auswählen eines Modellwertes mit maximaler Übereinstimmung mit dem Beschreibungsparameter; und einer Ausgabeeinheit (32) zum Ausgeben der Geschwindigkeitshypothese des ausgewählten Modellwertes als Relativgeschwindigkeit des Objekts. Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein System (10) und ein Verfahren zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts (12).

Bestimmung einer eindeutigen Relativgeschwindigkeit mittels Modellanpassung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts. Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein System sowie ein Verfahren und ein Computerprogrammprodukt zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts.

Moderne Fahrzeuge (Autos, Transporter, Lastwagen, Motorräder etc.) verfügen über eine Vielzahl von Sensoren, die dem Fahrer Informationen zur Verfügung stellen und einzelne Funktionen des Fahrzeugs teil- oder vollautomatisiert steuern. Ein wichtiges Sensorprinzip für die Erfassung der Umgebung im Bereich der autonom und teilautonom fahrenden Fahrzeuge ist dabei die Radartechnik. Radarsensoren im Fahrzeugbereich umfassen typischerweise mehrere Sende- und Empfangselemente, die virtuelle Kanäle des Radarsensors (Rx/Tx-Antennenpaare) bilden. In jedem Empfangskanal erfolgt ein Heruntermischen in das Basisband, eine Filterung und anschließend eine Digitalisierung des so erhaltenen Basisbandsignals. Durch eine Vorverarbeitung der Basisbandsignale für jeden Empfangskanal kann eine Detektion und Lokalisierung eines Ziels, also eines Objekts in einem Sichtfeld des Radarsensors erfolgen.

Die meisten heutzutage im Fahrzeugbereich eingesetzten Radarsensoren arbeiten als Multipuls-Radarsensoren (auch als Chirp Sequence Radarsensoren bezeichnet), bei denen in kurzen Abständen mehrere frequenzmodulierte Pulse ausgesendet werden. Die Vorverarbeitung kann dabei insbesondere eine Fouriertransformation oder Optimalfilterung der Basisbanddaten für einen einzelnen Radarpuls (sog. schnelle Vorverarbeitung, fast-time processing), eine weitere Fouriertransformation für mehrere Pulse (sog. langsame Vorverarbeitung, slow-time processing), ein Beamforming, eine Signalleistungsdetektion, beispielsweise basierend auf constant-force-alarm-rate Verfahren, sowie eine Hochpunktbestimmung umfassen.

Eine Herausforderung für Multipuls-Radarsensoren mit konstanter Pulswiederholungszeit (pulse repetition time, PRT) besteht darin, dass diese auf Messungen einer Relativgeschwindigkeit (bzw. einer relativen Radialgeschwindigkeit innerhalb des

sogenannten Hauptintervalls beschränkt sind. Lediglich innerhalb dieses Hauptintervalls zwischen $-v_m/2$ und $+v_m/2$ kann eine maximale eindeutige Geschwindigkeit

$$v_m = \frac{1}{2Kt_r}$$

gemessen werden, mit der Wellenzahl K und der Pulswiederholungszeit t_r . Dies bedeutet, dass Geschwindigkeiten im Abstand v_m auf denselben Wert innerhalb des Hauptintervalls abgebildet werden. Aktuelle Radarsensoren im Radarbereich weisen dabei typischerweise Werte von v_m im Bereich von 20 bis 60 m/s auf, sodass es zu mehrdeutigen Geschwindigkeitsmessungen kommen kann. Dies bedeutet, dass gemessene Geschwindigkeiten um Vielfache von v_m von der tatsächlichen Geschwindigkeit abweichen können.

Ein Ansatz zum Lösen dieser Problematik liegt in der Verwendung unterschiedlicher Pulswiederholungszeiten, entweder zwischen Pulsen oder von einem kohärenten Verarbeitungsintervall (coherent processing interval, CPI) zum folgenden. Hierdurch kann die maximale eindeutige Geschwindigkeit erhöht werden. Ein Nachteil der Verwendung unterschiedlicher Pulswiederholungszeiten zwischen aufeinanderfolgenden Intervallen besteht darin, dass eine Latenzzeit vergrößert wird und eine Verknüpfung zwischen Detektionen in mehreren Intervallen notwendig wird. Dies ist insbesondere im Fall mehrerer und/oder schnell bewegter Ziele, wie er regelmäßig im Fahrzeugbereich auftritt, fehleranfällig. Ansätze, bei denen die Pulswiederholungszeit zwischen Pulsen innerhalb desselben Intervalls variiert wird, sind grundsätzlich nicht für eine Verarbeitung mit einer schnellen Fouriertransformation (FFT) geeignet und können Nebenkeulen im Geschwindigkeitsspektrum aufweisen. Gestaffelte Puls-zu-Puls-Verfahren, bei denen die Pulswiederholungszeit in aufeinanderfolgenden Intervallen variiert wird, haben den Nachteil, dass eine Zieldetektion lediglich basierend auf der Hälfte der Pulse durchgeführt werden kann. Hierdurch wird der Gewinn vermindert und eine Verwendung von sogenannten slow-time Multiple Input Multiple Output (MIMO)-Verfahren erschwert.

Im Zusammenhang mit der eindeutigen Messung einer Relativgeschwindigkeit wird in der DE 10 2014 212 280 A1 ein Radarmessverfahren offenbart. Insbesondere wird ein FMCW-Radarsensor sowie ein Verfahren zur Bestimmung einer Relativgeschwindigkeit eines Radarziels offenbart, bei dem eine FMCW-Radarmessung mit

einem Sendesignal ausgeführt wird, dessen Modulationsmuster zeitlich ineinander verschachtelte Sequenzen von Rampen umfasst. Aus den Basisbandsignalen wird gesondert für jede der Sequenzen ein zweidimensionales Spektrum berechnet. Aus einer Position eines Hochpunkts (Peaks) in wenigstens einem zweidimensionalen Spektrum der Basisbandsignale werden Werte für die Relativgeschwindigkeit eines Radarziels bestimmt, die mit einer vorbestimmten Geschwindigkeit periodisch sind. Eine Phasenbeziehung zwischen Spektralwerten, die an jeweils der gleichen Position in den gesondert berechneten zweidimensionalen Spektren erhalten werden, wird überprüft auf Übereinstimmung mit für mehrere der bestimmten periodischen Werte der Relativgeschwindigkeit erwarteten Phasenbeziehungen. Aus den bestimmten, periodischen Werten der Relativgeschwindigkeit wird ein Schätzwert für die Relativgeschwindigkeit des Radarziels ausgewählt.

Nachteilig an bisher bekannten Verfahren ist die vergleichsweise aufwendige Verarbeitung sowie der damit einhergehende Bedarf an Rechenleistung. Zudem bedingen die bisherigen Ansätze zumeist einen Verlust an Auflösung.

Ausgehend hiervon stellt sich der vorliegenden Erfindung die Aufgabe, einen Ansatz zum eindeutigen Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts bereitzustellen. Insbesondere soll es ermöglicht werden, eine eindeutige Geschwindigkeitsmessung durchzuführen, ohne dass eine wesentlich höhere Rechenleistung benötigt wird und/oder die Sensitivität und/oder Reaktionszeit vermindert wird.

Zum Lösen dieser Aufgabe betrifft die Erfindung in einem ersten Aspekt eine Vorrichtung zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts, mit:

- einer Eingangsschnittstelle zum Empfangen von vorverarbeiteten Sensordaten eines frequenzmodulierten Multipuls-Radarsensors, wobei die Sensordaten ein Frequenzspektrum eines Objekts in einem Umfeld eines Fahrzeugs umfassen;

- einer Auswerteeinheit zum Ermitteln einer Position eines Hochpunkts innerhalb des Frequenzspektrums basierend auf den Sensordaten;

- einer Beschreibungseinheit zum Ermitteln eines Beschreibungsparameters, der eine Form des Frequenzspektrums in einer unmittelbaren Umgebung der Position des Hochpunkts beschreibt;

einer Modellierungseinheit zum Anpassen eines vordefinierten Modells basierend auf der ermittelten Position des Hochpunkts und zum Ermitteln mehrerer Modellwerte basierend auf dem angepassten Modell, wobei die Modellwerte jeweils eine Form eines Frequenzspektrums für eine Geschwindigkeitshypothese beschreiben;
einer Vergleichseinheit zum Vergleichen des Beschreibungsparameters mit den mehreren Modellwerten und zum Auswählen eines Modellwertes mit maximaler Übereinstimmung mit dem Beschreibungsparameter; und
einer Ausgabeeinheit zum Ausgeben der Geschwindigkeitshypothese des ausgewählten Modellwertes als Relativgeschwindigkeit des Objekts.

In einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein System, insbesondere ein Automotive-Radarsystem, zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts, mit:

einem frequenzmodulierten Multipuls-Radarsensor zum Erfassen eines Objekts in einer Umgebung eines Fahrzeugs mit einer Vorverarbeitungseinheit zum Vorverarbeiten eines Signals eines Empfangskanals des Multipuls-Radarsensors; und
einer Vorrichtung wie zuvor beschrieben.

Weitere Aspekte der Erfindung betreffen ein entsprechendes Verfahren und ein Computerprogrammprodukt mit Programmcode zum Durchführen der Schritte des Verfahrens, wenn der Programmcode auf einem Computer ausgeführt wird, sowie ein Speichermedium, auf dem ein Computerprogramm gespeichert ist, das, wenn es auf einem Computer ausgeführt wird, eine Ausführung des hierin beschriebenen Verfahrens bewirkt.

Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen beschrieben. Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen. Insbesondere können die Vorrichtung, das System, das Verfahren und das Computerprogrammprodukt ent-

sprechend der für die Vorrichtung und das System in den abhängigen Ansprüchen beschriebenen Ausgestaltungen ausgeführt sein.

Erfindungsgemäß wird in einem Multipuls-Radarsensorsystem eine Unterscheidung zwischen mehreren Geschwindigkeitshypothesen durch eine Anpassung eines Modells im Bereich eines Hochpunkts vorgeschlagen. Es werden Daten eines frequenzmodulierten Multipuls-Radarsensors nach der Vorverarbeitung empfangen. In einem Frequenzspektrum wird ein Hochpunkt ermittelt. Dieser Hochpunkt wird mit mehreren aus einem Modell ermittelten Hochpunkten, die verschiedenen Geschwindigkeitshypothesen entsprechen, verglichen. Ausgehend von dem Vergleich wird diejenige Geschwindigkeitshypothese ausgewählt, bei der die geringste Abweichung zwischen Modell und Sensordaten besteht. Insoweit wird erfindungsgemäß ausgenutzt, dass sich die Form von Hochpunkten in einem Frequenzspektrum sowohl in der Geschwindigkeitsdimension als auch in der Entfernungsdimension für verschiedene Geschwindigkeiten unterscheiden. Durch einen Vergleich mit einer Modellierung kann daher die Mehrdeutigkeit in der Geschwindigkeitsmessung aufgelöst werden und eine eindeutige Relativgeschwindigkeit bestimmt werden.

Im Vergleich zu bisherigen Ansätzen wird insoweit eine eindeutige Geschwindigkeitsmessung ermöglicht. Es ist nicht erforderlich, die Pulswiederholungszeit anzupassen. Eine einfache Verarbeitung der Radarsensordaten bleibt erhalten. Es ergibt sich eine zuverlässige, eindeutige Messung der Relativgeschwindigkeit eines Objekts.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Modellierungseinheit zum Anpassen des vordefinierten Modells und zum Ermitteln der mehreren Modellwerte basierend auf einer Nachschlagetabelle mit vorberechneten Modellwerten für verschiedene Geschwindigkeitshypothesen für unterschiedliche Positionen von Hochpunkten ausgebildet. Die Berechnung des vordefinierten Modells kann einmalig erfolgen. Die Resultate können in einer Nachschlagetabelle gespeichert werden. Dies hat den Vorteil, dass nicht für jede Messung eine aufwendige Berechnung durchgeführt werden muss. Eine effiziente Datenverarbeitung wird sichergestellt. Zudem wird eine schnelle Berechenbarkeit erreicht.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung umfasst die unmittelbare Umgebung der Position des Hochpunkts eine vordefinierte Anzahl an diskreten Werten. Es hat sich herausgestellt, dass die Verwendung einer vergleichsweise geringen Anzahl an diskreten Werten eine ausreichende Genauigkeit hinsichtlich der Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Geschwindigkeitshypothesen (unterschiedlichen Formen von Hochpunkten) ermöglicht. Durch die Verwendung einer vordefinierten Anzahl wird eine einfache Vergleichbarkeit sichergestellt. Beispielsweise kann durch eine Verwendung von 3 bis 13 bzw. 9 Werten eine effiziente Berechenbarkeit erreicht werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung basiert das vordefinierte Modell auf einer Berechnung von Zeitbereichswerten, bei der eine Laufzeit der Abtastwerte innerhalb eines Pulses berücksichtigt wird. Ein einzelner Puls weist eine gewisse Länge auf, sodass sich insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten die Gegebenheiten während der Dauer eines einzelnen Pulses ändern können. Die Laufzeit entspricht insoweit einer Verzögerung innerhalb eines Pulses. Diese Laufzeit bzw. diese Verzögerung werden von bisherigen Modellen üblicherweise vernachlässigt. Durch die zusätzliche Berücksichtigung der Laufzeitänderung pro Puls wird erreicht, dass sich die Form des Frequenzspektrums im unmittelbaren Umfeld des Hochpunkts entsprechend der realen Daten ändert und so zwischen Geschwindigkeitshypothesen unterschieden werden kann.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung basiert eine Berechnung der Modellwerte auf einer Optimalfilterung über einen Puls und einer Fouriertransformation über mehrere Pulse, wenn die vorverarbeiteten Sensordaten basierend auf einer Optimalfilterung einer beliebigen Pulsform vorverarbeitet wurden. Es ist möglich, eine Optimalfilterung (matched filter) in Verbindung mit einer Fouriertransformation über die mehreren Pulse eines Verarbeitungsintervalls (slow-time Fouriertransformation) zu verwenden. Abhängig von der Konfiguration des Multipuls-Radarsensors ergibt sich insoweit eine Modellierung, die der realen Datenverarbeitung innerhalb des Radarsensors entspricht. Es wird eine hohe Genauigkeit bei der Ermittlung der eindeutigen Relativgeschwindigkeit sichergestellt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung basiert eine Berechnung der Modellwerte auf einer ersten Fouriertransformation über einen Puls und einer zweiten Fouriertransformation über mehrere Pulse, wenn die vorverarbeiteten Sensordaten basierend auf einer Verarbeitung einer linear frequenzmodulierten Pulsfolge vorverarbeitet wurden. Wie zuvor kann die Modellierung ebenfalls entsprechend der realen Datenverarbeitung erfolgen, wenn eine erste Fouriertransformation für einen Puls (fast-time Fouriertransformation) gefolgt von einer Fouriertransformation über mehrere Pulse (slow-time Fouriertransformation) durchgeführt wird. Es ergibt sich eine genaue und zutreffende Modellierung mit hoher Aussagekraft bezüglich der Relativgeschwindigkeit.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Multipuls-Radarsensor zum Aussenden von Radarpulsen mit einer hohen kohärenten Verarbeitungszeit ausgebildet. Vorzugsweise ist der Multipuls-Radarsensor zum Aussenden von Radarpulsen mit einer hohen Geschwindigkeitsauflösung ausgebildet. Vorzugsweise ist der Multipuls-Radarsensor zum Aussenden von 512 Radarpulsen innerhalb von 25 ms ausgebildet. Durch die Verwendung einer hohen kohärenten Verarbeitungszeit ergibt sich eine Verstärkung des Unterschieds in der Form des Frequenzspektrums im Bereich des Hochpunkts für verschiedene Geschwindigkeitshypothesen. Insoweit wird bei der Unterscheidung eine hohe Aussagekraft sichergestellt.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist der Multipuls-Radarsensor zum Aussenden von Radarpulsen mit einer hohen Bandbreite ausgebildet. Vorzugsweise ist der Multipuls-Radarsensor zum Aussenden von Radarpulsen mit einer Bandbreite zwischen 800 MHz und 4.000 MHz, insbesondere einer Bandbreite von 1.000 MHz ausgebildet. Die Verwendung einer hohen Bandbreite, über die im Basisband die Frequenzänderung durchgeführt wird, insbesondere in Kombination mit einer hohen kohärenten Integrationszeit, bewirkt eine besser unterscheidbare Form des Frequenzspektrums in der Umgebung des Hochpunkts für unterschiedliche Relativgeschwindigkeiten. Durch die Verwendung einer hohen Bandbreite ergibt sich eine hohe Distanzauflösung.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist der Multipuls-Radarsensor zum Betrieb in einem Frequenzbereich zwischen 76 GHz und 81 GHz ausgebildet. Zusätzlich oder alternativ weist der Multipuls-Radarsensor eine konstante Pulswiederholungszeit auf. Durch den Betrieb in einem freigegebenen Frequenzbereich wird eine standardkonforme Verwendung ermöglicht. Es ergibt sich eine gute Einsetzbarkeit im Fahrzeugbereich.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Vorverarbeitungseinheit des Multipuls-Radarsensors zum gleichzeitigen Verarbeiten von 256 oder 512 Radarpulsen ausgebildet. Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn eine vergleichsweise hohe Anzahl von Radarpulsen gleichzeitig verarbeitet wird, um beispielsweise eine Fouriertransformation über die mehreren Radarpulse durchzuführen.

Ein Radarsensor sendet ein Radarsignal aus und empfängt Reflexionen des Radarsignals an Objekten (auch als Ziele bezeichnet) innerhalb eines Sichtfelds des Radarsensors. Das Sichtfeld bezeichnet ein Gebiet, innerhalb dessen Objekte erfasst werden können. Ein Multipuls-Radarsensor sendet innerhalb eines kohärenten Verarbeitungsintervalls mehrere Radarpulse aus und kann auch als Chirp-Sequence-Radarsensor bezeichnet werden. Ein Radarsensor kann mehrere Einzelsensoren umfassen, die beispielsweise eine 360°-Rundumsicht ermöglichen und somit ein vollständiges Abbild der Umgebung eines Fahrzeugs aufzeichnen können. Vorverarbeitete Sensordaten bezeichnen abgetastete Basisbandsignale, die bereits vorverarbeitet wurden. Vorverarbeitungsschritte können insbesondere eine Optimalfilterung oder eine Fouriertransformation der Abtastwerte pro Puls und eine Fouriertransformation über mehrere Pulse umfassen. Ein Beschreibungsparameter sowie ein Modellwert können ein- oder mehrdimensional sein. Insbesondere kann ein Beschreibungsparameter bzw. ein Modellwert im Falle einer Beschreibung der unmittelbaren Umgebung der Position des Hochpunkts mittels einer vordefinierten Anzahl an diskreten Werten für jeden dieser Werte bzw. für jede dieser Positionen eine Leistungsangabe umfassen. Es ist möglich, dass ein Beschreibungsparameter und ein Modellwert die vordefinierte Umgebung eines Hochpunkts jeweils mittels einer vordefinierten Anzahl von Betrags- und Phasenwerten beschreiben. Ein Vergleich sowie eine Bewertung einer Übereinstimmung können beispielsweise basierend auf einer

Bestimmung eines mittleren quadratischen Fehlers erfolgen. Ein Objekt kann insbesondere ein anderes Fahrzeug, aber auch ein anderer Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer etc.) oder ein feststehendes Objekt (Baum, Haus, Verkehrszeichen etc.) sein. Eine Relativgeschwindigkeit ist hierin insbesondere als Radialgeschwindigkeit zu verstehen, wie sie von einem Radarsensor gemessen wird.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand einiger ausgewählter Ausführungsbeispiele im Zusammenhang mit den beiliegenden Zeichnungen näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Systems gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer mehrdeutigen Geschwindigkeitsmessung;

Fig. 4 eine schematische Darstellung der Berechnung des erfindungsgemäßen Modells;

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Abstands-Geschwindigkeitsleistungsspektrums mit einer vergrößerten Darstellung einer Umgebung eines Hochpunkts;

Fig. 6 eine schematische Darstellung der sich ergebenden Modellierungen für das Frequenzspektrum in der unmittelbaren Umgebung der Position des Hochpunkts im Vergleich mit den gemessenen Daten; und

Fig. 7 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

In der Fig. 1 ist schematisch ein erfindungsgemäßes System 10 zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts 12 gezeigt. Bei dem System 10 handelt es

sich im dargestellten Beispiel um ein Automotive-Radarsystem, das in ein Fahrzeug 18 integriert ist. Bei dem Objekt 12 kann es sich beispielsweise um ein anderes Fahrzeug oder auch um einen Baum, einen Fußgänger oder ein statisches Objekt wie ein Haus oder ein Verkehrsschild handeln. Das System 10 umfasst einen Multipuls-Radarsensor 14, der frequenzmodulierte Radarpulse aussendet, um das Objekt 12 zu erfassen. Der Multipuls-Radarsensor 14 ist am Fahrzeug 18 angebracht und erfasst Objekte 12 innerhalb eines Sichtfelds 20. Weiterhin umfasst das System eine Vorrichtung 16 zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts 12. Die erfindungsgemäße Vorrichtung 16 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel ebenfalls in das Fahrzeug 18 integriert und kommuniziert mit dem Multipuls-Radarsensor 14 über ein Fahrzeugbussystem. Die erfindungsgemäße Vorrichtung 16 erlaubt es, eine eindeutige Ermittlung einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts 12 gegenüber dem Multipuls-Radarsensor 14 vorzunehmen.

In der Fig. 2 ist schematisch die erfindungsgemäße Vorrichtung 16 dargestellt. Die Vorrichtung 16 kann insbesondere in ein Fahrzeugsteuergerät des Fahrzeugs integriert sein. Es ist aber auch möglich, dass die Vorrichtung als Zusatzmodul für den Radarsensor selbst implementiert ist. Ebenfalls ist es möglich, dass die Vorrichtung 16 in Software implementiert ist, die von einem Prozessor des Radarsensors oder in einem Prozessor des Fahrzeugsteuergeräts ausgeführt wird. Die Vorrichtung 16 umfasst eine Eingangsschnittstelle 22, eine Auswerteeinheit 24, eine Beschreibungseinheit 26, eine Modellierungseinheit 28, eine Vergleichseinheit 30 sowie eine Ausgabeeinheit 32. Die verschiedenen Einheiten und Schnittstellen können dabei insbesondere einzeln oder kombiniert bzw. vollständig oder teilweise in Soft- und/oder in Hardware implementiert sein.

Die Eingangsschnittstelle 22 ist an einen frequenzmodulierten Multipuls-Radarsensor angebunden und empfängt dessen Daten nach einer Vorverarbeitung von Rohdaten innerhalb des Multipuls-Radarsensors. Die empfangenen Sensordaten umfassen ein Frequenzspektrum eines Objekts in einem Umfeld eines Fahrzeugs. Unter einem Frequenzspektrum wird insbesondere der Betrag und die Phase der fouriertransformierten Basisbandsignale verstanden. Es kann ein Frequenzspektrum in der Geschwindigkeitsdimension und/oder ein Frequenzspektrum in der Abstandsdimension

empfangen werden. Wenn Betrag und Phase getrennt betrachtet werden, kann auch von einem Betrags- oder Phasenspektrum gesprochen werden. Hierin umfasst ein Frequenzspektrum auch ein Ausgangssignal eines Optimalfilters.

Die Auswerteeinheit 24 dient dazu, die empfangenen Sensordaten auszuwerten, um eine Position eines Hochpunkts innerhalb des Frequenzspektrums bzw. des Betragspektrums zu ermitteln.

In der Beschreibungseinheit 26 wird ein Beschreibungsparameter ermittelt, der die Form des Frequenzspektrums in einer unmittelbaren Umgebung der Position des Hochpunkts beschreibt. Beispielsweise werden die Werte der Leistung für Frequenzen in einem Abstand von einigen (beispielsweise zwei oder drei) diskreten Werten um den Hochpunkt als Beschreibungsparameter mit mehreren Einzelwerten (Vektor) bestimmt. Die unmittelbare Umgebung umfasst also vorzugsweise den Frequenzwert des Hochpunkts selbst sowie einige benachbarte Frequenzwerte. Insbesondere kann der Beschreibungsparameter damit eine Aussage über die Form des Hochpunkts liefern. Der Beschreibungsparameter kann also insbesondere die Messwerte am Hochpunkt und in der Umgebung des Hochpunkts umfassen.

In der Modellierungseinheit 28 wird ausgehend von der ermittelten Position des Hochpunkts ein vordefiniertes Modell angepasst. Das vordefinierte Modell beschreibt dabei ebenfalls ein Frequenzspektrum bzw. eine Form eines Frequenzspektrums in der Nähe eines Hochpunkts, unter der Annahme von Modelldaten bzw. eines Modellwerts. Für eine gegebene Position eines Hochpunkts, bietet das Modell unterschiedliche Frequenzspektren bzw. Formen des Frequenzspektrums, die unterschiedliche Geschwindigkeitshypothesen repräsentieren. Insoweit entspricht ein Modellwert vorzugsweise in seinem Format dem Beschreibungsparameter. Ein Modellwert umfasst also ebenfalls beispielsweise mehrere Spektralwerte in der Nachbarschaft des Hochpunkts. Der Modellwert ist in anderen Worten ein Vektor mit mehreren Werten. Für unterschiedliche Geschwindigkeitshypothesen werden unterschiedliche Modellwerte berechnet.

Die Anpassung des vordefinierten Modells und die Ermittlung der mehreren Modellwerte in der Modellierungseinheit 28 kann dabei insbesondere basierend auf einer Nachschlagetabelle erfolgen. Es werden also für unterschiedliche Hochpunktpositionen jeweils mehrere Modellparameter, die unterschiedlichen Geschwindigkeitshypothesen zugeordnet sind, vorberechnet, sodass dann im Betrieb der erfindungsgemäßen Vorrichtung lediglich ein Nachschlagen erforderlich ist, um die Modellwerte für eine ermittelte Position eines Hochpunkts zu bestimmen. Hierdurch ergibt sich eine effiziente Berechenbarkeit.

Diese berechneten Modellwerte werden dann in der Vergleichseinheit 30 mit dem Beschreibungsparameter verglichen, um festzustellen, welcher Modellwert die Realität am besten abbildet. Konkret werden also vorzugsweise die Messwerte in der Hochpunktumgebung (Beschreibungsparameter) mit den entsprechenden Elementen des Modellwerts verglichen. Es wird untersucht, welcher Modellwert die höchste Übereinstimmung mit dem Beschreibungsparameter bietet. Hierzu kann beispielsweise ein mittlerer quadratischer Fehler zwischen Abständen einzelner Elemente des Beschreibungsparameters und des Modellwerts verwendet werden.

Nach Abschluss des Vergleichs wird über die Ausgabeeinheit 32 diejenige Geschwindigkeitshypothese (bzw. der Modellwert) ausgegeben, die zu der geringsten Modellabweichung gehört. Insoweit ist es möglich, eine Ermittlung einer eindeutigen Geschwindigkeit eines Objekts vorzunehmen.

In der Fig. 3 ist schematisch ein Beispiel für eine uneindeutige Geschwindigkeitsmessung mittels eines herkömmlichen Multipuls-Radarsensors, wie er im Automotive-Bereich verwendet wird, dargestellt. Auf der X-Achse ist die reale Relativgeschwindigkeit (v_{real}) abgetragen. Auf der Y-Achse ist die mittels des Sensors gemessene Relativgeschwindigkeit (v_{meas}) abgetragen. Eine Messung der Relativgeschwindigkeit kann ausgehend von einer konstanten Pulswiederholungszeit lediglich innerhalb des sogenannten Hauptintervalls zwischen $-v_m/2$ und $+v_m/2$ erfolgen. Die maximale eindeutige Geschwindigkeit v_m ergibt sich zu $1/(2Kt_r)$ basierend auf der Wellenzahl K und der Pulswiederholungszeit t_r . Wie in der Fig. 3 dargestellt, kann also,

wenn eine maximale eindeutige Geschwindigkeit von $v_m = 30$ m/s angenommen wird, lediglich eine Messung zwischen -15 und +15 m/s vorgenommen werden.

In der Fig. 3 ist beispielhaft dargestellt, dass ein sich bewegendes Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 26 m/s auf ein stationäres Ziel zufährt. Im Falle eines autonomen Bremssystems oder eines autonomen Fahrsystems sollte in diesem Fall eine Notbremsung oder ein Ausweichmanöver eingeleitet werden. Wie in der Fig. 3 dargestellt, wird die Relativgeschwindigkeit des stationären Ziels 34 jedoch auf eine gemessene Geschwindigkeit von $v_{\text{meas}} = 4$ m/s abgebildet. Diese gemessene Geschwindigkeit entspricht einem Fahrzeug, das sich mit einer Relativgeschwindigkeit eines beweglichen Ziels 36 etwas schneller als das eigene Fahrzeug bewegt. Die erforderliche Reaktion des autonomen Systems, also das Einleiten eines Notbrems- oder Ausweichmanövers, würde nicht erfolgen.

Erfindungsgemäß wird nun vorgeschlagen, die Pulswiederholungszeit konstant zu belassen und mehrere Geschwindigkeitshypothesen basierend auf einer Modellanpassung in einer unmittelbaren Umgebung eines Hochpunkts zu unterscheiden. Die Modellanpassung erfolgt dabei nach einer Vorverarbeitung, also nach der Anwendung einer Optimalfilterung oder einer Fouriertransformation über einen Puls (fast-time Fouriertransformation), einer Fouriertransformation über mehrere Pulse (slow-time Fouriertransformation), einem Beamforming, einer Leistungsdetektion und einer Hochpunktbestimmung. Es wird eine Modellierung pro Geschwindigkeitshypothese formuliert und eine Auswahl basierend auf der Abweichung zwischen den verschiedenen Modellierungen und der Messung vorgenommen.

In der Fig. 4 sind schematisch zwei Varianten einer erfindungsgemäßen Modellberechnung abgebildet. Die auf der linken Seite abgebildete erste Variante wird für eine Optimalfilterung einer beliebigen Multipuls-Wellenform angewendet. Die zweite Variante auf der rechten Seite wird für eine Verarbeitung einer linear frequenzmodulierten Pulsfolge verwendet. In der Fig. 4 sind die Berechnungen für beide Modellvarianten für Abstand r und Relativgeschwindigkeit v dargestellt. Zunächst werden in einem ersten Schritt S1 Abtastwerte simuliert gemäß

$$x_b \left(t_s l - \frac{2r}{c} - \frac{2vt_r}{c} m \right) e^{j4\pi Kvt_r m} e^{j4\pi Kvt_s l} \quad (1)$$

in der ersten Variante (links) und gemäß

$$e^{j\frac{4\pi Br}{Lc}l} e^{j4\pi Kvt_r m} e^{j\frac{4\pi Bvt_r}{Lc}lm} e^{j4\pi Kvt_s l} \quad (2)$$

in der zweiten Variante (rechts). Dabei bezeichnet x_b das bekannte Basisbandsignal, t_s die Abtastzeit, c die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit, t_r die Pulswiederholungszeit, B die effektive Pulsbandbreite, L die Anzahl der Abtastwerte pro Puls, $l=0, \dots, L-1$ die Indices der Abtastwerte pro Puls, M die Anzahl an Pulsen und $m=0, \dots, M-1$ die Pulsindices.. Der folgende Schritt S2 umfasst in der ersten Variante auf der linken Seite eine Optimalfilterung (fast-time zero-velocity-matched filter) oder eine Fouriertransformation über einen Puls (fast-time Fouriertransformation) in der zweiten Variante auf der rechten Seite. In beiden Fällen wird im dritten Schritt S3 eine Fouriertransformation über mehrere Pulse vorgenommen (slow-time Fouriertransformation). Relevant ist, dass in beiden Fällen der zweite Schritt S2 und der dritte Schritt S3 lediglich für eine unmittelbare Umgebung der Position des Hochpunkts (peak neighborhood) durchgeführt werden.

Diese Modellierung erweitert dabei Modelle der herkömmlichen Verarbeitung von Radarsignalen

$$x_b \left(t_s l - \frac{2r}{c} \right) e^{j4\pi Kvt_r m} \quad (3)$$

für die erste Variante und

$$e^{j\frac{4\pi Br}{Lc}l} e^{j4\pi Kvt_r m} \quad (4)$$

für die zweite Variante. Jeweils der erste Term beschreibt die Fast-Time-Abtastwerte und der zweite Term die Slow-Time-Abtastwerte. Die Fast-Time-Abtastwerte beziehen sich dabei auf die Basisbandabtastwerte eines Pulses, die Slow-Time-Abtastwerte auf die Basisbandabtastwerte mehrerer aufeinanderfolgender Pulse. Der optimale Verarbeitungsansatz für derartige Modellierungen ist entweder eine Opti-

malfilterung oder eine Fouriertransformation über einen Puls, gefolgt von einer Fouriertransformation über mehrere Pulse.

Bei dieser Modellierung wird jedoch eine pulsabhängige Verzögerung der Fast-Time-Abtastwerte eines Pulses nicht abgebildet. Wenn diese Verzögerung in die Modellierung aufgenommen wird, ergeben sich die zuvor genannten Modellierungen in Gleichung (1) und in Gleichung (2). Wird in diesem Fall die Vorverarbeitung, die für die Modelle in Gleichung (3) und Gleichung (4) optimal ist, also eine Optimalfilterung und Fouriertransformation pro Puls gefolgt von einer Fouriertransformation über mehrere Pulse, angewendet, ändert sich eine Form einer Nachbarschaft eines Hochpunkts in den vorverarbeiteten Daten basierend auf einer eindeutigen Geschwindigkeit.

In der Fig. 5 ist in diesem Zusammenhang ein Beispiel eines Abstands-Geschwindigkeitsleistungsspektrums abgebildet. Auf der x-Achse ist die Geschwindigkeitsfrequenz abgetragen, auf der y-Achse ist die Abstandsfrequenz abgetragen. Zur Illustration ist genau ein Ziel abgebildet, sodass das dargestellte Spektrum genau einen Hochpunkt 38 aufweist. Die Darstellung entspricht dabei einem Abstands-Geschwindigkeitsleistungsspektrum nach der Fouriertransformation über einen Puls und über mehrere Pulse. Der Hochpunkt 38 ist vergrößert dargestellt. Im Bereich der vergrößerten Darstellung ist zusätzlich zur zweidimensionalen vergrößerten Darstellung ein entsprechender eindimensionaler Schnitt an der Position des Hochpunkts in der Geschwindigkeitsdimension und in der Abstandsdimension abgebildet.

In der Fig. 6 ist beispielhaft die Anpassung eines vordefinierten Modells in der unmittelbaren Umgebung des Hochpunkts dargestellt. Die beiden Darstellungen auf der linken Seite zeigen die Abstandsdimension. Die beiden Darstellungen auf der rechten Seite zeigen die Geschwindigkeitsdimension. Die beiden oberen Darstellungen bilden dabei die Leistung (in Dezibel) auf der y-Achse über die Frequenz auf der x-Achse ab. Die unteren Darstellungen bilden die Phase (π) auf der y-Achse über die Frequenz auf der x-Achse ab. Die gemessenen Werte (der Beschreibungsparameter) sind mit Kreisen 40 gekennzeichnet. Der (mehrdimensionale) Modellwert für die zutreffende Relativgeschwindigkeit von -26 m/s ist mit Kreuzen 42 gekennzeichnet und der Modellwert für die Geschwindigkeitshypothese von 4 m/s ist mit Quadraten 44

gekennzeichnet. Wie dargestellt, trifft das zutreffende Modell, also die Geschwindigkeitshypothese von -26 m/s, die Messwerte in der Nachbarschaft des Hochpunkts wesentlich besser. Basierend auf einem Vergleich kann also die zutreffende Geschwindigkeitshypothese ausgewählt werden.

In der Fig. 7 ist schematisch ein erfindungsgemäßes Verfahren dargestellt. Das Verfahren umfasst Schritte des Empfangens S10 von vorverarbeiteten Sensordaten, des Ermittelns S12 einer Position eines Hochpunkts, des Ermittelns S14 eines Beschreibungsparameters, des Anpassens S16 eines vordefinierten Modells, des Vergleichens S18 des Beschreibungsparameters mit den mehreren Modellwerten und des Auswählens eines Modellwerts und des Ausgebens S20 der Geschwindigkeitshypothese. Das Verfahren kann beispielsweise als Software implementiert sein, die auf einem Fahrzeugsteuergerät oder in einem Radarsensor ausgeführt wird. Vorzugsweise wird das Verfahren während des Betriebs eines Radarsensors angewendet.

Die Erfindung wurde anhand der Zeichnungen und der Beschreibung umfassend beschrieben und erklärt. Die Beschreibung und Erklärung sind als Beispiel und nicht einschränkend zu verstehen. Die Erfindung ist nicht auf die offenbarten Ausführungsformen beschränkt. Andere Ausführungsformen oder Variationen ergeben sich für den Fachmann bei der Verwendung der vorliegenden Erfindung sowie bei einer genauen Analyse der Zeichnungen, der Offenbarung und der nachfolgenden Patentansprüche.

In den Patentansprüchen schließen die Wörter „umfassen“ und „mit“ nicht das Vorhandensein weiterer Elemente oder Schritte aus. Der undefinierte Artikel „ein“ oder „eine“ schließt nicht das Vorhandensein einer Mehrzahl aus. Ein einzelnes Element oder eine einzelne Einheit kann die Funktionen mehrerer der in den Patentansprüchen genannten Einheiten ausführen. Ein Element, eine Einheit, eine Schnittstelle, eine Vorrichtung und ein System können teilweise oder vollständig in Hard- und/oder in Software umgesetzt sein. Die bloße Nennung einiger Maßnahmen in mehreren verschiedenen abhängigen Patentansprüchen ist nicht dahingehend zu verstehen, dass eine Kombination dieser Maßnahmen nicht ebenfalls vorteilhaft verwendet werden kann. Ein Computerprogramm kann auf einem nichtflüchtigen Datenträger ge-

speichert/vertrieben werden, beispielsweise auf einem optischen Speicher oder auf einem Halbleiterlaufwerk (SSD). Ein Computerprogramm kann zusammen mit Hardware und/oder als Teil einer Hardware vertrieben werden, beispielsweise mittels des Internets oder mittels drahtgebundener oder drahtloser Kommunikationssysteme. Bezugszeichen in den Patentansprüchen sind nicht einschränkend zu verstehen.

Bezugszeichen

10	System
12	Objekt
14	Multipuls-Radarsensor
16	Vorrichtung
18	Fahrzeug
20	Sichtfeld
22	Eingangsschnittstelle
24	Auswerteeinheit
26	Beschreibungseinheit
28	Modellierungseinheit
30	Vergleichseinheit
32	Ausgabeeinheit
34	Relativgeschwindigkeit des stationären Ziels
36	Relativgeschwindigkeit des beweglichen Ziels
38	Hochpunkt
40	Kreis
42	Kreuz
44	Quadrat

Patentansprüche

1. Vorrichtung (16) zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts (12), mit:

einer Eingangsschnittstelle (22) zum Empfangen von vorverarbeiteten Sensordaten eines frequenzmodulierten Multipuls-Radarsensors (14), wobei die Sensordaten ein Frequenzspektrum eines Objekts in einem Umfeld eines Fahrzeugs (18) umfassen;

einer Auswerteeinheit (24) zum Ermitteln einer Position eines Hochpunkts innerhalb des Frequenzspektrums basierend auf den Sensordaten;

einer Beschreibungseinheit (26) zum Ermitteln eines Beschreibungsparameters, der eine Form des Frequenzspektrums in einer unmittelbaren Umgebung der Position des Hochpunkts beschreibt;

einer Modellierungseinheit (28) zum Anpassen eines vordefinierten Modells basierend auf der ermittelten Position des Hochpunkts und zum Ermitteln mehrerer Modellwerte basierend auf dem angepassten Modell, wobei die Modellwerte jeweils eine Form eines Frequenzspektrums für eine Geschwindigkeitshypothese beschreiben;

einer Vergleichseinheit (30) zum Vergleichen des Beschreibungsparameters mit den mehreren Modellwerten und zum Auswählen eines Modellwertes mit maximaler Übereinstimmung mit dem Beschreibungsparameter; und

einer Ausgabeeinheit (32) zum Ausgeben der Geschwindigkeitshypothese des ausgewählten Modellwertes als Relativgeschwindigkeit des Objekts.

2. Vorrichtung (16) nach Anspruch 1, wobei die Modellierungseinheit (28) zum Anpassen des vordefinierten Modells und zum Ermitteln der mehreren Modellwerte basierend auf einer Nachschlagetabelle mit vorberechneten Modellwerten für verschiedene Geschwindigkeitshypothesen für unterschiedliche Positionen von Hochpunkten ausgebildet ist.

3. Vorrichtung (16) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die unmittelbare Umgebung der Position des Hochpunkts eine vordefinierte Anzahl an diskreten Werten umfasst.

4. Vorrichtung (16) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das vordefinierte Modell auf einer Berechnung von Zeitbereichswerten basiert, bei der eine Laufzeit der Abtastwerte innerhalb eines Pulses berücksichtigt wird.
5. Vorrichtung (16) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Berechnung der Modellwerte auf einer Optimalfilterung über einen Puls und einer Fouriertransformation über mehrere Pulse basiert, wenn die vorverarbeiteten Sensordaten basierend auf einer Optimalfilterung einer beliebigen Pulsform vorverarbeitet wurden.
6. Vorrichtung (16) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Berechnung der Modellwerte auf einer ersten Fouriertransformation über einen Puls und einer zweiten Fouriertransformation über mehrere Pulse basiert, wenn die vorverarbeiteten Sensordaten basierend auf einer Verarbeitung einer linear frequenzmodulierten Pulsfolge vorverarbeitet wurden.
7. System (10), insbesondere Automotive-Radarsystem, zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts (12), mit:
einem frequenzmodulierten Multipuls-Radarsensor (14) zum Erfassen eines Objekts in einer Umgebung eines Fahrzeugs (18) mit einer Vorverarbeitungseinheit zum Vorverarbeiten eines Signals eines Empfangskanals des Multipuls-Radarsensors; und
einer Vorrichtung (16) nach einem der vorstehenden Ansprüche.
8. System (10) nach Anspruch 7, wobei der Multipuls-Radarsensor (14) zum Aussenden von Radarpulsen mit einer hohen kohärenten Verarbeitungszeit ausgebildet ist, vorzugsweise zum Aussenden von 512 Radarpulsen innerhalb von 25 ms.
9. System (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 8, wobei der Multipuls-Radarsensor (14) zum Aussenden von Radarpulsen mit einer hohen Bandbreite ausgebildet ist, vorzugsweise einer Bandbreite zwischen 800 MHz und 4000 MHz, insbesondere einer Bandbreite von 1000 MHz.

10. System (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei der Multipuls-Radarsensor (14) zum Betrieb in einem Frequenzbereich zwischen 76 GHz und 81 GHz ausgebildet ist; und/oder eine konstante Pulswiederholungszeit aufweist.
11. System (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei die Vorverarbeitungseinheit des Multipuls-Radarsensors (14) zum gleichzeitigen Verarbeiten von 256 oder 512 Radarpulsen ausgebildet ist.
12. Verfahren zum Bestimmen einer Relativgeschwindigkeit eines Objekts (12), mit den Schritten:
- Empfangen (S10) von vorverarbeiteten Sensordaten eines frequenzmodulierten Multipuls-Radarsensors (14), wobei die Sensordaten ein Frequenzspektrum eines Objekts in einem Umfeld eines Fahrzeugs (18) umfassen;
 - Ermitteln (S12) einer Position eines Hochpunkts innerhalb des Frequenzspektrums basierend auf den Sensordaten;
 - Ermitteln (S14) eines Beschreibungsparameters, der eine Form des Frequenzspektrums in einer unmittelbaren Umgebung der Position des Hochpunkts beschreibt;
 - Anpassen (S16) eines vordefinierten Modells basierend auf der ermittelten Position des Hochpunkts und zum Ermitteln mehrerer Modellwerte basierend auf dem angepassten Modell, wobei die Modellwerte jeweils eine Form eines Frequenzspektrums für eine Geschwindigkeitshypothese beschreiben;
 - Vergleichen (S18) des Beschreibungsparameters mit den mehreren Modellwerten und zum Auswählen eines Modellwertes mit maximaler Übereinstimmung mit dem Beschreibungsparameter; und
 - Ausgeben (S20) der Geschwindigkeitshypothese des ausgewählten Modellwertes als Relativgeschwindigkeit des Objekts.
13. Computerprogrammprodukt mit Programmcode zum Durchführen der Schritte des Verfahrens nach Anspruch 12, wenn der Programmcode auf einem Computer ausgeführt wird.

1/4

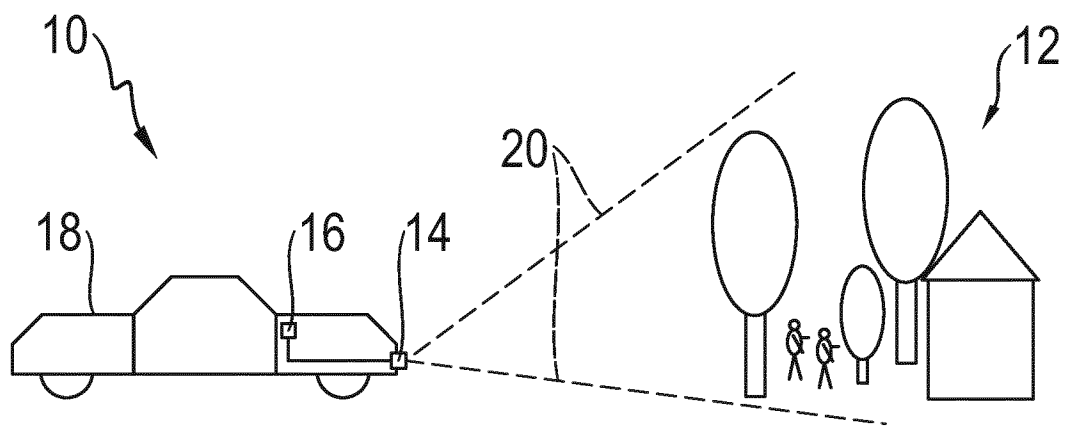


Fig. 1

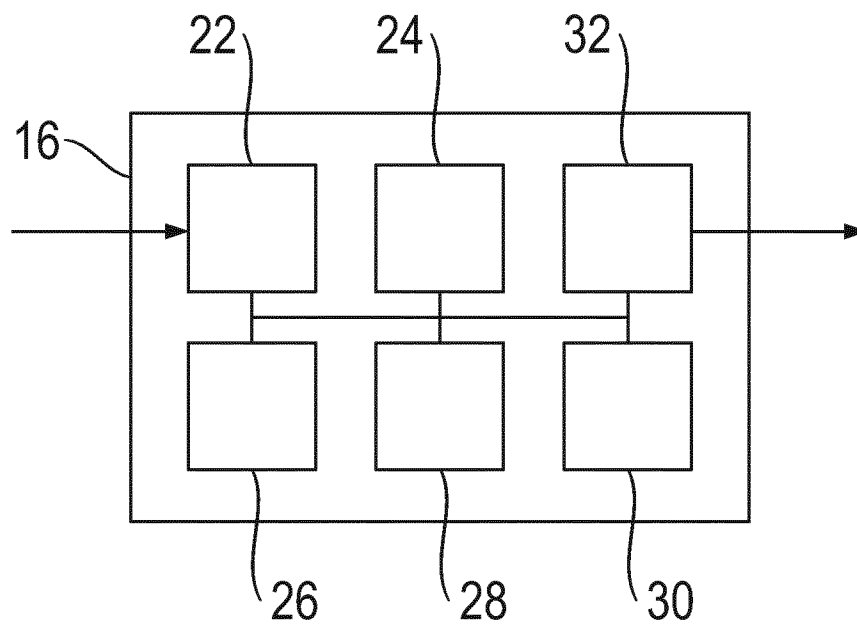


Fig. 2

2/4

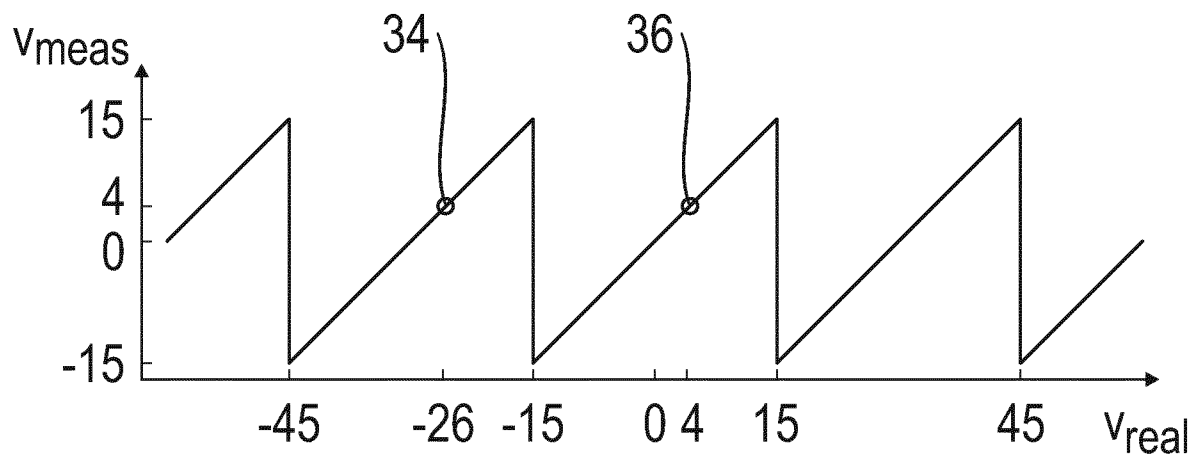


Fig. 3

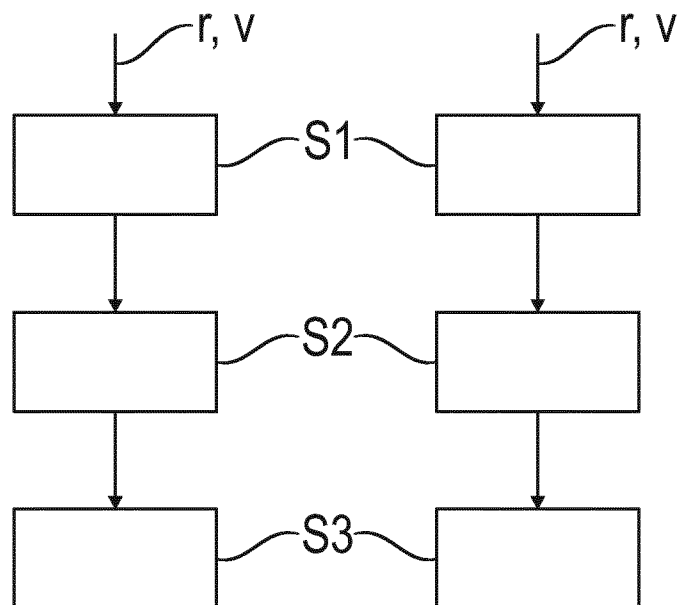


Fig. 4

3/4

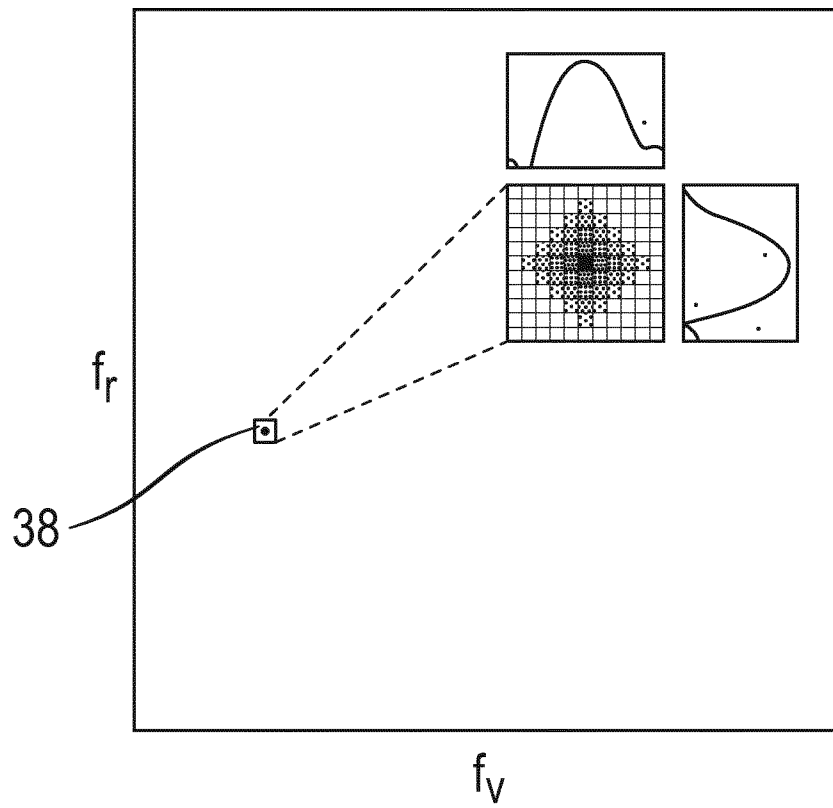


Fig. 5

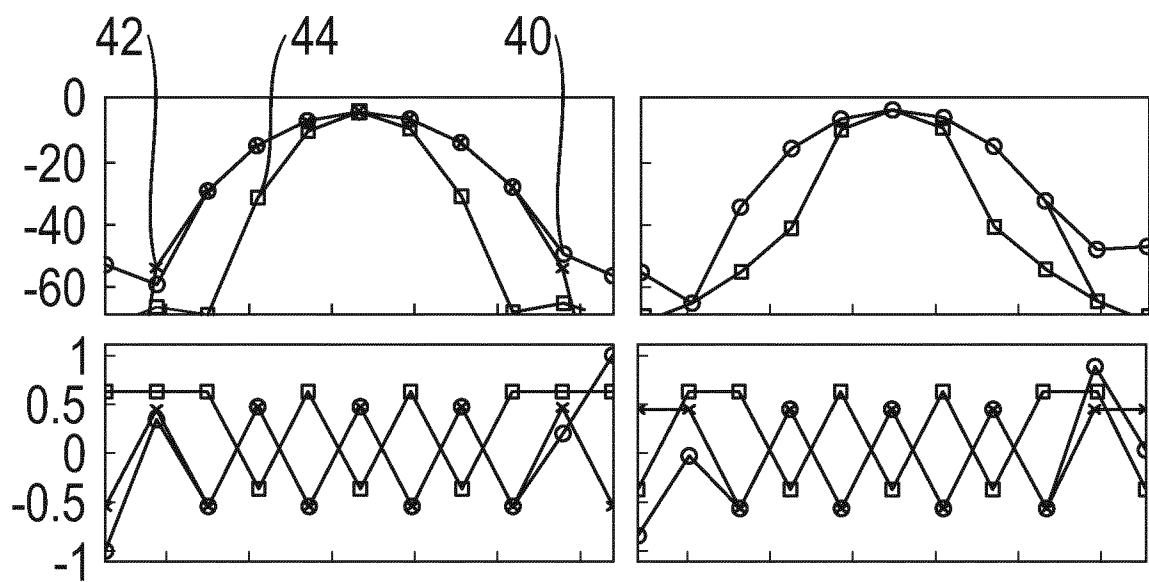


Fig. 6

4/4

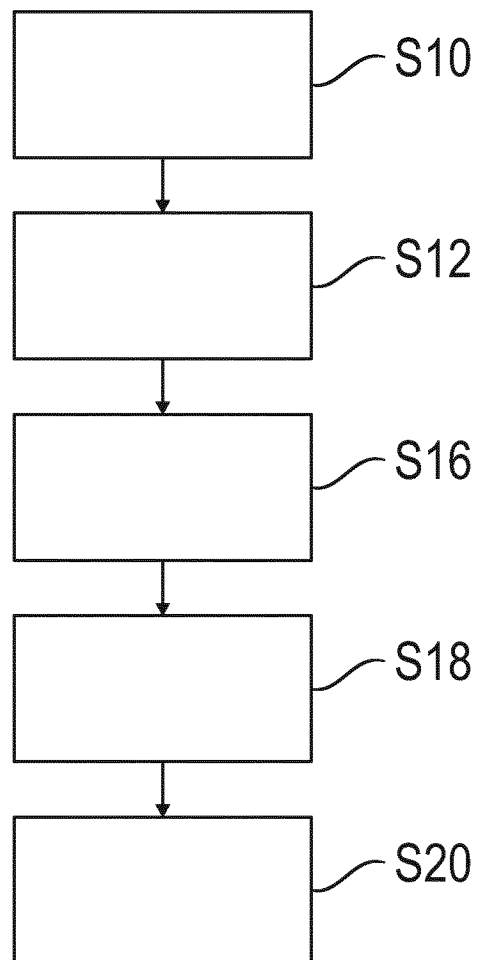


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/059226

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S 7/35(2006.01)i; *G01S 13/34*(2006.01)i; *G01S 13/58*(2006.01)i; *G01S 13/931*(2020.01)i; *G01S 13/26*(2006.01)i;
G01S 7/288(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102015222884 A1 (CONTI TEMIC MICROELECTRONIC GMBH [DE]) 24 May 2017 (2017-05-24) paragraphs [0005], [0025] - [0030], [0043] - [0048], [0051], [0056]; figures 1,9,10	1-13
X	DE 102017200706 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 19 July 2018 (2018-07-19) paragraphs [0006] - [0016], [0030] - [0045]; figures 1-3	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 June 2020

Date of mailing of the international search report

01 July 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office
 p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
 Netherlands**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Schmelz, Christian

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/059226

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102015222884	A1	24 May 2017	CN	108291959	A	17 July 2018
				DE	102015222884	A1	24 May 2017
				DE	112016004260	A5	24 May 2018
				EP	3377915	A1	26 September 2018
				JP	2019500593	A	10 January 2019
				KR	20180083865	A	23 July 2018
				US	2019265347	A1	29 August 2019
				WO	2017084661	A1	26 May 2017
DE	102017200706	A1	19 July 2018	CN	108333581	A	27 July 2018
				DE	102017200706	A1	19 July 2018
				US	2018203105	A1	19 July 2018

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. G01S7/35	G01S13/34	G01S13/58 G01S13/931 G01S13/26
ADD. G01S7/288		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01S		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2015 222884 A1 (CONTI TEMIC MICROELECTRONIC GMBH [DE]) 24. Mai 2017 (2017-05-24) Absätze [0005], [0025] - [0030], [0043] - [0048], [0051], [0056]; Abbildungen 1,9,10	1-13
X	DE 10 2017 200706 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 19. Juli 2018 (2018-07-19) Absätze [0006] - [0016], [0030] - [0045]; Abbildungen 1-3	1-13
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
18. Juni 2020		01/07/2020
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Schmelz, Christian

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/059226

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015222884 A1	24-05-2017	CN 108291959 A	17-07-2018
		DE 102015222884 A1	24-05-2017
		DE 112016004260 A5	24-05-2018
		EP 3377915 A1	26-09-2018
		JP 2019500593 A	10-01-2019
		KR 20180083865 A	23-07-2018
		US 2019265347 A1	29-08-2019
		WO 2017084661 A1	26-05-2017

DE 102017200706 A1	19-07-2018	CN 108333581 A	27-07-2018
		DE 102017200706 A1	19-07-2018
		US 2018203105 A1	19-07-2018
