

(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
06. August 2020 (06.08.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/157007 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01S 13/87 (2006.01) G01S 13/42 (2006.01)
G01S 7/40 (2006.01) G01S 13/931 (2020.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/051928

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. Januar 2020 (27.01.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 201 138.1
30. Januar 2019 (30.01.2019) DE

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

(72) Erfinder: BECHTER, Jonathan; Schlossplatz 7/1, 88326
Aulendorf (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: SENSOR SYSTEM FOR DETECTING AN OBJECT IN AN ENVIRONMENT OF A VEHICLE

(54) Bezeichnung: SENSORSYSTEM ZUM DETEKTIEREN EINES OBJEKTS IN EINER UMGEBUNG EINES FAHRZEUGS

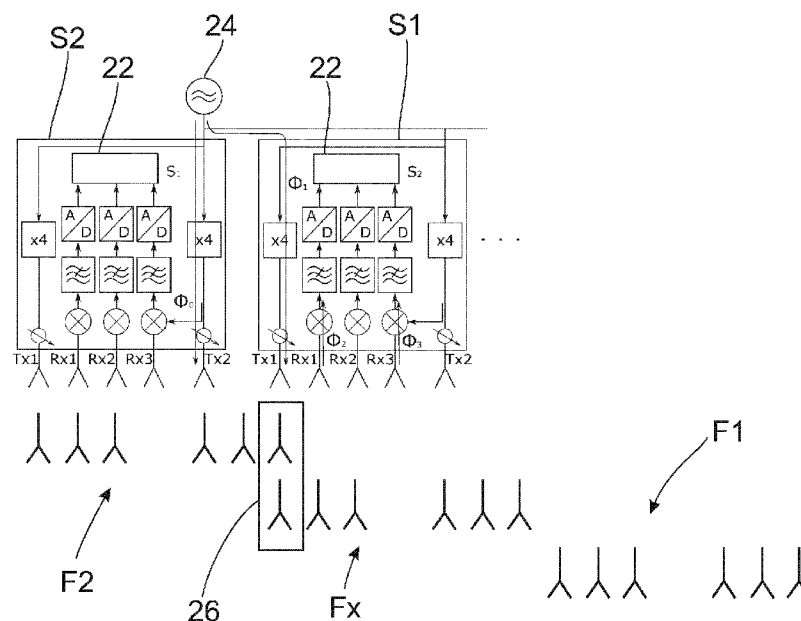


Fig. 4

(57) Abstract: The present invention relates to a sensor system (10) for detecting an object (12) in an environment (14) of a vehicle (16), having a first radar sensor node (S1) and a second radar sensor node (S2), which each comprise at least two transmitting elements (Tx) for emitting radar signals, at least two receiving elements (Rx) for receiving reflections of the emitted radar signals from the two radar sensor nodes and a processor unit (22) for detecting an object in the environment of the vehicle on the basis of the received reflections, and which are arranged at a distance from one another on the vehicle, wherein the transmitting elements and the receiving elements of the first radar sensor node form a node-internal array of aperture elements of a virtual receiving aperture, and the transmitting elements of the first radar sensor node and the receiving elements of the second radar sensor node form a cross-node array of aperture elements

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)

of a virtual receiving aperture; and a distance between the two radar sensor nodes and a distance between the transmitting elements and receiving elements inside the first radar sensor node are selected in such a manner that a position of a first aperture element of the node-internal array corresponds to a position of a second aperture element of the cross-node array. The present invention also relates to a vehicle and to a calibration method for calibrating radar sensor nodes of a sensor system.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Sensorsystem (10) zum Detektieren eines Objekts (12) in einer Umgebung (14) eines Fahrzeugs (16), mit: einem ersten Radarsensorknoten (S1) und einem zweiten Radarsensorknoten (S2), die jeweils mindestens zwei Sendeelemente (Tx) zum Aussenden von Radarsignalen, mindestens zwei Empfangselemente (Rx) zum Empfangen von Reflexionen der ausgesendeten Radarsignale der beiden Radarsensorknoten sowie eine Prozessoreinheit (22) zum Detektieren eines Objekts in der Umgebung des Fahrzeugs basierend auf den empfangenen Reflexionen umfassen und die voneinander beabstandet am Fahrzeug angeordnet sind, wobei die Sendeelemente und die Empfangselemente des ersten Radarsensorknotens ein knoteninternes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur bilden und die Sendeelemente des ersten Radarsensorknotens und die Empfangselemente des zweiten Radarsensorknotens ein knotenübergreifendes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur bilden; und ein Abstand der beiden Radarsensorknoten voneinander sowie ein Abstand der Sendeelemente und Empfangselemente innerhalb des ersten Radarsensorknotens so gewählt sind, dass eine Position eines ersten Aperturelements des knoteninternen Feldes einer Position eines zweiten Aperturelements des knotenübergreifenden Feldes entspricht. Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Fahrzeug und ein Kalibrierungsverfahren zum Kalibrieren von Radarsensorknoten eines Sensorsystems.

Sensorsystem zum Detektieren eines Objekts in einer Umgebung eines Fahrzeugs

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Sensorsystem zum Detektieren eines Objekts in einer Umgebung eines Fahrzeugs sowie ein Kalibrierverfahren zum Kalibrieren von Radarsensorknoten eines Sensorsystems.

Moderne Fahrzeuge (Autos, Transporter, Lastwagen, Motorräder etc.) umfassen eine Vielzahl von Sensoren, die dem Fahrer Informationen zur Verfügung stellen und einzelne Funktionen des Fahrzeugs teil- oder vollautomatisiert steuern. Eine wichtige Voraussetzung ist hierbei die Erfassung, Erkennung und Modellierung der Umgebung des eigenen Fahrzeugs. Mittels Umgebungssensoren, wie beispielsweise Radar-, Lidar-, Ultraschall- und Kamerasensoren, werden Sensordaten mit Informationen zu der Umgebung erfasst. Ausgehend von den erfassten Daten sowie gegebenenfalls unter zusätzlicher Berücksichtigung im Fahrzeug verfügbarer Daten können dann Objekte in der Umgebung des Fahrzeugs identifiziert und klassifiziert werden. Basierend auf den erkannten Objekten kann beispielsweise ein Verhalten eines autonomen oder teilautonomen Fahrzeugs an eine aktuelle Situation angepasst werden oder können dem Fahrer Zusatzinformationen zur Verfügung gestellt werden.

Ein weitverbreitetes Sensorprinzip ist dabei die Radartechnik. Aktuell verwendete Radarsensoren für Fahrzeuge umfassen typischerweise mehrere Sende- und Empfangselemente und werden als Multiple-Input-Multiple-Output-Radare (MIMO-Radare) betrieben.

Teilweise werden Radarsensoren kooperativ betrieben, wobei ein solches Sensornetzwerk mehrere unabhängige Sensoren umfasst, die als Knoten bezeichnet werden. Im kooperativen Betrieb mehrerer Radarsensorknoten können zusätzliche Informationen gewonnen werden, wenn die multistatischen Signale, also die Signale, die von einem Radarsensorknoten gesendet und von einem anderen Radarsensorknoten empfangen werden, ausgewertet werden. Es werden also einerseits Signale einzelner Radarsensorknoten zu sich selbst ausgewertet und andererseits Signale ausgewertet, die von einem Radarsensorknoten zu einem anderen (multistatisch) übertragen werden. Durch eine solche Auswertung multistatischer Signale

ergibt sich aufgrund der erhöhten physikalischen Ausdehnung (des Abstands zwischen Sende- und Empfangselementen) eine größere (virtuelle) Apertur als bei der Verwendung von Einzelsensoren. Die Apertur ist die limitierende Größe für die Auflösung bei der Winkelschätzung in Azimut und Elevation. Die zusätzliche kohärent integrierte Leistung ermöglicht außerdem eine höhere Reichweite.

In diesem Zusammenhang wird in der DE 10 2016 004 305 A1 ein Kraftfahrzeug mit mehreren an unterschiedlichen Einbaupositionen angeordneten Radarsensoren sowie ein Verfahren zum Betreiben mehrerer an unterschiedlichen Einbaupositionen eines Kraftfahrzeugs angeordneter Radarsensoren beschrieben. Die Radarsensoren sind zum Erfassen des Umfelds des Kraftfahrzeugs ausgebildet und können als Sender und/oder als Empfänger betrieben werden. Wenigstens ein erster Radarsensor ist zum Aussenden eines Sendesignals ausgebildet. Wenigstens ein von dem ersten Radarsensor verschiedener zweiter Radarsensor ist zum Empfangen eines Reflexionssignals des Sendesignals ausgebildet.

Eine Herausforderung bei der Verwendung von Radarsensoren in einem Sensornetzwerk liegt in der Kalibrierung. Oft kann eine Kalibrierung erst zu einem Zeitpunkt erfolgen, an dem der Umgebungssensor bereits im Fahrzeug verbaut ist. Das Fahrzeug wird für Kalibriervorgänge normalerweise in eine geeignete Testkammer (Absorberkammer) eingefahren, um die Kalibrierung durchzuführen. Zumeist werden Sensorziele an Roboterarmen an vordefinierte Messpositionen gefahren und mit den Radarsensoren erfasst. Je nach Ansatz kann es erforderlich sein, dass eine gemeinsame Abstimmung bzw. Kalibrierung der mehreren Radarsensorknoten in einem Sensornetzwerk erforderlich ist. Phasen- und Frequenzdrifts der Oszillatoren und Langzeit-Alterungseffekte, die sich unterschiedlich auf die Radarsensorknoten auswirken, stellen dabei eine besondere Herausforderung dar.

Ausgehend hiervon stellt sich der vorliegenden Erfindung die Aufgabe, einen kooperativen Betrieb mehrerer unabhängiger Radarsensorknoten zu ermöglichen. Insbesondere soll eine Auswertung multistatischer Signale umgesetzt und der Aufwand für die Kalibrierung geringgehalten werden. Es soll eine Robustheit gegenüber Verände-

rungen erreicht werden, die mit der Zeit auftreten, wie beispielsweise Alterungseffekte.

Zum Lösen dieser Aufgabe betrifft die Erfindung in einem ersten Aspekt ein Sensorsystem zum Detektieren eines Objekts in einer Umgebung eines Fahrzeugs, mit:

 einem ersten Radarsensorknoten und einem zweiten Radarsensorknoten, die jeweils mindestens zwei Sendeelemente zum Aussenden von Radarsignalen, mindestens zwei Empfangselemente zum Empfangen von Reflexionen der ausgesendeten Radarsignale der beiden Radarsensorknoten sowie eine Prozessoreinheit zum Detektieren eines Objekts in der Umgebung des Fahrzeugs basierend auf den empfangenen Reflexionen umfassen und die voneinander beabstandet am Fahrzeug angeordnet sind, wobei

 die Sendeelemente und die Empfangselemente des ersten Radarsensorknotens ein knoteninternes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur bilden und die Sendeelemente des ersten Radarsensorknotens und die Empfangselemente des zweiten Radarsensorknotens ein knotenübergreifendes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur bilden; und

 ein Abstand der beiden Radarsensorknoten voneinander sowie ein Abstand der Sendeelemente und Empfangselemente innerhalb des ersten Radarsensorknotens so gewählt sind, dass eine Position eines ersten Aperturelements des knoteninternen Feldes einer Position eines zweiten Aperturelements des knotenübergreifenden Feldes entspricht.

In einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Kalibrierverfahren zum Kalibrieren von Radarsensorknoten eines Sensorsystems wie zuvor beschrieben, mit den Schritten:

 Ermitteln von winkelunabhängigen Phasendifferenzen der Sendeelemente und der Empfangselemente des ersten Radarsensorknotens;

 Detektieren eines Objekts in der Umgebung des Fahrzeugs in einem Fernfeld der Radarsensorknoten; und

 Berechnen von winkelunabhängigen Phasendifferenzen der Sendeelemente und der Empfangselemente des zweiten Radarsensorknotens.

Weitere Aspekte der Erfindung betreffen ein Fahrzeug mit einem Sensorsystem wie zuvor beschrieben und ein Computerprogrammprodukt mit Programmcode zum Durchführen der Schritte des zuvor beschriebenen Kalibrierverfahrens, 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 Kalibrierverfahrens bewirkt.

Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen beschrieben. Es versteht sich, dass die vorgenannten 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 das Sensorsystem, das Kalibrierverfahren, das Fahrzeug und das Computerprogrammprodukt entsprechend der für das Sensorsystem und das Kalibrierverfahren in den abhängigen Ansprüchen beschriebenen Ausgestaltungen ausgeführt sein.

Erfindungsgemäß wird ein Sensorsystem bzw. ein Sensornetzwerk mit mindestens zwei Radarsensorknoten bereitgestellt, wobei jeder einzelne Radarsensorknoten mehrere Sende- und Empfangselemente aufweist und insoweit als MIMO-Radar betreibbar ist bzw. betrieben wird. Die Prozessoreinheit der Radarsensorknoten ist dazu ausgebildet, neben den Reflexionen der Radarsignale des eigenen Radarsensorknotens auch die Reflexionen der ausgesendeten Radarsignale eines anderen Radarsensorknotens des Sensorsystems auszuwerten. Ausgehend von der Auswertung der Reflexionen der ausgesendeten Radarsignale kann ein Objekt in der Umgebung des Fahrzeugs detektiert werden. Wenn Signale unterschiedlicher Radarsensorknoten phasenrichtig überlagert werden, kann eine höhere Winkelauflösung erreicht werden.

Dazu bilden die Sende- und Empfangselemente des ersten Radarsensorknotens ein knoteninternes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur. Dieses knoteninterne Feld entspricht insoweit einem virtuellen Array eines MIMO-Radars. Zudem bilden die Sendeelemente des einen Radarsensorknotens zusammen mit den Empfangselementen des anderen Radarsensorknotens ein knotenübergreifen-

des Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur. Dieses knotenübergreifende Feld entspricht einem virtuellen Array, das von den Elementen verschiedener Radarsensorknoten gebildet wird.

Um eine phasenrichtige Überlagerung sicherzustellen, wird erfindungsgemäß ein (physikalischer) Abstand zwischen den Radarsensorknoten bzw. der Sende- und Empfangselemente der Radarsensorknoten sowie ein Abstand der Sende- und Empfangselemente innerhalb des ersten Radarsensorknotens eingestellt. Insbesondere erfolgt die Einstellung derart, dass innerhalb der beiden virtuellen Arrays der Radarsensorknoten eine überlagerte Position erzeugt wird. In anderen Worten wird durch geeignete Wahl der Positionen der Sende- und Empfangselemente eine virtuelle Apertur erzeugt, in der eine Elementposition doppelt vorkommt. Eine Position eines Aperturelements des knoteninternen Feldes ist gleich einer Position eines zweiten Aperturelements des knotenübergreifenden Feldes.

Aufgrund dieser Wahl der Abstände kann eine automatische Kalibrierung des Sensorsystems erfolgen. Ausgehend davon, dass einer der Radarsensorknoten (der erste Radarsensorknoten) kalibriert wurde, kann diese Kalibrierung über das doppelt vorkommende virtuelle Element auf den zweiten Radarsensorknoten übertragen werden. Um diese Übertragung durchzuführen, ist es lediglich erforderlich, dass ein Objekt in der Umgebung des Fahrzeugs in einem Fernfeld der Radarsensorknoten des Sensorsystems detektiert wird. Hierzu reichen üblicherweise Objekte in einer Entfernung von über 20 m aus. Für beide Kanäle (Empfangselement im knoteninternen Feld und Empfangselement im knotenübergreifenden Feld) wird dann aufgrund des gewählten Abstands dasselbe Signal erwartet. Es ist nicht erforderlich, dass die Position dieser Objekte bekannt ist. Bei Abweichungen kann ein Korrekturfaktor angepasst bzw. eingeführt werden.

Im Vergleich zu bisherigen Ansätzen zum Betrieb von Radarsensornetzwerken und zur Auswertung von multistatischen Radarsignalen bietet das erfindungsgemäße Sensorsystem eine wesentlich vereinfachte Möglichkeit zur Kalibrierung. Insbesondere ist (im Falle der Verwendung gleichartiger Radarsensorknoten) eine Kalibrierung eines einzelnen Radarsensorknotens ausreichend, die dann über das doppelt vor-

kommende Element auf einen anderen Radarsensorknoten übertragen werden kann. Eine aufwändige Kalibrierung der mehreren Radarsensorknoten wird vermieden. Hierdurch können Kosten reduziert werden. Insbesondere ist es möglich, dass eine Abstimmung zweier Radarsensorknoten aufeinander (Kalibrierung) wiederkehrend als Selbstkalibrierung durchgeführt wird. Hierdurch kann Alterungseffekten sowie Phasen- und Frequenzdrifts entgegengewirkt werden, sodass eine präzise Detektion von Objekten in der Umgebung des Fahrzeugs auch nach längerem Betrieb sichergestellt ist. Es wird ein hochauflösendes Radarsensorsystem bereitgestellt.

In einer bevorzugten Ausgestaltung wird das erste Aperturelement von einem ersten Sendeelement des ersten Radarsensorknotens und einem ersten Empfangselement des ersten Radarsensorknotens gebildet. Das zweite Aperturelement wird von einem zweiten Sendeelement des ersten Radarsensorknotens und einem ersten Empfangselement des zweiten Radarsensorknotens oder von einem zweiten Empfangselement des ersten Radarsensorknotens und einem ersten Sendeelement des zweiten Radarsensorknotens gebildet. Das erste Aperturelement ist ein Aperturelement des virtuellen Arrays des ersten Radarsensorknotens (knoteninternes Feld). Das zweite Aperturelement ist ein Element des virtuellen Arrays, das von beiden Radarsensorknoten gebildet wird (knotenübergreifendes Feld). Für das knotenübergreifende Feld kann ein Empfangselement eines der beiden Radarsensorknoten und ein Sendeelement des anderen der beiden Radarsensorknoten verwendet werden, sodass sich zwei Möglichkeiten (Richtungen) ergeben. Die doppelte Position erlaubt eine Kalibrierung des zweiten Radarsensorknotens basierend auf der Kalibrierung des ersten Radarsensorknotens. Eine effizientere Kalibrierung wird ermöglicht. Eine genaue Auswertung und Detektion von Objekten in der Umgebung des Fahrzeugs wird sichergestellt.

In einer bevorzugten Ausgestaltung umfasst das Sensorsystem einen weiteren Radarsensorknoten, der von dem ersten Radarsensorknoten und dem zweiten Radarsensorknoten beabstandet am Fahrzeug angeordnet ist. Die Sendeelemente und die Empfangselemente des weiteren Radarsensorknotens bilden ein weiteres knoteninternes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur. Die Sendeelemente oder die Empfangselemente des weiteren Radarsensorknotens und die Sen-

deelemente oder die Empfangselemente des ersten Radarsensorknotens und/oder des zweiten Radarsensorknotens bilden ein weiteres knotenübergreifendes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur. Ein Abstand des weiteren Radarsensorknotens von dem ersten Radarsensorknoten und dem zweiten Radarsensorknoten sowie ein Abstand der Sendeelemente und Empfangselemente innerhalb des weiteren Radarsensorknotens sind so gewählt, dass eine Position eines weiteren ersten Aperturelements des weiteren knoteninternen Felds einer Position eines weiteren zweiten Aperturelements des weiteren knotenübergreifenden Felds entspricht. Vorzugsweise sind mehr als zwei Radarsensorknoten vorhanden. Alle Radarsensorknoten des Sensorsystems weisen voneinander Abstände auf, die nicht notwendigerweise gleich sind. Alle Abstände sind jedoch so gewählt, dass jeder Radarsensorknoten mit zumindest einem weiteren Radarsensorknoten ein doppeltes Element in der jeweiligen knotenübergreifenden virtuellen Empfangsapertur aufweist. Hierdurch ist es möglich, ausgehend von einer Kalibrierung eines Radarsensorknotens die weiteren Radarsensorknoten im Sensorsystem zu kalibrieren. Es genügt, einen einzelnen Radarsensorknoten zu vermessen. Dadurch, dass lediglich eine Kalibrierung eines einzelnen Radarsensorknotens durchgeführt werden muss, kann Aufwand vermieden werden. Die Kalibrierung wird vereinfacht und Kosten werden gespart. Zudem kann eine erhöhte Genauigkeit erreicht werden. Weiterhin kann eine Kalibrierung im laufenden Betrieb durchgeführt werden, sodass Alterungseffekten sowie Phasen- und Frequenzdrifts entgegengewirkt werden kann.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind die Radarsensorknoten am Fahrzeug in einem Abstand größer als 20 cm, vorzugsweise größer als 50 cm, voneinander angeordnet. Der Abstand beträgt mindestens 20 cm. Hierdurch wird die virtuelle Apertur vergrößert, was zu einer erhöhten physikalischen Ausdehnung führt. Infolgedessen kann die Auflösung bei der Winkelschätzung weiter verbessert werden. Eine genaue Detektion von Objekten in der Umgebung eines Fahrzeugs bzw. eine entsprechende Zuordnung einer Position dieser Objekte wird erreicht.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind die Radarsensorknoten zum Ausenden und Empfangen von Radarsignalen in einem Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz, bevorzugt von 77 GHz, ausgebildet. Die Verwendung derartiger Radar-

frequenzen ist zwischenzeitlich im Industrie- und Automotive-Bereich weit verbreitet. Es ist eine Messung mit hoher Auflösung möglich, wobei gleichzeitig eine ausreichende Reichweite sichergestellt ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung umfasst das Sensorsystem einen Frequenzgenerator zum Erzeugen einer gemeinsamen Taktfrequenz, vorzugsweise einer Taktfrequenz im Bereich von 20 GHz, für die Radarsensorknoten, wobei der Frequenzgenerator an die Radarsensorknoten angebunden ist. Durch die Verwendung eines einheitlichen Frequenzgenerators kann eine verbesserte Abstimmung erreicht werden. Insbesondere ist es möglich, dass eine abgestimmte Kalibrierung durchgeführt wird. Die Genauigkeit bei der Detektion einer Position eines Objekts in der Umgebung des Fahrzeugs kann weiter verbessert werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung weisen die Radarsensorknoten jeweils dieselbe Anzahl an Sendeelementen und Empfangselementen und dieselbe Topologie auf. Unter einer Topologie ist in diesem Zusammenhang eine Anordnung der Sende- und Empfangselemente zu verstehen. Insbesondere können identische Radarsensoren als Radarsensorknoten verwendet werden. Durch die Verwendung identischer Sensoren wird die Kalibrierung weiter vereinfacht, da ein abgestimmtes Verhalten der verschiedenen Radarsensorknoten vorausgesetzt werden kann.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Kalibrierverfahrens werden die Schritte des Detektierens und des Berechnens beim Betrieb des Fahrzeugs wiederkehrend, vorzugsweise in regelmäßigen Zeitabständen, ausgeführt. Durch ein wiederkehrendes Ausführen der Schritte des Detektierens und Berechnens kann eine regelmäßige Kalibrierung im Sinne einer Selbstkalibrierung des Sensorsystems durchgeführt werden. Auch bei einem Betrieb des Sensorsystems über einen längeren Zeitraum kann eine genaue Detektion von Objekten in einer Umgebung des Fahrzeugs sichergestellt werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Kalibrierverfahrens umfasst der Schritt des Berechnens ein Ermitteln von Entfernungs-Doppler-Matrizen für die Signalfade des ersten Aperturelements und des zweiten Aperturelements und ein Korrelieren der

ermittelten Entfernungs-Doppler-Matrizen. Durch die Verwendung von Entfernungs-Doppler-Matrizen kann eine einfache Verarbeitung erfolgen. Eine Kalibrierung kann basierend auf der doppelt vorhandenen Position des virtuellen Aperturelements erfolgen.

Ein Radarsensor sendet ein Radarsignal aus und empfängt Reflexionen des Radarsignals an Objekten innerhalb eines Sichtbereichs des Radarsensors. Der Sichtbereich bezeichnet dabei ein Gebiet, innerhalb dessen Objekte erfasst werden können. Eine Umgebung eines Fahrzeugs umfasst insbesondere einen von einem am Fahrzeug angebrachten Radarsensor aus sichtbaren Bereich im Umfeld des Fahrzeugs. Das erfindungsgemäße Sensorsystem kann auch als Radarsensornetzwerk bezeichnet werden. Insbesondere können mehrere Radarsensorknoten verwendet werden, die beispielsweise eine 360°-Rundumsicht ermöglichen und somit ein vollständiges Abbild der Umgebung des Fahrzeugs aufzeichnen können. Die Sensordaten eines Radarsensorknotens umfassen insbesondere einen Abstand, einen Höhenwinkel und einen Azimutwinkel für verschiedene Detektionen des Radarsensorknotens. Unter einem Scanpunkt wird in diesem Zusammenhang ein einzelner Punkt bzw. eine einzelne Detektion eines Ziels bzw. eines Objekts verstanden. Üblicherweise wird während eines Messzyklus eines Radarsensorknotens eine Vielzahl an Scanpunkten generiert. Hierbei wird unter einem Messzyklus ein einmaliges Durchlaufen des sichtbaren Bereichs verstanden. Ein Feld von Aperturelementen kann als virtuelles Array bezeichnet werden. Ein Abstand ist insbesondere als euklidischer Abstand zu verstehen.

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

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Fahrzeugs mit einem System zum Detektieren eines Objekts in einer Umgebung des Fahrzeugs;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Radarsensorknotens;

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Feldes von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur;

Fig. 4 eine schematische Darstellung des Aufbaus zweier Radarsensorknoten und der gebildeten Felder von Aperturelementen; und

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die Fig. 1 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes Fahrzeug 16 mit einem Sensorsystem 10 zum Detektieren eines Objekts 12 in einer Umgebung 14 des Fahrzeugs 16. Das Sensorsystem 10 umfasst einen ersten Radarsensorknoten S1 sowie einen zweiten Radarsensorknoten S2. Die Radarsensorknoten S1, S2 sind voneinander beabstandet am Fahrzeug angeordnet. Beispielsweise können sich die beiden Radarsensorknoten S1, S2 in den Bereichen des rechten und linken Frontscheinwerfers eines PKWs befinden. Der Abstand zwischen den Radarsensorknoten beträgt zumeist mindestens 20 cm. Dadurch, dass die Radarsignale der beiden Radarsensorknoten auch vom jeweils anderen Radarsensorknoten empfangen werden können (multistatisch), kann eine im Vergleich zu einem Einzelsensor vergrößerte virtuelle Apertur sowie eine erhöhte Empfangsleistung erreicht werden. Hierdurch kann eine Auflösung bei der Winkelschätzung in Azimut und Elevation verbessert werden.

In der Fig. 2 ist schematisch ein einzelner Radarsensorknoten S dargestellt. Der Radarsensorknoten S umfasst zwei Sendeelemente Tx1, Tx2, die zum Senden von Radarsignalen ausgebildet sind. Weiterhin umfasst der Radarsensorknoten S zwei Empfangselemente Rx1, Rx2, die zum Empfangen von Reflexionen der ausgesendeten Radarsignale an Objekten in der Umgebung des Fahrzeugs ausgebildet sind. Der Radarsensorknoten S entspricht insoweit einem MIMO-Radar mit mehreren Sendeelementen und Empfangselementen. Es versteht sich, dass es auch möglich ist, dass der Radarsensorknoten S weitere Sendeelemente und/oder Empfangselemente umfasst. Zudem umfasst der Radarsensorknoten S eine Prozessoreinheit 22, die zum Detektieren eines Objekts in der Umgebung des Fahrzeugs basierend auf den empfangenen Reflexio-

nen ausgebildet ist. Die Funktionalität der Prozessoreinheit 22 kann teilweise oder vollständig in Soft- und/oder in Hardware umgesetzt sein. Die Prozessoreinheit 22 kann insoweit als Prozessor, Prozessormodul oder auch als Software für einen Prozessor ausgebildet sein.

In der Fig. 3 ist ein grundsätzlicher Aufbau eines MIMO-Radarsensorknotens mit zehn Empfangselementen Rx (erste Zeile in Fig. 3) und zwei Sendeelementen Tx (zweite Zeile) dargestellt. Dadurch, dass jedes Empfangselement Rx Reflexionen der Signale von zwei Sendeelementen Tx empfängt, entsteht ein Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur mit insgesamt 20 Aperturelementen (dritte Zeile, auch als Antennenpositionen bzw. als virtuelles Array bezeichnet). Wie dargestellt hat die virtuelle Empfangsapertur dabei eine größere Ausdehnung als die Empfangsapertur der Empfangselemente Rx. Im dargestellten Beispiel ist das mittlere Element m der virtuellen Empfangsapertur doppelt vorhanden.

Zur Winkelschätzung eines Ziels wird der Phasenunterschied eines Radarsignals an den unterschiedlichen Aperturelementen der virtuellen Empfangsapertur betrachtet. Im dargestellten Beispiel wird vereinfachend der Fall betrachtet, dass sich alle Empfangselemente Rx und Sendeelemente Tx entlang der x-Achse eines Koordinatenraumes befinden. Es bezeichnet $x_{Tx,i}$ die Position eines Sendeelements und $x_{Rx,i}$ die Position eines Empfangselements in einem dreidimensionalen Koordinatensystem. Der Phasenunterschied eines Signals zwischen diesen Elementen zu einem Signal zwischen Elementen an Positionen $x_{Rx,j}$, $x_{Tx,j}$ beträgt dann

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (x_{Rx,i} - x_{Rx,j} + x_{Tx,i} - x_{Tx,j}) \sin\vartheta$$

Dabei ist λ die Wellenlänge und ϑ der Einfallswinkel des Signals. Der Phasenunterschied entsteht direkt an den Antennenpositionen (Aperturelementen). Zu diesem Phasenunterschied wird noch ein zusätzlicher, winkelunabhängiger Phasenunterschied addiert, der auf Laufzeitunterschiede der Signale innerhalb des Radarsensorknotens zurückzuführen ist. Dieser winkelunabhängige Phasenunterschied muss über einen entsprechenden Kalibrierungsfaktor kompensiert werden.

In der Fig. 4 ist schematisch ein erfindungsgemäßes Sensorsystem 10 mit zwei Radarsensorknoten S1, S2 dargestellt. Die beiden Radarsensorknoten S1, S2 weisen jeweils zwei Sendeelemente Tx1, Tx2 und drei Empfangselemente Rx1, Rx2, Rx3 auf. Zudem weisen die beiden Radarsensorknoten S1, S2 jeweils eine Prozessoreinheit 22 auf.

Der zusätzliche, winkelunabhängige Phasenunterschied (additiver Phasenunterschied) ist in Fig. 4 für zwei Sende- und zwei Empfangselemente beispielhaft eingezeichnet. Üblicherweise werden diese Phasenunterschiede innerhalb von Einzelsensoren im Rahmen eines Kalibriervorgangs ausgemessen und in der Signalverarbeitung kompensiert. Wird ein Sensornetzwerk mit mehreren Radarsensorknoten betrieben und eine multistatische Auswertung vorgenommen, entstehen solche Phasenunterschiede aber auch zwischen den Sende- und Empfangselementen unterschiedlicher Radarsensorknoten. Um die multistatischen Signale gemeinsam auszuwerten, müssen die Phasenunterschiede bekannt sein.

Erfindungsgemäß ist es hierzu vorgesehen, durch eine geeignete Wahl der Positionen der Sende- und Empfangselemente innerhalb der Radarsensorknoten und knotenübergreifend eine virtuelle Apertur zu erzeugen, in der mindestens eine virtuelle Elementposition doppelt vorkommt. Es wird ein doppelt vorkommendes Aperturelement erzeugt. Dieses Element besteht aus einem Sende- und zwei Empfangselementen des einen Radarsensorknotens und einem Sendeelement des anderen Radarsensorknotens. Alternativ können auch zwei Sende- und ein Empfangselement des einen Radarsensorknotens und ein Empfangselement des anderen Radarsensorknotens verwendet werden.

Für die beiden Radarsensorknoten S1, S2 sind in der Fig. 4 beispielhaft die Phasendifferenzen ϕ_0 bis ϕ_3 eingezeichnet. Diese werden bei einer Übertragung von Sendeelement Tx2 des zweiten Radarsensorknotens S2 zu Empfangselement Rx3 des ersten Radarsensorknotens S1 und bei Übertragung von Sendeelement Tx1 des ersten Radarsensorknotens S1 zu Empfangselement Rx1 des ersten Radarsensorknotens S1 betrachtet. Um sicherzustellen, dass die Aperturelemente der vir-

tuellen Apertur bzw. die Empfangselemente äquivalent sind, muss Folgendes erfüllt sein (die Aperturelemente sind zur Vereinfachung entlang der x-Achse angeordnet):

$$X_{Tx2}(S2) + X_{Rx3}(S1) = X_{Tx1}(S1) + X_{Rx1}(S1)$$

Die Radarsensorknoten S1, S2 werden derart angeordnet bzw. voneinander beabstandet und die Sende- und Empfangselemente der Radarsensorknoten derart ausgelegt, dass diese Bedingung für jeden Radarsensorknoten zu mindestens einem anderen Radarsensorknoten erfüllt ist.

In der Fig. 4 ist schematisch dargestellt, dass die Sende- und Empfangselemente des ersten Radarsensorknotens S1 ein knoteninternes Feld F1 von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur bilden. Die Sende- und Empfangselemente des zweiten Radarsensorknotens S2 bilden ein knoteninternes Feld F2 von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur. Die Sendeelemente des ersten Radarsensorknotens und die Empfangselemente des zweiten Radarsensorknotens bilden ein knotenübergreifendes Feld Fx von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur. Im dargestellten Beispiel ergibt sich ein doppeltes Element 26, das sowohl im knoteninternen Feld F2 des zweiten Radarsensorknotens S2 als auch im knotenübergreifenden Feld Fx vorkommt. In anderen Worten entspricht eine Position eines ersten Aperturelements des knoteninternen Feldes einer Position eines zweiten Aperturelements des knotenübergreifenden Feldes. An diesem doppelten Aperturelement 26 muss aufgrund des Abstands der Radarsensorknoten voneinander bzw. der Anordnung der Sende- und Empfangselemente der Radarsensorknoten die Phase gleich sein. Bei einer Abweichung kann eine Kalibrierung vorgenommen werden.

Wird beim Betrieb eines Radarsensorknotens dann eine Messung durchgeführt, kann das Sensorsystem vollständig automatisch kalibriert werden. Hierzu ist es erforderlich, dass Objekte gemessen werden, die sich im Fernfeld des Sensorsystems befinden. Diese Voraussetzung ist normalerweise gegeben, da dazu Objekte in einer Entfernung von ca. mindestens 20 m ausreichen. Die Positionen der Objekte müssen nicht bekannt sein.

Die Messdaten werden hinsichtlich der Entfernung und der Relativgeschwindigkeit (Doppler) ausgewertet. Dies führt normalerweise zu einer Entfernungs-Doppler-Matrix. Für die zur Kalibrierung betrachteten Signalpfade, also für das doppelt vorhandene Aperturelement 26, müssen die Matrizen im kalibrierten System identisch sein, da diese exakt dieselbe Messung abbilden. Tatsächlich kann hier jedoch eine Phasendifferenz

$$\Delta\phi = \phi_0 + \phi_3 - (\phi_1 + \phi_2)$$

bestehen. Diese Phasendifferenz wird bestimmt, indem die beiden Entfernungs-Doppler-Matrizen korreliert werden. Bei der Korrelation wird die Entfernung verschoben (in gängigen Definitionen stattdessen eine Zeit t). Die Korrelation führt neben der Phasendifferenz $\Delta\phi$ auch zu gegebenenfalls auftretenden Laufzeitverschiebungen. Aufgrund einer bereits durchgeführten Kalibrierung des ersten Radarsensorknotens S1 ist bekannt, wie sich die Phasen ϕ_1 bis ϕ_3 zueinander verhalten. Die fehlende Beziehung zu ϕ_0 kann nun durch Lösen der letzten Gleichung bestimmt werden. Wurden alle Radarsensorknoten unabhängig kalibriert, kann durch die vorhandenen überlappenden Aperturelemente die knotenübergreifende Kalibrierung durchgeführt werden.

Hierbei ist es auch möglich, dass das selbstkalibrierende Sensorsystem weitere Radarsensorknoten umfasst. Wenn die Kalibrierung eines Radarsensorknotens bekannt ist und die weiteren Radarsensorknoten gleichartige Anordnungen der Sende- und Empfangselemente aufweisen, kann, wie zuvor beschrieben, ϕ_0 ermittelt werden. Für die Phasen ϕ_{12} der Signale Tx2 (S2) zu Rx1 (S1) und ϕ_{21} Tx2 (S1) zu Rx1 (S2) gilt:

$$\phi_{12} - \phi_{21} = \phi_0 + \phi_2 - (\phi_{Tx2}(S1) + \phi_{Rx1}(S2)),$$

da diese Signale ebenfalls gleich sein müssen. Die Phasendifferenz $\phi_{12} - \phi_{21}$ wird erneut über eine Korrelation bestimmt. Da in diesem Falle dann alle Größen der Gleichung bekannt sind außer $\phi_{Rx1}(S2)$, kann dieser Wert bestimmt werden. Demselben Prinzip folgend werden dann alle weiteren Phasen bestimmt. Mit jedem weite-

ren Radarsensorknoten im Sensorsystem muss ebenfalls ein doppeltes Aperturelement vorhanden sein, um eine Kalibrierung durchführen zu können. Dadurch ist es nicht mehr erforderlich, alle Radarsensorknoten in einem Sensorsystem zu kalibrieren. Es genügt, stattdessen einen einzigen Radarsensorknoten zu vermessen und die Kalibrierung der weiteren Radarsensorknoten automatisch vorzunehmen.

In der Darstellung der Fig. 4 ist gezeigt, dass die Radarsensorknoten über einen (optional) gemeinsamen Frequenzgenerator 24 verfügen. Dieser Frequenzgenerator 24 ist an die Radarsensorknoten S1, S2 angebunden und erzeugt eine gemeinsame Taktfrequenz. Durch die gemeinsame Taktfrequenz wird eine Drift (zusätzlich) verhindert.

In der Fig. 5 ist schematisch ein erfindungsgemäßes Kalibrierverfahren zum Kalibrieren von Radarsensorknoten eines Sensorsystems dargestellt. Das Verfahren umfasst Schritte des Ermitteln S10 von winkelunabhängigen Phasendifferenzen, des Detektierens S12 eines Objekts und des Berechnens S14 von winkelunabhängigen Phasendifferenzen des zweiten Radarsensorknotens. Das erfindungsgemäße Kalibrierverfahren kann beispielsweise als Software für ein Fahrzeugsteuergerät oder einen tragbaren Computer oder auch eine Prozessoreinheit eines Radarsensorknotens ausgeführt sein.

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 Patentansprü-

chen 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 gespeichert/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	Sensorsystem
12	Objekt
14	Umgebung
16	Fahrzeug
S1	erster Radarsensorknoten
S2	zweiter Radarsensorknoten
22	Prozessoreinheit
24	Frequenzgenerator
26	doppeltes Aperturelement

Patentansprüche

1. Sensorsystem (10) zum Detektieren eines Objekts (12) in einer Umgebung (14) eines Fahrzeugs (16), mit:

 einem ersten Radarsensorknoten (S1) und einem zweiten Radarsensorknoten (S2), die jeweils mindestens zwei Sendeelemente (Tx) zum Aussenden von Radarsignalen, mindestens zwei Empfangselemente (Rx) zum Empfangen von Reflexionen der ausgesendeten Radarsignale der beiden Radarsensorknoten sowie eine Prozessoreinheit (22) zum Detektieren eines Objekts in der Umgebung des Fahrzeugs basierend auf den empfangenen Reflexionen umfassen und die voneinander beabstandet am Fahrzeug angeordnet sind, wobei

 die Sendeelemente und die Empfangselemente des ersten Radarsensorknotens ein knoteninternes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur bilden und die Sendeelemente des ersten Radarsensorknotens und die Empfangselemente des zweiten Radarsensorknotens ein knotenübergreifendes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur bilden; und

 ein Abstand der beiden Radarsensorknoten voneinander sowie ein Abstand der Sendeelemente und Empfangselemente innerhalb des ersten Radarsensorknotens so gewählt sind, dass eine Position eines ersten Aperturelements des knoteninternen Feldes einer Position eines zweiten Aperturelements des knotenübergreifenden Feldes entspricht.

2. Sensorsystem (10) nach Anspruch 1, wobei

 das erste Aperturelement von einem ersten Sendeelement (Tx) des ersten Radarsensorknotens (S1) und einem ersten Empfangselement (Rx) des ersten Radarsensorknotens (S1) gebildet wird; und

 das zweite Aperturelement von einem zweiten Sendeelement des ersten Radarsensorknotens und einem ersten Empfangselement des zweiten Radarsensorknotens oder von einem zweiten Empfangselement des ersten Radarsensorknotens und einem ersten Sendeelement des zweiten Radarsensorknotens gebildet wird.

3. Sensorsystem (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche mit einem weiteren Radarsensorknoten, der von dem ersten Radarsensorknoten (S1) und dem zweiten Radarsensorknoten (S2) beabstandet am Fahrzeug (16) angeordnet ist, wobei
die Sendeelemente (Tx) und die Empfangselemente (Rx) des weiteren Radarsensorknotens ein weiteres knoteninternes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur bilden und die Sendeelemente oder die Empfangselemente des weiteren Radarsensorknotens und die Sendeelemente oder die Empfangselemente des ersten Radarsensorknotens und/oder des zweiten Radarsensorknotens ein weiteres knotenübergreifendes Feld von Aperturelementen einer virtuellen Empfangsapertur bilden; und
ein Abstand des weiteren Radarsensorknotens von dem ersten Radarsensorknoten und dem zweiten Radarsensorknoten sowie ein Abstand der Sendeelemente und Empfangselemente innerhalb des weiteren Radarsensorknotens so gewählt sind, dass eine Position eines weiteren ersten Aperturelements des weiteren knoteninternen Felds einer Position eines weiteren zweiten Aperturelements des weiteren knotenübergreifenden Felds entspricht.
4. Sensorsystem (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Radarsensorknoten (S1, S2) am Fahrzeug (16) in einem Abstand größer als 20 cm, vorzugsweise größer als 50 cm, voneinander angeordnet sind.
5. Sensorsystem (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Radarsensorknoten (S1, S2) zum Aussenden und Empfangen von Radarsignalen in einem Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz, bevorzugt von 77 GHz, ausgebildet sind.
6. Sensorsystem (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit einem Frequenzgenerator (24) zum Erzeugen einer gemeinsamen Taktfrequenz, vorzugsweise eine Taktfrequenz im Bereich von 20 GHz, für die Radarsensorknoten (S1, S2), wobei der Frequenzgenerator an die Radarsensorknoten angebunden ist.

7. Sensorsystem (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Radarsensorknoten (S1, S2) jeweils dieselbe Anzahl an Sendeelementen (Tx) und Empfangselementen (Rx) und dieselbe Topologie aufweisen.
8. Fahrzeug mit einem Sensorsystem (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche.
9. Kalibrierverfahren zum Kalibrieren von Radarsensorknoten (S1, S2) eines Sensorsystems (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, mit den Schritten:
 - Ermitteln (S10) von winkelunabhängigen Phasendifferenzen der Sendeelemente und der Empfangselemente des ersten Radarsensorknotens;
 - Detektieren (S12) eines Objekts (12) in der Umgebung (14) des Fahrzeugs (16) in einem Fernfeld der Radarsensorknoten; und
 - Berechnen (S14) von winkelunabhängigen Phasendifferenzen der Sendeelemente und der Empfangselemente des zweiten Radarsensorknotens.
10. Kalibrierverfahren nach Anspruch 9, wobei die Schritte des Detektierens (S12) und des Berechnens (S14) beim Betrieb des Fahrzeugs (16) wiederkehrend, vorzugsweise in regelmäßigen Zeitabständen, ausgeführt werden.
11. Kalibrierverfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 10, wobei der Schritt des Berechnens (S14) ein Ermitteln von Entfernungs-Doppler-Matrizen für die Signalpfade des ersten Aperturelements und des zweiten Aperturelements und ein Korrelieren der ermittelten Entfernungs-Doppler-Matrizen umfasst.
12. Computerprogrammprodukt mit Programmcode zum Durchführen der Schritte des Kalibrierverfahrens nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wenn der Programmcode auf einem Computer ausgeführt wird.

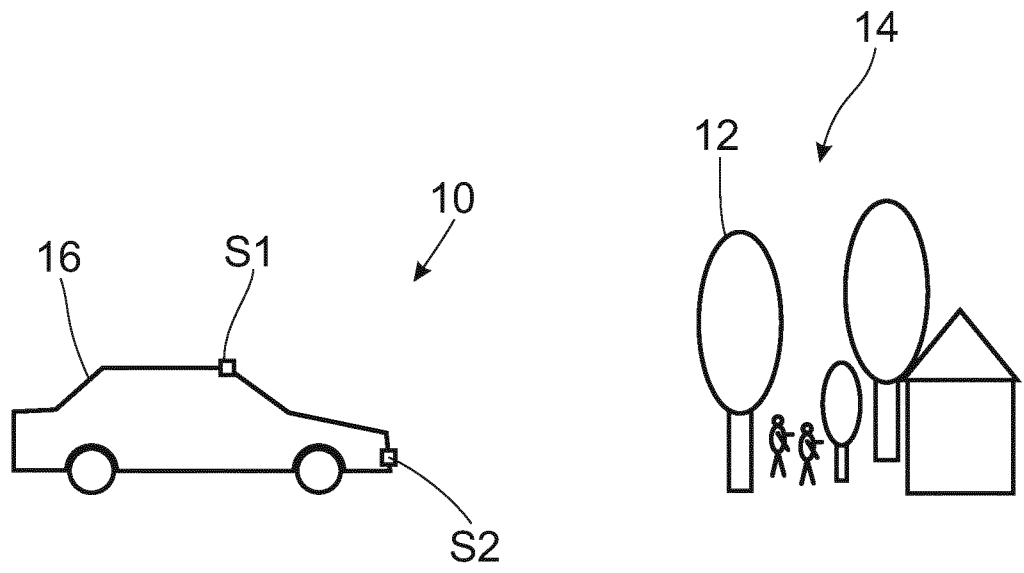


Fig. 1

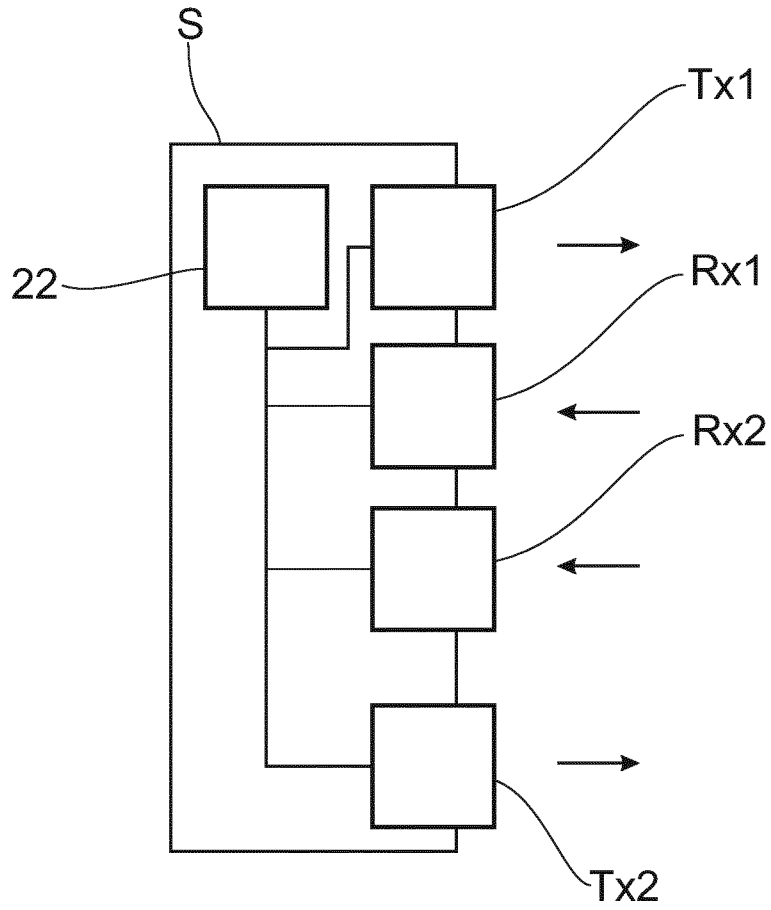


Fig. 2

2/3

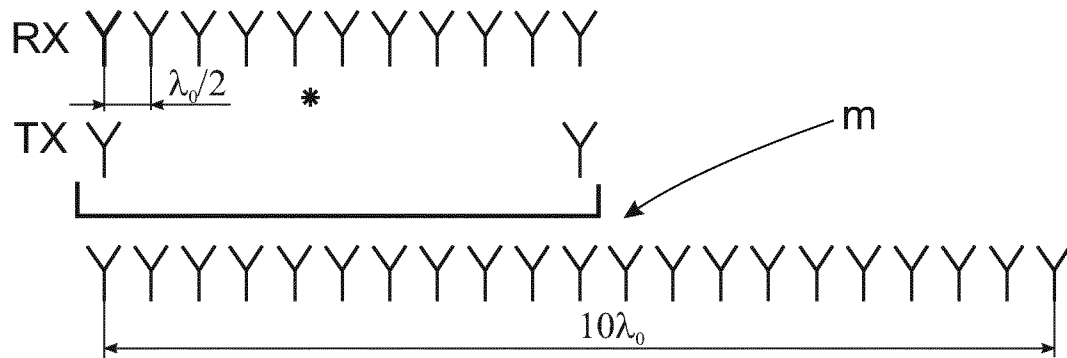


Fig. 3

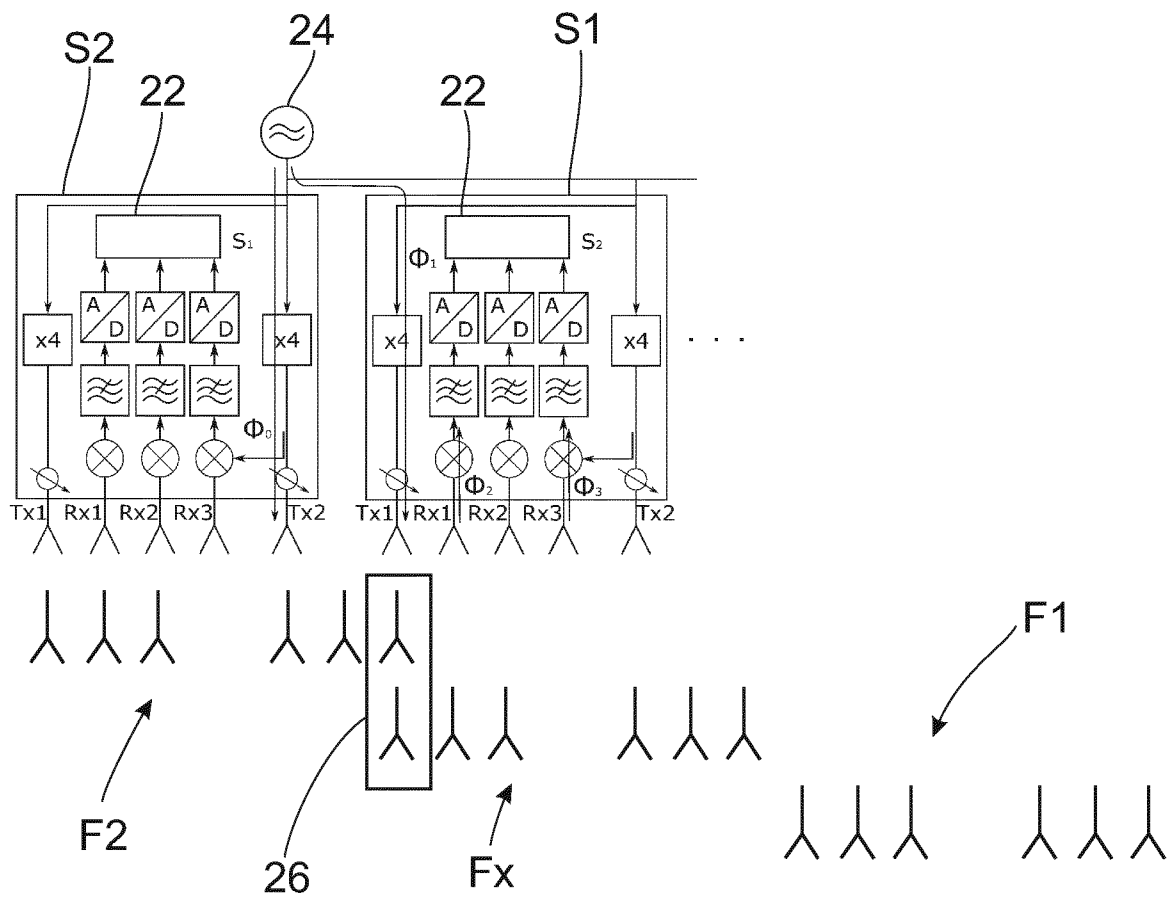


Fig. 4

3/3

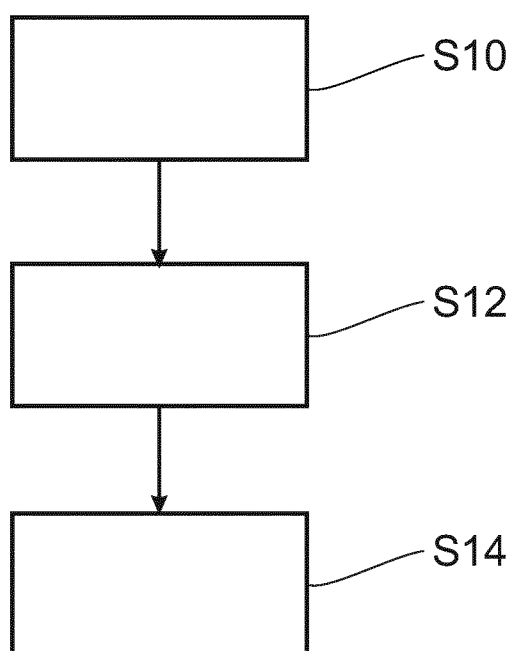


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/051928

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*G01S 13/87*(2006.01)i; *G01S 7/40*(2006.01)i; *G01S 13/42*(2006.01)i; *G01S 13/931*(2020.01)i

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	US 2016146931 A1 (RAO SANDEEP [IN] ET AL) 26 May 2016 (2016-05-26) paragraph [0074] - paragraph [0093]; figures 7,8	1-12
A	DE 102008061932 A1 (ASTYX GMBH [DE]) 01 July 2010 (2010-07-01) abstract; figures 2,3	1-12
A	US 2018166794 A1 (RAPHAELI DANI [IL] ET AL) 14 June 2018 (2018-06-14) the whole document	1-12
A	US 2013113652 A1 (SMITS FELIX MARIA ANTONIUS [NL] ET AL) 09 May 2013 (2013-05-09) abstract; figures 1a, 1b	1-12
A	SCHMID C M ET AL. "Motion compensation and efficient array design for TDMA FMCW MIMO radar systems" <i>INSPEC, THE INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB</i> , 01 January 2012 (2012-01-01), XP002762927 the whole document	1-12



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

14 April 2020

Date of mailing of the international search report

23 April 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

Rudolf, Hans

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/051928

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2016146931	A1	26 May 2016	US	2016146931	A1	26 May 2016
				US	2017363714	A1	21 December 2017
DE	102008061932	A1	01 July 2010	DE	102008061932	A1	01 July 2010
				DE	112009004417	A5	28 June 2012
				WO	2010066458	A1	17 June 2010
US	2018166794	A1	14 June 2018	CN	108232468	A	29 June 2018
				DE	102017129503	A1	14 June 2018
				US	2018166794	A1	14 June 2018
US	2013113652	A1	09 May 2013	EP	2545392	A1	16 January 2013
				US	2013113652	A1	09 May 2013
				WO	2011112083	A1	15 September 2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01S13/87 G01S7/40 G01S13/42 G01S13/931 ADD.		
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	US 2016/146931 A1 (RAO SANDEEP [IN] ET AL) 26. Mai 2016 (2016-05-26) Absatz [0074] - Absatz [0093]; Abbildungen 7,8	1-12
A	DE 10 2008 061932 A1 (ASTYX GMBH [DE]) 1. Juli 2010 (2010-07-01) Zusammenfassung; Abbildungen 2,3	1-12
A	US 2018/166794 A1 (RAPHAELI DANI [IL] ET AL) 14. Juni 2018 (2018-06-14) das ganze Dokument	1-12
A	US 2013/113652 A1 (SMITS FELIX MARIA ANTONIUS [NL] ET AL) 9. Mai 2013 (2013-05-09) Zusammenfassung; Abbildungen 1a, 1b	1-12
	-/-	
☒ 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
14. April 2020		23/04/2020
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 Rudolf, Hans

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	SCHMID C M ET AL: "Motion compensation and efficient array design for TDMA FMCW MIMO radar systems", INSPEC, THE INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB, 1. Januar 2012 (2012-01-01), XP002762927, das ganze Dokument -----	1-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/051928

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2016146931 A1	26-05-2016	US 2016146931 A1	26-05-2016
		US 2017363714 A1	21-12-2017

DE 102008061932 A1	01-07-2010	DE 102008061932 A1	01-07-2010
		DE 112009004417 A5	28-06-2012
		WO 2010066458 A1	17-06-2010

US 2018166794 A1	14-06-2018	CN 108232468 A	29-06-2018
		DE 102017129503 A1	14-06-2018
		US 2018166794 A1	14-06-2018

US 2013113652 A1	09-05-2013	EP 2545392 A1	16-01-2013
		US 2013113652 A1	09-05-2013
		WO 2011112083 A1	15-09-2011
