(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
30. Dezember 2020 (30.12.2020)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/259903 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01S 13/931 (2020.01) *G01S 13/00* (2006.01)
G01S 13/32 (2006.01) *G01S 13/46* (2006.01)
G01S 13/58 (2006.01) *G01S 13/75* (2006.01)
G01S 13/74 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/062382

(22) Internationales Anmeldedatum:
05. Mai 2020 (05.05.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 209 310.8
27. Juni 2019 (27.06.2019) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **HASCH, Juergen**; Alte Stuttgarter Str. 12, 70195 Stuttgart (DE). **WALDSCHMIDT, Christian**; Auf dem Hart 6, 89081 Ulm (DE). **MEINECKE, Benedikt**; Gartenhalde 18, 89081 Ulm (DE). **SCHWEIZER, Benedikt**; Kasernenstrasse 7, 89231 Neu-Ulm (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, DE, 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, 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)*

(54) **Title:** OFDM RADAR SENSOR SYSTEM HAVING ACTIVELY RETURNING REPEATER

(54) **Bezeichnung:** OFDM-RADARSENSORSYSTEM MIT AKTIV ZURÜCKSENDENDEM REPEATER

(57) **Abstract:** The invention relates to an OFDM radar sensor system having a plurality of transmitting and receiving units (12, 14), wherein one of the transmitting and receiving units is an OFDM radar sensor (12) and another of the transmitting and receiving units is a repeater (14) which is designed to modulate a signal (22), which is generated and transmitted by the OFDM radar sensor (12) and received by the repeater (14), into a signal orthogonal to the signal (22) received by the repeater (14) and transmit the modulated signal (24). The OFDM radar sensor (12) is designed to separate a portion (26) of a signal (20, 26), which is received by the OFDM radar sensor (12) and corresponds to the modulated signal (24), from a monostatic portion (20) of the signal (20, 26) received by the OFDM radar sensor (12).

(57) **Zusammenfassung:** OFDM-Radarsensorsystem mit mehreren Sende- und Empfangseinheiten (12, 14), wobei eine der Sende- und Empfangseinheiten ein OFDM-Radarsensor (12) ist und wobei eine andere der Sende- und Empfangseinheiten ein Repeater (14) ist, der dazu konfiguriert ist, ein von dem OFDM-Radarsensor (12) erzeugtes und gesendetes und von dem Repeater (14) empfangenes Signal (22) in ein zu dem von dem Repeater (14) empfangenen Signal (22) orthogonales Signal zu modulieren und das modulierte Signal (24) auszusenden, und wobei der OFDM-Radarsensor (12) dazu konfiguriert ist, einen dem modulierten Signal (24) entsprechenden Anteil (26) eines vom OFDM-Radarsensor (12) empfangenen Signals (20, 26) von einem monostatischen Anteil (20) des vom OFDM-Radarsensor (12) empfangenen Signals (20, 26) zu trennen.

WO 2020/259903 A1

Beschreibung

Titel

OFDM-Radarsensorsystem mit aktiv zurücksendendem Repeater

Die Erfindung betrifft ein OFDM-Radarsensorsystem.

Digitale Modulationsverfahren mit mehreren Trägerfrequenzen sind als OFDM-(orthogonal frequency division multiplex)-Verfahren bekannt. Ein Einsatz von OFDM-Verfahren für Radarsysteme wird zunehmend untersucht. Bei einem OFDM-Verfahren wird ein Frequenzband in mehrere orthogonale Unterbänder jeweiliger Unterträger oder sub-carriers aufgeteilt (FDM, frequency division multiplexing), und es werden OFDM-Symbole sequentiell nacheinander gesendet. Das gesendete Signal eines OFDM-Symbols ist zusammengesetzt aus gemäß einem Modulationsschema des Symbols modulierten, zueinander orthogonalen Unterträger-Signalen (sub-carrier signals), die gleichzeitig innerhalb der OFDM-Symbol-Periode gesendet werden. Dazu werden die Unterträgerfrequenzen so gewählt, dass im Frequenzspektrum das Maximum eines Unterträgers auf einem Nulldurchgang der anderen Unterträger liegt.

Beim empfangenen Signal kann anhand der Laufzeit der OFDM-Symbole eine Entfernung eines Radarobjekts geschätzt werden, während anhand eines aus dem Doppler-Effekt resultierenden Phasenverlaufs über eine Folge von OFDM-Symbolen eine Geschwindigkeitsschätzung vorgenommen werden kann. Mehrere Radarobjekte verursachen eine Summe von verzögerten und dopplerverschobenen Echos des gesendeten OFDM-Signals. Durch einen Zyklusvorspann (Prefix) vor der Symbol-Periode können sich überlagernde Radarechos mit un-

terschiedlichen Laufzeiten von Radarechos eines nachfolgenden OFDM-Symbols getrennt werden.

„Design of Low-Power Active Tags for Operation with 77-81 GHz FMCW Radar", M. S. Dadash, J. Hasch, P. Chevalier, A. Cathelin, N. Cahoon und S. P. Voinigescu, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 65, no. 12, pp. 5377-5388, Dec. 2017, beschreibt einen aktiven Transponder ("active tag"), der ein empfangendes Radarsignal mit einem Rechtecksignal phasenmoduliert und erneut aussendet. Das „active tag" kann anhand des zurückgestrahlten Signals vom Radarsensor erkannt werden und kann dadurch ein mit dem „active tag" ausgestattetes Zielobjekt kennzeichnen.

Offenbarung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein neuartiges OFDM-Radarsensorsystem mit mehreren Sende- und Empfangseinheiten zur Verfügung zu stellen, bei dem mono- und bistatische Radarzielantworten der Sende- und Empfangseinheiten ausgewertet werden können.

Dies Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein OFDM-Radarsensorsystem mit mehreren Sende- und Empfangseinheiten, wobei eine der Sende- und Empfangseinheiten ein OFDM-Radarsensor ist und wobei eine andere der Sende- und Empfangseinheiten ein Repeater ist, der dazu konfiguriert ist, ein von dem OFDM-Radarsensor erzeugtes und gesendetes und von dem Repeater empfangenes Signal in ein zu dem von dem Repeater empfangenen Signal orthogonales Signal zu modulieren und das modulierte Signal auszusenden, und wobei der OFDM-Radarsensor dazu konfiguriert ist, einen dem modulierten Signal entsprechenden Anteil eines von dem OFDM-Radarsensor empfangenen Signals von einem monostatischen Anteil des von dem OFDM-Radarsensor empfangenen Signals zu trennen.

Der Repeater ist somit dazu konfiguriert, das von dem Repeater empfangene Signal, welches ein von dem OFDM-Radarsensor erzeugtes und gesendetes Signal ist, zu modulieren und das modulierte Signal auszusenden, wobei das modulierte Signal orthogonal zu dem von dem Repeater empfangenen Signal ist. Mit anderen Worten ist der Repeater dazu konfiguriert, aus einem empfangenen Signal durch Modulieren des empfangenen Signals ein moduliertes Signal zu erzeugen und das modulierte Signal auszusenden.

Das vom OFDM-Radarsensor erzeugte und gesendete und vom Repeater empfangene Signal wird nachfolgend auch als das vom Repeater empfangene Signal bezeichnet.

Der Repeater kann auch als Transceiver bezeichnet werden.

Unter einem monostatischen Anteil wird hier ein Anteil des empfangenen Signals verstanden, der als Radarecho des von dem OFDM-Radarsensor gesendeten Sendesignals auf einem Sende- und Empfangspfad ohne Zwischenschalten des Repeaters empfangen wird. Monostatische Signalanteile, auf deren Sende- und Empfangspfad der Repeater nicht durchlaufen wurde, werden unterschieden von bistatischen Signalanteilen, die einen Sende- und Empfangspfad ausgehend vom OFDM-Radarsensor unter Einbeziehung des Repeaters durchlaufen haben und somit zuletzt vom Repeater gesendet wurden. Aufgrund der Orthogonalität stören sich die monostatischen und bistatischen Signalanteile des von dem OFDM-Radarsensor empfangenen Signals nicht gegenseitig.

Die Orthogonalität bezieht sich auf die OFDM-Kodierung des Sendesignals. Insbesondere wird unter einem orthogonalen Signal hier ein bezüglich der OFDM-Kodierung des Sendesignals bzw. des vom Repeater empfangenen Signals orthogonales Signal verstanden. Insbesondere sind zwei Signale, wie

das von dem Repeater empfangene Signal und das modulierte Signal, orthogonal zueinander, wenn in einem der beiden Signale enthaltene, d.h. belegte OFDM-Unterträger jeweils orthogonal sind zu den jeweiligen im anderen Signal enthaltenen, d.h. belegten OFDM-Unterträgern. Die Orthogonalität kann beispielsweise durch Verwendung anderer Frequenzbänder anstelle der Frequenzbänder des Sendesignals bzw. Radarechos oder durch Verwendung eines anderen Frequenzbereichs gegeben sein.

Da die empfangenen bistatischen Signalanteile orthogonal zu den monostatischen Signalanteilen sind, können sie am OFDM-Radarsensor von den monostatischen Signalanteilen zuverlässig unterschieden werden. Indem außerdem der Repeater das modulierte Signal aktiv aussendet, kann eine starke Abschwächung des zurückgesendeten Signals vermieden werden, wie sie etwa bei einem passiven Signalreflektor auftreten würde. Es wird insbesondere ermöglicht, eine durch das doppelte Durchlaufen des Sende- und Empfangspfades reduzierte Signalstärke ganz oder zumindest teilweise zu kompensieren.

Der Repeater entspricht einem „virtuellen OFDM-Radarsensor“, dessen zugehörige Radarechos jedoch am eigentlichen OFDM-Radarsensor ausgewertet werden. Sowohl die Auswertung als auch die Modulation ins HF-Frequenzband und die Demodulation ins Basisband finden nur an einer Haupt-Sende- und Empfangseinheit statt, dem OFDM-Radarsensor. Am OFDM-Radarsensor gleichzeitig empfangene monostatische Signalanteile und dem modulierten Signal entsprechende bistatische Signalanteile können aufgrund ihrer Orthogonalität getrennt ausgewertet werden. Es wird ermöglicht, dass bei dem verteilten OFDM-Radarsensorsystem die Sende- und Empfangseinheiten miteinander kooperieren, wobei die Sende- und Empfangseinheiten zugleich autonom sind und einen OFDM-Radarsensor sowie wenigstens einen Repeater umfassen. Da die Repeater lediglich eine Modulation, beispielsweise eine einfache Frequenzverschiebung des empfangenen und wieder ausgesendeten Signals vorneh-

men, gehen alle vom OFDM-Radarsensor empfangenen Signale auf die Radarfrequenz des lokalen Oszillators des OFDM-Radarsensors zurück, so dass eine genaue Auswertung der Radarechos der Sende- und Empfangseinheiten ermöglicht wird. Insbesondere gehen die von den unterschiedlichen Sende- und Empfangseinheiten stammenden, empfangenen Radarechos auf jeweils ein selbes OFDM-Symbol während einer gegebenen OFDM-Symbolperiode zurück, so dass die Amplituden und Phasenverschiebungen der Radarechos am OFDM-Radarsensor kohärent sind und zentral präzise bestimmt werden können. Die orthogonalen Signale ermöglichen eine eindeutige Zuordnung der Signalquelle (OFDM-Radarsensor oder Repeater) bei der Auswertung im OFDM-Radarsensor. Je nach relativer Anordnung eines oder mehrerer Repeater zum OFDM-Radarsensor kann somit eine sehr breite virtuelle Apertur des OFDM-Radarsensorsystems erzeugt werden. Durch die Verwendung von einem lokalen Oszillator nur im OFDM-Radarsensor kann der Einfluss von Phasenrauschen minimiert werden. Es wird somit eine verbesserte Ortung von Radarzielen ermöglicht. Insbesondere wird eine Auswertung aus zwei unterschiedlichen Sensorpositionen ermöglicht, nämlich vom eigentlichen OFDM-Radarsensor und von einer virtuellen Sensorposition entsprechend der Position des Repeaters. Dies kann insbesondere zur Auswertung von Zielen im Nahbereich unterhalb von 50 oder 100 Metern vorteilhaft sein.

Insbesondere kann der Repeater dazu konfiguriert sein, ein von dem Repeater empfangenes Radarecho des von dem OFDM-Radarsensor gesendeten Sendesignals zu modulieren, insbesondere in ein zu dem Radarecho orthogonales Signal zu modulieren, und das modulierte Signal auszusenden. Mit anderen Worten kann der Repeater dazu konfiguriert sein, aus einem von einem Radarziel empfangenen Radarecho eines von dem OFDM-Radarsensor gesendeten Sendesignals durch Modulieren des empfangenen Radarechos ein moduliertes Signal zu erzeugen und das modulierte Signal auszusenden. Insbesondere

kann das modulierte Signal auf demselben Sende- und Empfangspfad zurückgesendet werden.

Bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Vorzugsweise enthält das von dem Repeater ausgesendete Signal das von dem Repeater empfangene Signal um einen vorbestimmten Frequenzversatz frequenzverschoben. Mit anderen Worten ist das von dem Repeater empfangene und durch Modulation um einen vorbestimmten Frequenzversatz frequenzverschobene Signal in dem von dem Repeater ausgesendeten Signal enthalten. Somit weist das von dem Repeater erzeugte modulierte Signal Frequenzkomponenten auf, die gegenüber entsprechenden Frequenzkomponenten des von dem Repeater empfangenen Signals um einen vorbestimmten Frequenzversatz frequenzverschoben sind. Besonders vorteilhaft ist dabei, dass im jeweiligen Repeater mit einfachen schaltungstechnischen Mitteln eine Erzeugung der orthogonalen Signale ermöglicht wird, die eine eindeutige Zuordnung der Signalquelle (OFDM-Radarsensor oder Repeater) bei der Auswertung im OFDM-Radarsensor ermöglichen. Insbesondere ist im Repeater kein HF-Oszillator erforderlich, und es kann ein relativ einfach aufgebauter Repeater verwendet werden. Dies ist besonders vorteilhaft hinsichtlich der Robustheit wie auch der Herstellungskosten des Systems.

Vorzugsweise ist der Repeater dazu konfiguriert, dass von dem OFDM-Radarsensor erzeugte und gesendete und von dem Repeater empfangene Signal durch Frequenzverschieben um einen vorbestimmten Frequenzversatz in das zu dem von dem Repeater empfangenen Signal orthogonale Signal zu modulieren. Die Orthogonalität wird somit durch Verschieben um einen Frequenzversatz oder Frequenzoffset hergestellt. Die Aufgabe wird somit gelöst durch ein OFDM-Radarsensorsystem mit mehreren Sende- und Empfangseinheiten, wobei eine der Sende- und Empfangseinheiten ein OFDM-Radarsensor ist und

wobei eine andere der Sende- und Empfangseinheiten ein Repeater ist, der dazu konfiguriert ist, ein von dem OFDM-Radarsensor erzeugtes und gesendetes und von dem Repeater empfangenes Signal durch Frequenzverschieben um einen vorbestimmten Frequenzversatz in ein zu dem von dem Repeater empfangenen Signal orthogonales Signal zu modulieren und das modulierte Signal auszusenden, und wobei der OFDM-Radarsensor dazu konfiguriert ist, einen dem modulierten Signal entsprechenden Anteil eines von dem OFDM-Radarsensors empfangenen Signals von einem monostatischen Anteil des von dem OFDM-Radarsensor empfangenen Signals zu trennen.

Die Modulation durch Frequenzverschieben um einen vorbestimmten Frequenzversatz hat den besonderen Vorteil, dass die Auswertung am eigentlichen OFDM-Radarsensor für die dem modulierten Signal entsprechenden empfangenen Signalanteile in gleicher Weise wie die Auswertung der monostatischen empfangenen Signalanteile erfolgen kann. In vorteilhafter Weise kann somit der Aufwand zur Signalverarbeitung im OFDM-Radarsensorsystem trotz der Bereitstellung eines „virtuellen Radarsensors“ am Ort des Repeaters minimiert werden. Dabei wird durch die orthogonale Modulation dennoch die Trennung der monostatischen und bistatischen Signalanteile ermöglicht.

Das Frequenzverschieben um einen vorbestimmten Frequenzversatz wird vorzugsweise durch Phasenverschieben eines I/Q-Signals durchgeführt, wobei die Phasenverschiebung gemäß einer harmonischen Schwingung variiert mit einer Frequenz entsprechend dem vorbestimmten Frequenzversatz. Auf diese Weise kann eine Konvertierung der komplexen Frequenz des I/Q-Signals erfolgen, bei der kein unerwünschtes, zweites Seitenband entsteht. Es sind jedoch auch andere Arten der Modulation denkbar, wie etwa eine Phasenmodulation oder eine Amplitudenmodulation.

Vorzugsweise weist der Repeater einen Modulator zum Frequenzverschieben eines von dem Repeater empfangenen Signals um einen vorgegebenen Frequenzabstand auf, wobei der Modulator aufweist: einen I/Q-Splitter, der dazu eingerichtet ist, aus einem von dem Repeater empfangenen Signal I/Q-Signalkomponenten bereitzustellen, die gegeneinander um 90° phasenverschoben sind, bezogen auf eine Referenzradarfrequenz; Multiplizierer, die dazu eingerichtet sind, die jeweiligen I/Q-Signalkomponenten vorzeichenbehaftet mit jeweiligen I/Q-Modulationssignal-Komponenten eines Modulationssignals zu multiplizieren, wobei das Modulationssignal eine Frequenz aufweist, die dem vorgegebenen Frequenzabstand entspricht; und einen Ausgang, an welchem Ausgangssignalkomponenten der Multiplizierer kombiniert werden. Das Modulationssignal entspricht vorzugsweise einer harmonischen Schwingung. Am Ausgang wird das zu dem vom Repeater empfangenen Signal orthogonale Signal bereitgestellt. Der Modulator ermöglicht es, eine echte Frequenzverschiebung um einen Frequenzabstand entsprechend einer Modulationsfrequenz vorzunehmen, ohne dass dabei unerwünschte Harmonische der Modulationsfrequenz erzeugt werden, wobei dennoch ein schaltungstechnisch einfacher Aufbau des Repeaters ermöglicht wird. So ist insbesondere kein HF-Oszillator im Repeater erforderlich, und es muss kein HF-Oszillatorsignal zugeführt werden. Vorteilhaft ist auch, dass ein System realisiert werden kann, bei dem keine Synchronisationssignale über Signalverbindungsleitungen zwischen den Sende- und Empfangseinheiten übertragen werden müssen. Vorteilhaft ist außerdem, dass beispielsweise der I/Q-Splitter als passives Netzwerk aufgebaut sein kann, beispielsweise als RLC-Netzwerk oder insbesondere als LC-Netzwerk. Der beschriebene Modulator ermöglicht es somit, trotz eines schaltungstechnisch relativ einfachen Aufbaus aus einem im vom Repeater empfangenen Signal enthaltenen OFDM-Symbol ein dazu orthogonales OFDM-Symbol zu erzeugen, welches dann von dem Repeater ausgesendet wird. Vorteilhaft ist weiter, dass mit dem Repeater ein sehr robustes System geschaffen werden kann. Zudem ergibt sich durch die mögliche getrennte Auswertung der monostatischen

und bistatischen Anteile des empfangenen Signals am OFDM-Radarsensor eine hohe Leistungsfähigkeit des Systems.

Die Referenzradarfrequenz kann beispielsweise eine Referenz- oder Haupt-Trägerfrequenz der OFDM-Symbole des Radarsensors sein und kann der Frequenz eines lokalen HF-Oszillators des OFDM-Radarsensors entsprechen.

Das Kombinieren ist vorzugsweise ein lineares Kombinieren und kann insbesondere ein Addieren oder Subtrahieren sein. Der Ausgang kann beispielsweise ein Summenausgang sein, an dem die Ausgangssignalkomponenten der Multiplizierer summiert werden. Je nach Vorzeichen der I/Q-Modulationssignalkomponenten kann auch ein Differenzausgang verwendet werden, an welchem die Ausgangssignalkomponenten der Multiplizierer subtrahiert werden. Das Kombinieren der Ausgangssignalkomponenten erfolgt unter Beibehaltung der Phasen.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist der vorbestimmte Frequenzversatz ein Frequenzversatz, bei welchem ein im vom Repeater empfangenen Signal enthaltener OFDM-Unterträger orthogonal zu einem entsprechenden um den Frequenzversatz verschobenen OFDM-Unterträger im modulierten Signal ist. Dies ist der Fall, wenn die Bedingung erfüllt ist, dass der Frequenzversatz $\Delta f0$ gleich einem ein- oder mehrfachen, ganzzahligen Vielfachen des Kehrwerts der Symbol-Periode T ist: $\Delta f0 = k / T$, wobei k eine ganze Zahl ungleich Null ist. Insbesondere kann der Frequenzversatz $\Delta f0$ ein ganzzahliges Mehrfaches des Unterträgerabstands Δf des OFDM-Frequenzschemas sein: $\Delta f0 = k\Delta f$. Alternativ oder gleichzeitig kann der Frequenzversatz $\Delta f0$ größer als eine Bandbreite des von dem OFDM-Radarsensor gesendeten Sendesignals oder des von dem Repeater empfangenen Signals sein. Das modulierte Signal ist vorzugsweise gegenüber dem vom Repeater empfangenen Signal um den genannten Frequenzversatz verschoben.

Vorzugsweise weist das von dem OFDM-Radarsensor erzeugte und gesendete Signal unbelegte OFDM-Unterträger im Frequenzspektrum auf, wobei der Repeater dazu eingerichtet ist, aus im vom Repeater empfangenen Signal belegten OFDM-Unterträgern frequenzverschobene OFDM-Unterträger zu erzeugen, welche in Frequenzbereichen liegen, die Frequenzbereichen von unbelegten OFDM-Unterträgern im vom Repeater empfangenen Signal entsprechen.

Durch einen vergrößerten, beispielsweise verdoppelten Trägerabstand der belegten Unterträger können in den Lücken zwischen den belegten Unterträgern die synthetisch erzeugten Unterträger des vom Repeater ausgesendeten Signals übertragen werden. Beispielsweise sind im modulierten Signal Unterträger belegt, die (im Frequenzraum oder, genauer, im OFDM-Trägerspektrum) verschachtelt sind mit belegten Unterträgern in dem vom OFDM-Radarsensor erzeugten und gesendeten und vom Repeater empfangenen Signal. D.h., im modulierten Signal sind Unterträger belegt, die zwischen den belegten Unterträgern des von dem vom Repeater empfangenen Signals liegen.

In einer bevorzugten Ausführungsform belegt das von dem OFDM-Radarsensor gesendete Sendesignal nur jeden n-ten Unterträger des OFDM-Frequenzschemas, wobei n eine natürliche Zahl größer als 1 ist, und wobei das modulierte Signal gegenüber dem vom Repeater empfangenen Signal um einen Frequenzversatz $\Delta f0$ verschoben ist, der einem (m + pn)-fachen eines Unterträgerabstands Δf des OFDM-Frequenzschemas entspricht, wobei m eine natürliche Zahl kleiner n ist und p eine ganze Zahl ist. Das heißt, der Frequenzabstand zwischen zwei belegten Unterträgern eines OFDM-Symbols ist $n\Delta f$, und der im Repeater erzeugte Frequenzversatz ist $\Delta f0 = (m+pn)\Delta f$.

Vorzugweise ist p = 0. Das heißt, der Frequenzversatz beträgt ein m-faches des Unterträgerabstands, wobei m eine natürliche Zahl kleiner n ist. Durch eine sol-

che Verschachtelung der vom OFDM-Radarsensor für das Sendesignal genutzten Unterträger und der von dem Repeater für das modulierte Signal genutzte Unterträger kann der Frequenzbereich des Sendesignals sich mit dem Frequenzbereich des modulierten Signals maximal überschneiden, so dass Signalübertragungseigenschaften der jeweiligen Sende- und Empfangspfade der monostatischen und bistatischen empfangenen Signalanteile möglichst ähnlich sind. So kann in einem Beispiel nur jeder zweite Unterträger für das von dem OFDM-Radarsensor gesendete Sendesignal gelegt werden (n=2), und der Repeater kann das empfangene Signal um einen Unterträgerabstand versetzen (modulieren) und wieder aussenden ($\Delta f0 = +/- \Delta f$).

In einem erweiterten System, welches mehrere Repeater der beschriebenen Art umfasst, können im Falle $n > 2$ orthogonal modulierte Signale von (n-1) Repeatern mit den monostatischen Signalanteilen verschachtelt werden und können dennoch am OFDM-Radarsensor getrennt werden.

Vorzugsweise erfolgt das Trennen des dem modulierten Signal entsprechenden Anteils des empfangenen Signals von einem monostatischen Anteil des empfangenen Signals durch ein separates Auswerten von Frequenzbereichen des empfangenen Signals. Dies ermöglicht es, in einfacher Weise die separate Auswertung für entsprechende Teile eines Frequenzspektrums des empfangenen Signals für ein jeweiliges gesendetes OFDM-Symbol vorzunehmen. Im Frequenzspektrum kann eine Trennung der Signalanteile besonders einfach vorgenommen werden.

Vorzugsweise ist der OFDM-Radarsensor dazu konfiguriert, in einem oder mehreren ersten Frequenzbereichen des empfangenen Signals OFDM-Symbole zu detektieren, welche monostatischen Radarechos entsprechen, und in einem oder mehreren anderen, zweiten Frequenzbereichen des empfangenen Signals Radarechos von OFDM-Symbolen zu detektieren, welche bistatischen Radar-

echos des von dem Repeater modulierten Signals entsprechen. Anhand der Frequenzbereiche werden somit OFDM-Symbole als vom Repeater stammendes moduliertes Signal erkannt und von monostatischen Signalen unterschieden.

Wenn der Repeater das von dem OFDM-Radarsensor gesendete und vom Repeater empfangene Signal durch Frequenzverschieben um einen vorbestimmten Frequenzversatz in das zu dem vom Repeater empfangenen Signal orthogonale Signal moduliert, entsprechen der eine oder die mehreren zweiten Frequenzbereiche den um den Frequenzversatz verschobenen einen oder mehreren ersten Frequenzbereichen des empfangenen Signals. Unterträgerfrequenzen innerhalb erster Frequenzbereiche werden als OFDM-Symbole einer monostatischen Radarantwort ausgewertet, Unterträgerfrequenzen innerhalb zweiter, anderer Frequenzbereiche werden als frequenzverschobene OFDM-Symbole einer bistatischen Radarantwort ausgewertet.

Der eine oder die mehreren ersten Frequenzbereiche umfassen vorzugsweise Frequenzen, die den belegten OFDM-Unterträgern des Sendesignals entsprechen. Der eine oder die mehreren zweiten Frequenzbereiche umfassen vorzugsweise Frequenzen, die zu den belegten OFDM-Unterträgern des Sendesignals orthogonal sind.

Beispielsweise kann der OFDM-Radarsensor dazu konfiguriert sein, erste Frequenzbereiche des empfangenen Signals, welche Frequenzen umfassen, die den belegten OFDM-Unterträgern des Sendesignals entsprechen, zu trennen von anderen, zweiten Frequenzbereichen des empfangenen Signals, welche Frequenzen umfassen, die zu den belegten OFDM-Unterträgern des Sendesignals orthogonal sind. Somit werden im Frequenzspektrum des von dem OFDM-Radarsensor empfangenen Signals die ersten Frequenzbereiche von den zwei-

ten Frequenzbereichen getrennt, und es können jeweilige enthaltene Frequenzbänder von OFDM-Unterträgern getrennt ausgewertet werden.

In den getrennten Frequenzbereichen können beispielsweise jeweils separat Radarechos von OFDM-Symbolen des Sendesignals bzw. Radarechos von dem modulierten Signal der im Repeater enthaltenen OFDM-Symbole bestimmt werden. Das heißt, es können in den ersten Frequenzbereichen enthaltene Radarechos von OFDM-Symbolen des Sendesignals detektiert werden, und es können in den zweiten Frequenzbereichen enthaltene Radarechos von im modulierten Signal des Repeaters enthaltenen OFDM-Symbolen detektiert werden.

Vorzugsweise ist der OFDM-Radarsensor dazu konfiguriert, bei einer Auswertung des dem modulierten Signal entsprechenden Anteils des empfangenen Signals eine zweifache Signallaufzeit und eine zweifache Dopplerverschiebung, welche sich aus dem zweifach zurücklegenden Sende- und Empfangspfad zwischen dem OFDM-Radarsensor und dem Repeater ergeben, für die Schätzung von Abstand und relativer Radialgeschwindigkeit eines Radarziels zu berücksichtigen. Der Sende- und Empfangspfad zwischen OFDM-Radarsensor und Repeater ist je nach den Einbaupositionen der beiden Komponenten etwa doppelt so lang wie die Laufzeit bzw. Entfernung in den monostatischen Radarechos für das gleiche Radarobjekt. Beispielsweise kann der OFDM-Radarsensor dazu konfiguriert sein, ein im Frequenzspektrum des monostatischen Signalanteils bei einer ersten Frequenzposition detektiertes Radarecho einem Radarecho zuzuordnen, welches im Frequenzspektrum des dem modulierten Signal entsprechenden Anteils des empfangenen Signals bei einer entsprechenden, zweiten Frequenzposition detektiert wird; wobei die erste Frequenzposition der einfachen Dopplerverschiebung eines Radarechos entspricht und die zweite Frequenzposition der zweifachen Dopplerverschiebung eines Radarechos des gleichen Radarziels entspricht. Entsprechend kann der OFDM-Radarsensor dazu konfiguriert sein, eine in dem monostatischen Anteil des

empfangen Signals detektierte Verzögerung eines Radarechos, welche Verzögerung der einfachen Signallaufzeit des Radarechos zwischen Sensor und Radarziel entspricht, einer in dem monostatischen Anteil des empfangen Signals detektierten Verzögerung eines Radarechos für das gleiche Radarziel zuzuordnen, welche Verzögerung dem zweifachen Durchlaufen eines Sende- und Empfangspfades zwischen Sensor, Radarziel und Repeater entspricht.

Somit wird für die Schätzung von Entfernung und Geschwindigkeit eines Radarobjekts für die bistatischen Radarechos berücksichtigt, dass der Sende- und Empfangspfad zwischen OFDM-Radarsensor und dem Repeater doppelt durchlaufen wurde.

Das OFDM-Radarsensorsystem ist vorzugsweise ein OFDM-Radarsensorsystem für ein Kraftfahrzeug. Die mehreren Sende- und Empfangseinheiten sind vorzugsweise Sende- und Empfangseinheiten zur Anordnung an separaten Positionen an einem Kraftfahrzeug. Die Aufgabe wird weiter gelöst durch ein Kraftfahrzeug mit dem OFDM-Radarsensorsystem.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Skizze von einem Kraftfahrzeug mit einem OFDM-Radarsensorsystem mit einem OFDM-Radarsensor und einem Repeater;

Fig. 2 eine schematische Darstellung des Repeaters;

Fig. 3 Teilspektren von OFDM-Symbolen;

Fig. 4 eine schematische Veranschaulichung eines Signalverlaufs eines OFDM-Symbols;

Fig. 5 schematische Darstellungen von Radarechos von OFDM-Symbolen;

Fig. 6 einen schematischen Aufbau des OFDM-Radarsensors;

Fig. 7 ein Prinzipschaltbild eines Modulators des Repeaters;

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines weiteren Beispiels eines Repeaters;

Fig. 9 schematische Darstellungen von Radarechos von OFDM-Symbolen gemäß einem weiteren Beispiel; und

Fig. 10 Teilspektren von OFDM-Symbolen gemäß einem weiteren Beispiel.

Das in Fig. 1 gezeigten OFDM-Radarsensorsystem ist in ein Kraftfahrzeug 10 eingebaut und umfasst Sende- und Empfangseinheiten in Form eines OFDM-Radarsensors 12 und eines aktiven Repeaters 14, die mit seitlichem Abstand B voneinander im Kraftfahrzeug 10 eingebaut sind, beispielsweise an der Fahrzeugfront. Der OFDM-Radarsensor 12 erzeugt und sendet ein Sendesignal 16 aus, welches von einem Radarziel 18 reflektiert oder gestreut wird und als Radarecho 20 vom OFDM-Radarsensor 12 empfangen wird. Das reflektierte Sendesignal 16 wird außerdem vom Repeater 14 als Radarecho 22 empfangen.

Der Repeater 14 verstärkt das vom OFDM-Radarsensor 12 erzeugte und gesendete und vom Repeater 14 als Radarecho 22 empfangene Signal und moduliert es in ein zu dem Radarecho 22 orthogonales Signal 24, welches vom Repeater 14 gesendet wird. Das vom Repeater gesendete Signal 24 wird vom

Radarziel 18 erneut reflektiert und wird als moduliertes Radarecho 26 von dem OFDM-Radarsensor 12 empfangen. Das empfangene Signal des OFDM-Radarsensors 12 umfasst somit einen monostatischen Anteil, welcher das direkte Radarecho 20 des Radarziels 18 umfasst, und einen bistatischen Anteil, der das modulierte Radarecho 26 umfasst und somit dem modulierten Signal 24 entspricht.

Der OFDM-Radarsensor 12 kann beispielsweise ein winkelauflösender OFDM-Radarsensor sein, mit dem der Winkel $\varphi 1$, unter welchem das Signal 20 vom Radarziel 18 empfangen wird, geschätzt werden kann. Der Repeater 14 kann beispielsweise ein Transceiver sein, dessen Sende- bzw. Empfangsantenne(n) ein relativ breites Sichtfeld (field of view) in Elevationsrichtung und in Azimutrichtung aufweisen. Der Sichtbereich des Repeaters 14 kann beispielsweise einem Sichtbereich des OFDM-Radarsensors 12 für einen gegebenen Entfernungsbereich entsprechen. Wie in Fig. 1 veranschaulicht, kann dadurch das zum Repeater 14 reflektierte Signal 22 auf dem gleichen Sende- und Empfangspfad unter erneuter Reflexion am Radarziel 18 zum OFDM-Radarsensor 12 zurückgesendet werden. Der Winkel $\varphi 2$, unter dem das Radarecho 22 vom Repeater empfangen wird, kann sich von dem Winkel $\varphi 1$ unterscheiden, so dass auch außermittige Radarziele 18 monostatische und bistatische Radarechos 20, 26 liefern.

Fig. 2 zeigt schematisch den Repeater 14 mit einer Empfangsantenne 28 und einer Sendeantenne 30. In Fig. 2 ist eine Richtung eines Teils des Sendesignals 24 veranschaulicht, aus welcher Richtung kommend das Signal 24 erneut am Radarziel 18 reflektiert und vom OFDM-Radarsensor 12 empfangen wird.

Der Repeater 14 umfasst wenigstens einen Verstärker, im Beispiel einen Empfangsverstärker 32 und einen Sendeverstärker 34. Weiter umfasst der Repeater 14 einen Modulator 36 zum Frequenzverschieben des empfangenen und in

modulierter Form wieder ausgesendeten Signals. Der Modulator 36 unterzieht das empfangene Signal 22 einer Frequenzverschiebung um einen vorgegebenen Frequenzversatz $\Delta f0$, entsprechend einer Verschiebung einer Phase einer komplexen Frequenz des Signals 22, wobei die Phase gemäß einer harmonischen Schwingung variiert. Die Phasenverschiebung wird über Amplituden I, Q von I/Q-Signalanteilen gesteuert, wie unten am Beispiel der Fig. 7 erläutert wird.

Fig. 3 zeigt schematisch einen Teil eines Spektrums eines OFDM-Symbols des Sendesignals 16. Dargestellt ist die Signalamplitude A über der Frequenz f. In einem OFDM-Signal mit einem OFDM-Symbol einer Symboldauer T stehen Unterträger für die OFDM-Modulation zur Verfügung, deren minimaler Frequenzabstand Δf die Orthogonalitätsbedingung $T = 1/\Delta f$ erfüllt. Bei einem Unterträger-Frequenzabstand von Δf unterscheiden sich die Anzahlen der Perioden der Schwingungen der Unterträger innerhalb der Symboldauer T um genau eine Periode oder ein mehrfaches davon, so dass die Unterträger orthogonal zueinander sind.

Im Sendesignal 16 des OFDM-Radarsensors 12 wird in einem OFDM-Symbol nur jeder n-te Unterträger belegt. Im in Fig. 3 gezeigten Beispiel ist $n = 2$. Fig. 3 zeigt zur vereinfachten Darstellung nur zwei belegte Unterträger des OFDM-Symbols bei Frequenzen f1 und f2.

Das in Fig. 3 gezeigte Frequenzspektrum des Signals 16 entspricht, unter Vernachlässigung einer Dopplerverschiebung, dem Frequenzspektrum des vom Repeater 14 empfangenen Radarechos 22. Das empfangene Signal 22 enthält gewöhnlich eine Überlagerung von zeitlich verzögerten und gegebenenfalls dopplerverschobenen Radarechos, von denen in Fig. 3 lediglich ein Teilspektrum eines einzelnen Radarechos 22 dargestellt ist.

Der Modulator 36 bewirkt eine Frequenzverschiebung des Signals 22 um einen Frequenzversatz $\Delta f0$, der dem minimalen Unterträgerabstand Δf entspricht. Das Frequenzspektrum des verstärkten und vom Repeater 14 zurückgesendeten Signals 24 ist in Fig. 3 schematisch mit gleicher Amplitude durch eine gestrichelte Linie dargestellt. Aufgrund der Frequenzverschiebung sind die Signale 22, 24 orthogonal zueinander. Die belegten Unterträger des modulierten Radarechos liegen in den Lücken der als Radarecho 22 empfangenen OFDM-Symbole, wie in Fig. 3 veranschaulicht ist.

Fig. 4 stellt schematisch einen Signalverlauf eines OFDM-Symbols des Sendesignals 16 über der Zeit t dar. Entsprechend einem OFDM-Modulationschema sind die einzelnen belegten Unterträger des Signals moduliert, wobei beispielsweise jeder belegte Unterträger mit einer komplexen Amplitude moduliert ist.

Fig. 5 veranschaulicht schematisch ein im empfangenen Signal des OFDM-Radarsensor 12 enthaltenes monostatisches Radarecho 20 eines OFDM-Symbols, welches mehrere erste Frequenzbereiche 38 umfasst, in denen jeweilige Unterträger liegen, sowie ein im bistatischen Radarecho 26 enthaltenes OFDM-Symbol in zweiten Frequenzbereichen 40. Die vom OFDM-Radarsensor 12 empfangenen monostatischen Signalanteile 20 liegen in den ersten Frequenzbereichen 38 und umfassen gewöhnlich eine Überlagerung zeitlich verzögerter und gegebenenfalls dopplerverschobener Radarechos. Die bistatischen empfangenen Radarechos 26 weisen demgegenüber zusätzlich die Frequenzverschiebung um den Frequenzabstand $\Delta f0$ auf und haben außerdem eine Verzögerung und gegebenenfalls eine Dopplerverschiebung, welche dem zweifach Durchlaufen des Sende- und Empfangspfades über das Radarziel 18 entspricht. Aufgrund der unterschiedlichen Frequenzbereiche 38, 40 können die monostatischen und die bistatischen Signalanteile getrennt verarbeitet werden.

Fig. 6 zeigt schematisch ein Prinzipschaltbild des OFDM-Radarsensors 12 mit einem Sendezweig 42 und einem Empfangszweig 44. Für jeden OFDM-Symbolschritt wird ein Modulationssymbol s, welches Untersymbole für die einzelnen Unterträger umfasst, mittels inverser Fouriertransformation in ein OFDM-Symbol x in der Zeitdomäne gewandelt. Das OFDM-Symbol x umfasst dabei in an sich bekannter Weise das eigentliche OFDM-Symbol der Symbollänge T sowie einen Vorspann (cyclic prefix), der eine Kopie eines Endabschnittes des OFDM-Symbols ist. Das OFDM-Symbol x wird durch einen DA-Wandler in ein analoges Signal gewandelt, mit welchem ein I/Q-Modulator 45 die Sendefrequenz f0 eines lokalen Oszillators LO moduliert, um das Sendesignal 16 zu erzeugen.

Im Empfangszweig 44 wird das empfangene Signal, welches die Signalanteile 20 und 26 enthält, in einem I/Q-Demodulator 46 mit der Radarfrequenz des lokalen Oszillators LO demoduliert, von einem AD-Wandler digitalisiert, und es erfolgt eine Fouriertransformation mittels FFT. Bei der Fouriertransformation werden die im empfangenen Signal 20, 26 enthaltenen Unterträger auf getrennte Frequenzpositionen im Frequenzspektrum abgebildet.

Die ersten Frequenzbereiche 38 des Frequenzspektrums und die zweiten Frequenzbereiche 40 des Frequenzspektrums werden dann in getrennten Verarbeitungszweigen getrennt weiterverarbeitet. Für die ersten Frequenzbereiche 38, welche den monostatischen Radarechos entsprechen, erfolgt eine komplexe spektrale Division des empfangenen Signals durch das gesendete OFDM-Signal s. Dies kann als Normierung des empfangenen Signalanteils bezeichnet werden. Die Verarbeitung wird für die aufeinanderfolgenden OFDM-Symbole s einer OFDM-Radarmessung durchgeführt. Es wird somit eine Summe von durch die Laufzeit und die Dopplerverschiebung erzeugten komplexen Exponenten in einem zweidimensionalen Spektrum E1 erhalten, entsprechend den Unterträgern und der Folge der OFDM-Symbole s.

Die dem modulierten Signal des Repeaters 14 entsprechenden Signalanteile der zweiten Frequenzbereiche 40 werden demgegenüber zusätzlich einer Demodulation in Form einer Frequenzverschiebung um den Frequenzabstand $\Delta f0$ unterzogen, mit welchem der Repeater 14 das gesendete Signal moduliert hat. Die weitere Verarbeitung mit komplexer spektraler Division durch die Folge der OFDM-Symbole s entspricht dann der Verarbeitung der monostatischen Signale, und es wird ein zweidimensionales Spektrum E2 erhalten.

Eine jeweilige Detektionseinrichtung 47 wertet die in den beiden getrennten Verarbeitungszweigen für die Frequenzbereiche 38 und 40 erhaltenen 2D-Spektren E1, E2 aus und detektiert Radarobjekte anhand von Peaks in den Spektren E1, E2. Eine Auswerteeinrichtung 48 wertet die detektierten Radarobjekte aus. Dabei werden Radarobjekte, die anhand von Signalen aus den zweiten Frequenzbereichen 40 an Frequenzpositionen detektiert wurden, die der zweifachen Dopplerverschiebung des Radarechos entsprechen, in Beziehung gesetzt zu Radarobjekten, die anhand von Signalen aus den ersten Frequenzbereichen 38 bei Frequenzpositionen detektiert wurden, die einer entsprechenden einfachen Dopplerverschiebung entsprechen. In ähnlicher Weise werden Objekte, die detektiert wurden anhand von Signalen aus den zweiten Frequenzbereichen 40, die eine doppelte Laufzeit aufweisen, entsprechenden Objekten zugeordnet, die anhand von Signalen aus den ersten Frequenzbereichen 38 mit einer einfachen Laufzeit detektiert wurden.

Fig. 7 zeigt schematisch ein Prinzipschaltbild des Modulators 36. Ein Eingang 49 des Modulators 36 ist mit einem I/Q-Splitter 50 verbunden, der das Eingangssignal des Modulators 36 in ein In-Phase-Signal und ein Quadratur-Signal aufteilt. Mit anderen Worten stellt der I/Q-Splitter 50 in einem ersten, in Fig. 7 oberen Signalzweig das Eingangssignal mit einer Phasenverschiebung von 0° und im zweiten, in Fig. 7 unteren Signalzweig das Eingangssignal mit einer

Phasenverschiebung von 90° zur Verfügung. Der I/Q-Splitter 50 ist in an sich bekannter Weise durch ein passives LC-Netzwerk aufgebaut. Der obere und der untere Signalzweig umfassen jeweils einen Multiplizierer 52 bzw. 54, die in Fig. 7 symbolisch durch einen Verstärker mit einstellbarer Amplitude sowie ein Symbol veranschaulicht sind, das den etwaigen Vorzeichenwechsel des Signals darstellt. Als weitere Eingangsgrößen erhalten die Multiplizierer 52, 54 I/Q-Komponenten eines Modulationssignals. Bei dem Modulationssignal handelt es sich eine harmonische Schwingung mit der Frequenz entsprechend dem Frequenzversatz $\Delta f0$, z.B. $I = \sin(2\pi t\, \Delta f0)$ und $Q = \cos(2\pi t\, \Delta f0)$. Die Ausgänge der Multiplizierer 52, 54 werden am Ausgang 56 des Modulators 36 phasenrichtig durch ein Summationsglied 58 summiert. Durch den Modulator 36 erfolgt somit eine Phasenverschiebung des Eingangssignals, wobei der komplexe Phasenverschiebungsvektor mit der Frequenz $\Delta f0$ umläuft (rotiert).

Die beschriebenen Ausführungsbeispiele sind exemplarisch zur Veranschaulichung der Erfindung angegeben und können modifiziert werden.

So kann beispielsweise anstelle des in Fig. 2 gezeigten Repeaters 14 ein in Fig. 8 gezeigter Repeater 14‘ eingesetzt werden. Der Repeater 14‘ unterscheidet sich vom Beispiel der Fig. 2 dadurch, dass eine gemeinsame Sende-/Empfangsantenne 60 vorgesehen ist, die über einen Richtkoppler 42 und den Eingangsverstärker 32 und/oder den Ausgangsverstärker 34 mit dem Modulator 36 verbunden ist. Der Richtkoppler 62 umfasst drei Eingangs/Ausgangs-Anschlüsse. Der Richtkoppler 62 koppelt das von der Antenne 60 empfangene Signal über den Verstärker 32 in den Modulator 36 ein. Das Ausgangssignal des Modulators 36 bzw. des Verstärkers 34 wird in Richtung der Antenne 60 zum Senden eingekoppelt.

Fig. 9 zeigt eine Darstellung entsprechend Fig. 5 gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel. In diesem Beispiel entspricht die von dem Modulator 36 des

Repeaters 14 bewirkte Frequenzverschiebung $\Delta f0$ der belegten Bandbreite eines OFDM-Symbols oder ist größer als diese. Bei den OFDM-Symbolen des Sendesignals des OFDM-Radarsensors 12 sind in diesem Beispiel unmittelbar aufeinanderfolgende Unterträger belegt, die zusammen in einem ersten Frequenzbereich 38 enthalten sind. Die bistatisch empfangenen Radarechos sind in einem zweiten Frequenzbereich 40 enthalten, der gegenüber dem ersten Frequenzbereich 38 um den Frequenzversatz $\Delta f0$ verschoben ist. Bei Verwendung von q aufeinanderfolgenden Unterträgern für ein OFDM-Symbol beträgt der Frequenzabstand in diesem Beispiel $q\Delta f$, wobei Δf der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Unterträgern ist.

Die oben beschriebenen Beispiele der Fig. 2 und Fig. 5 können in entsprechender Weise verallgemeinert werden auf ein OFDM-Radarsensorsystem mit mehreren aktiven Repeatern 14. Fig. 10 zeigt in einer Darstellung entsprechend Fig. 3 einen Teil eines OFDM-Symbols eines weiteres Beispiels eines Sendesignals 16, bei dem nur jeder dritte Unterträger belegt ist. Ein weiterer Repeater 14 kann dann durch einen Frequenzversatz $2\Delta f0$ ein moduliertes Signal erzeugen, das zu dem um $\Delta f0$ verschobenen Signal des ersten Repeaters 14 orthogonal ist. Der OFDM-Radarsensor 12 kann dann die von den unterschiedlichen Repeatern 14 stammenden Radarechos anhand ihrer Lage in entsprechenden Frequenzbereichen voneinander und von den monostatischen Radarechos unterscheiden und sie jeweils getrennt in drei Verarbeitungszweigen verarbeiten.

Patentansprüche

1. OFDM-Radarsensorsystem mit mehreren Sende- und Empfangseinheiten (12, 14), wobei eine der Sende- und Empfangseinheiten ein OFDM-Radarsensor (12) ist und wobei eine andere der Sende- und Empfangseinheiten ein Repeater (14) ist, der dazu konfiguriert ist, ein von dem OFDM-Radarsensor (12) erzeugtes und gesendetes und von dem Repeater (14) empfangenes Signal (22) in ein zu dem von dem Repeater (14) empfangenen Signal (22) orthogonales Signal zu modulieren und das modulierte Signal (24) auszusenden, und wobei der OFDM-Radarsensor (12) dazu konfiguriert ist, einen dem modulierten Signal (24) entsprechenden Anteil (26) eines vom OFDM-Radarsensor (12) empfangenen Signals (20, 26) von einem monostatischen Anteil (20) des vom OFDM-Radarsensor (12) empfangenen Signals (20, 26) zu trennen.

2. OFDM-Radarsensorsystem nach Anspruch 1, bei dem das von dem Repeater (14) ausgesendete Signal das von dem Repeater (14) empfangene Signal um einen vorbestimmten Frequenzversatz ($\Delta f0$) frequenzverschoben enthält.

3. OFDM-Radarsensorsystem nach Anspruch 2, wobei der vorbestimmte Frequenzversatz ($\Delta f0$) ein Frequenzversatz ($\Delta f0$) ist, bei welchem ein im von dem Repeater empfangenen Signal (22) enthaltener OFDM-Unterträger orthogonal zu einem entsprechenden um den Frequenzversatz ($\Delta f0$) verschobenen OFDM-Unterträger im modulierten Signal (24) ist.

4. OFDM-Radarsensorsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Repeater (14) dazu konfiguriert ist, das von dem OFDM-Radarsensor (12) erzeugte und gesendete und von dem Repeater (14) empfangene Signal (22) durch Frequenzverschieben um einen vorbestimmten Fre-

quenzversatz (Δf0) in das zu dem von dem Repeater (14) empfangenen Signal (22) orthogonale Signal (24) zu modulieren.

5. OFDM-Radarsensorsystem nach einem der Ansprüche 2 bis 4, bei dem das Frequenzverschieben um den vorbestimmten Frequenzversatz (Δf0) durch Phasenverschieben eines I/Q-Signals erfolgt, wobei die Phasenverschiebung gemäß einer harmonischen Schwingung variiert mit einer Frequenz entsprechend dem vorbestimmten Frequenzversatz (Δf0).

6. OFDM-Radarsensorsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Repeater (14) einen Modulator (36) zum Frequenzverschieben eines von dem Repeater (14) empfangenen Signals (22) um einen vorgegebenen Frequenzabstand (Δf0) aufweist, wobei der Modulator (36) aufweist:

einen I/Q-Splitter (50), der dazu eingerichtet ist, aus einem von dem Repeater (14) empfangenen Signal (22) I/Q-Signalkomponenten bereitzustellen, die gegeneinander um 90° phasenverschoben sind, bezogen auf eine Referenzradarfrequenz (f0),

Multiplizierer (52, 54), die dazu eingerichtet sind, die jeweiligen I/Q-Signalkomponenten vorzeichenbehaftet mit jeweiligen I/Q-Modulationssignal-Komponenten eines Modulationssignals zu multiplizieren, wobei das Modulationssignal eine Frequenz aufweist, die dem vorgegebenen Frequenzabstand (Δf0) entspricht, und

einen Ausgang (56), an welchem Ausgangssignalkomponenten der Multiplizierer (52, 54) kombiniert werden.

7. OFDM-Radarsensorsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das von dem OFDM-Radarsensor (12) erzeugte und gesendete Signal (16) unbelegte OFDM-Unterträger im Frequenzspektrum aufweist, wobei der Repeater (14) dazu eingerichtet ist, aus im vom Repeater (14) empfangenen Signal belegten OFDM-Unterträgern frequenzverschobene OFDM-Unterträger

zu erzeugen, welche in Frequenzbereichen liegen, die Frequenzbereichen von unbelegten OFDM-Unterträgern im vom Repeater (14) empfangenen Signal entsprechen.

8. OFDM-Radarsensorsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das von dem OFDM-Radarsensor (12) gesendete Sendesignal (16) nur jeden n-ten Unterträger belegt, wobei n eine natürliche Zahl größer als 1 ist, und wobei das modulierte Signal (24) gegenüber dem vom Repeater (14) empfangenen Signal (22) um einen Frequenzversatz ($\Delta f0$) verschoben ist, der einem (m + pn)-fachen eines Unterträgerabstands (Δf) entspricht, wobei m eine natürliche Zahl kleiner n ist und p eine ganze Zahl ist.

9. OFDM-Radarsensorsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Trennen eines dem modulierten Signal (24) entsprechenden Anteils (26) des vom OFDM-Radarsensor (12) empfangenen Signals (20, 26) von einem monostatischen Anteil (20) des vom OFDM-Radarsensor (12) empfangenen Signals (20, 26) durch separates Auswerten von Frequenzbereichen (38, 40) des empfangenen Signals (20, 26) erfolgt.

10. OFDM-Radarsensorsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der OFDM-Radarsensor (12) dazu konfiguriert ist, in einem oder mehreren ersten Frequenzbereichen (38) des von dem OFDM-Radarsensor (12) empfangenen Signals (20, 26) OFDM-Symbole (s) zu detektieren, welche monostatischen Radarechos (20) entsprechen, und in einem oder mehreren anderen, zweiten Frequenzbereichen (40) des von dem OFDM-Radarsensor (12) empfangenen Signals (20, 26) Radarechos von OFDM-Symbolen zu detektieren, welche bistatischen Radarechos (26) des von dem Repeater (14) modulierten Signals (24) entsprechen.

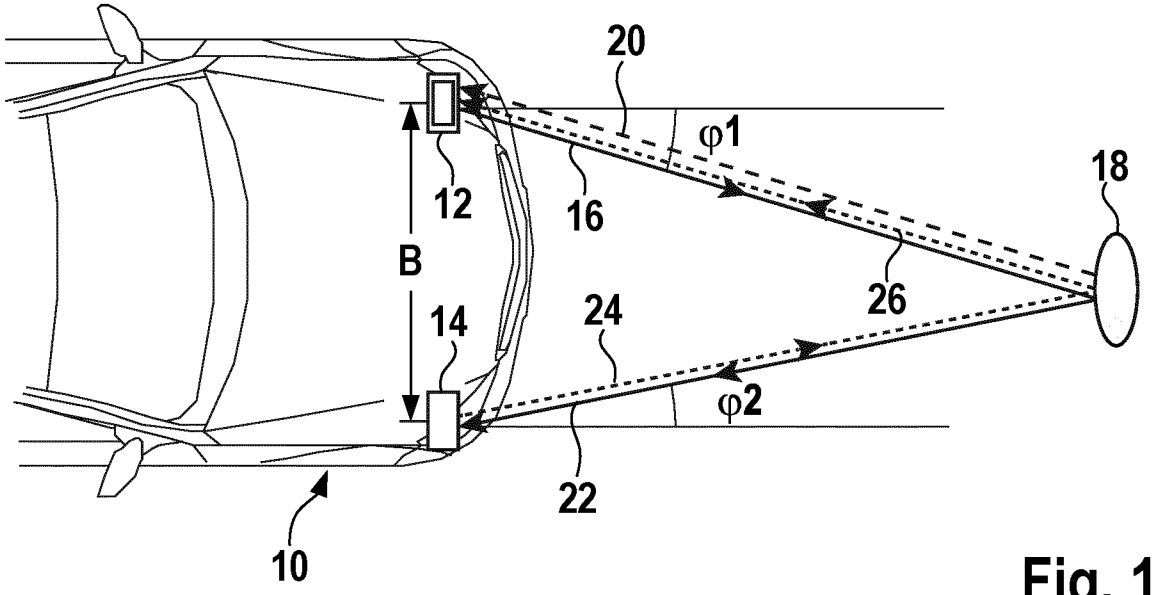


Fig. 1

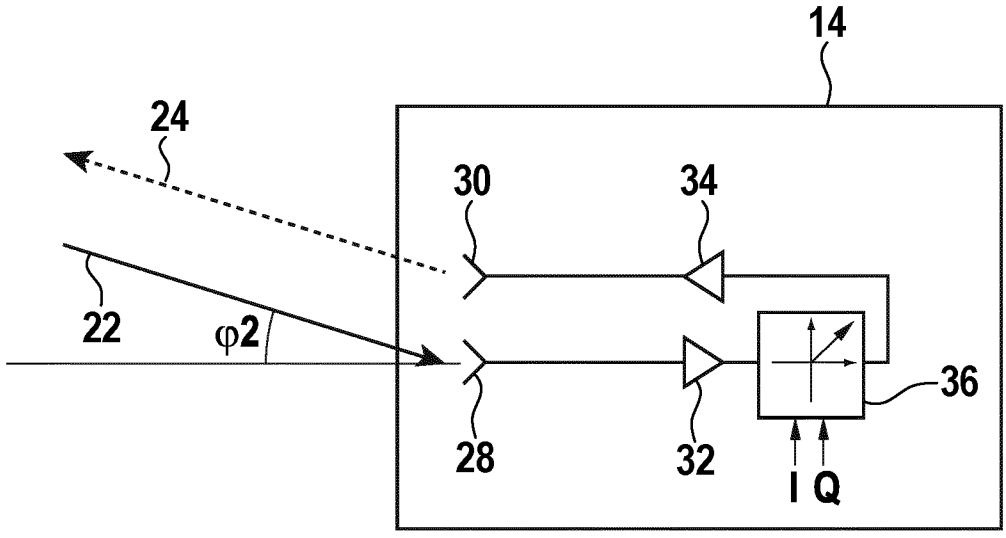


Fig. 2

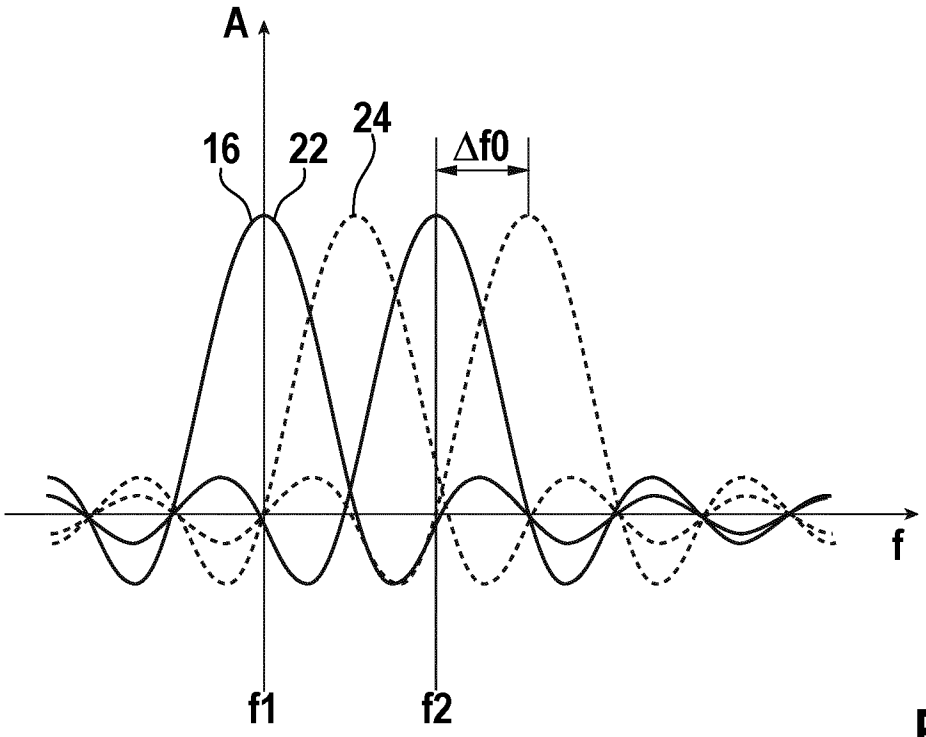


Fig. 3

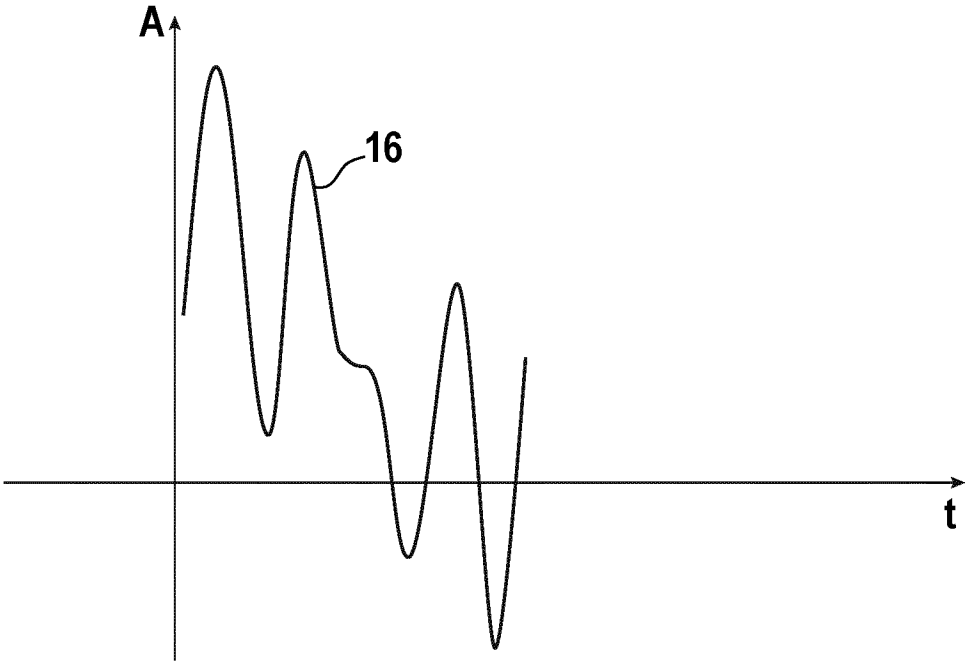


Fig. 4

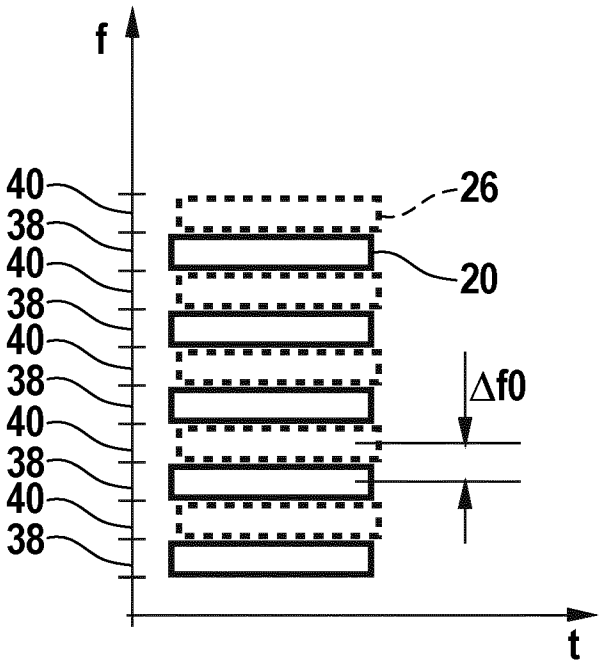

f
40
38
40
38
40
38
40
38
40
38
26
20
Δf0
t

Fig. 5

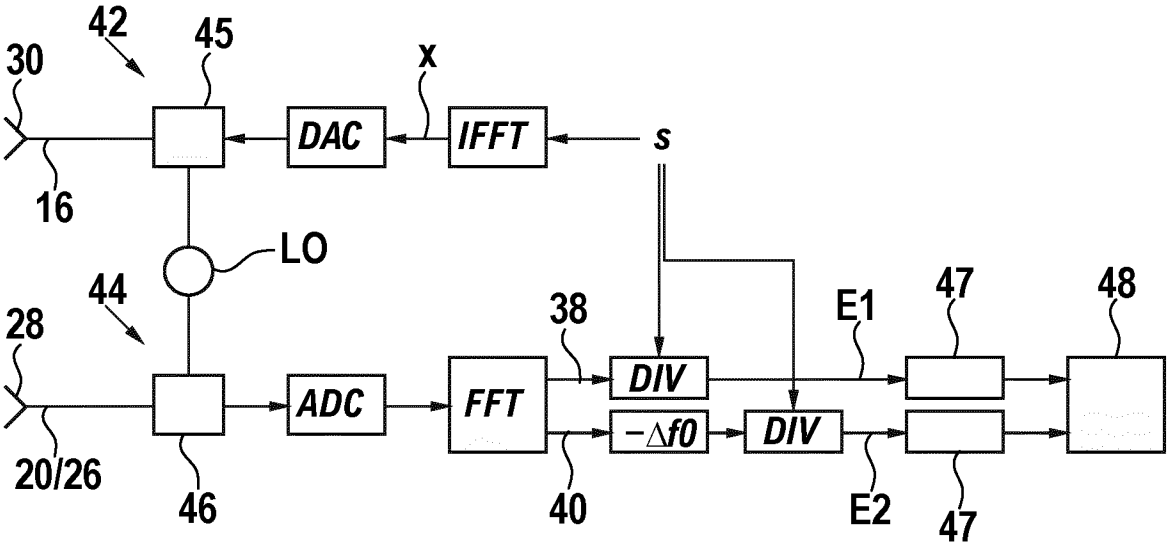

42
45
30
x
DAC
IFFT
s
16
LO
44
28
38
E1
47
48
ADC
FFT
DIV
−Δf0
DIV
20/26
46
40
E2
47

Fig. 6

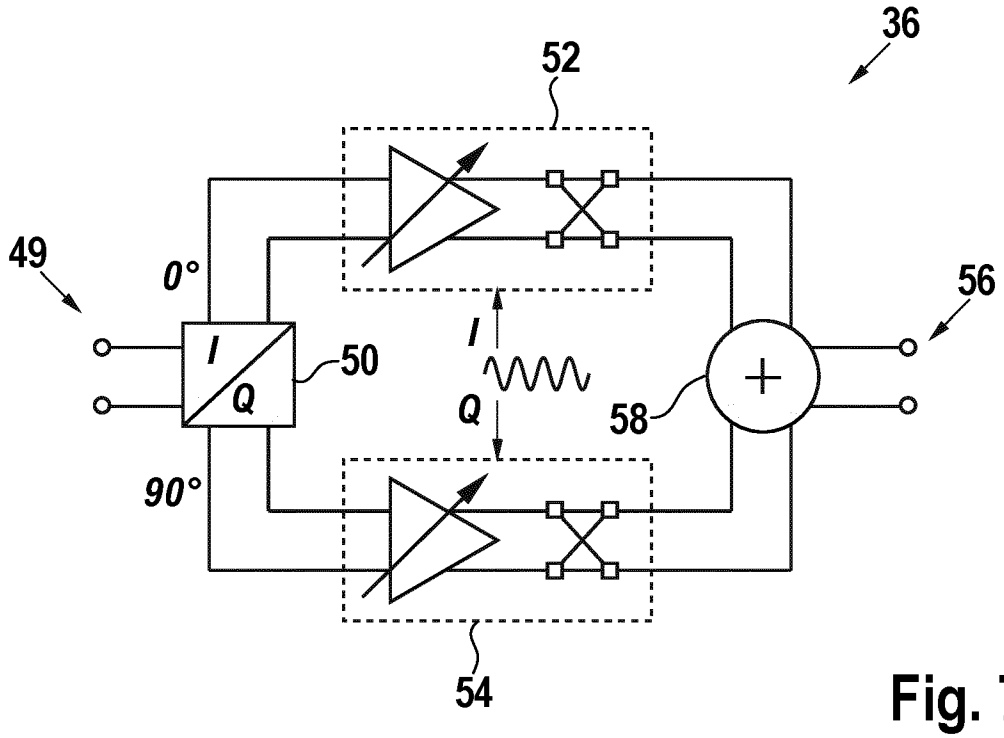


Fig. 7

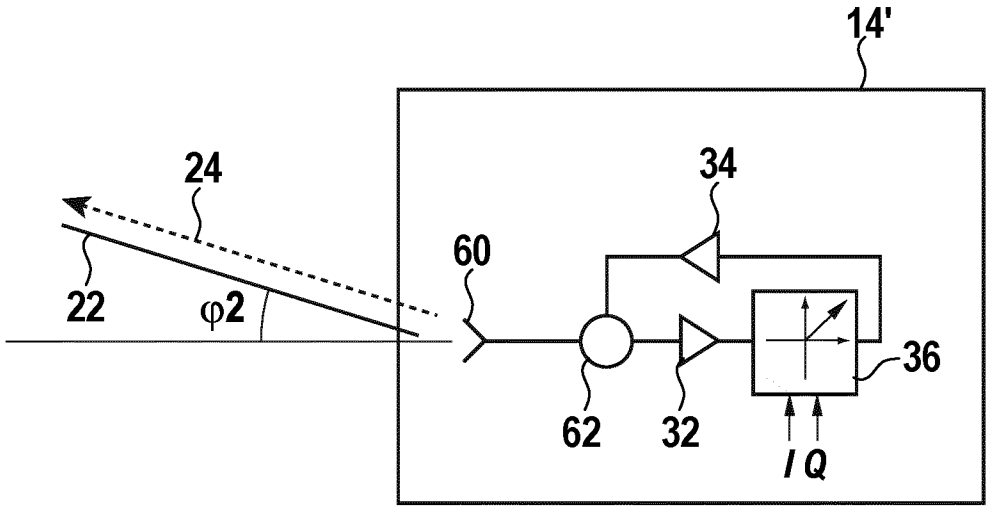


Fig. 8

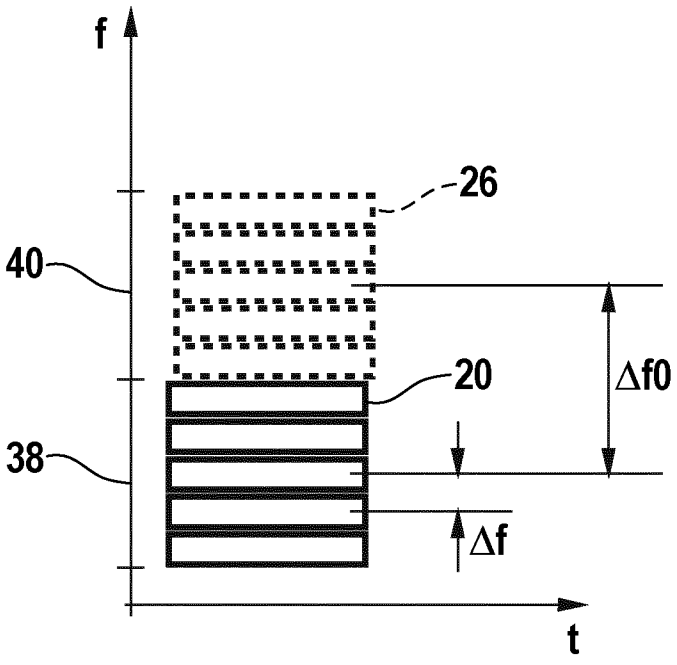


Fig. 9

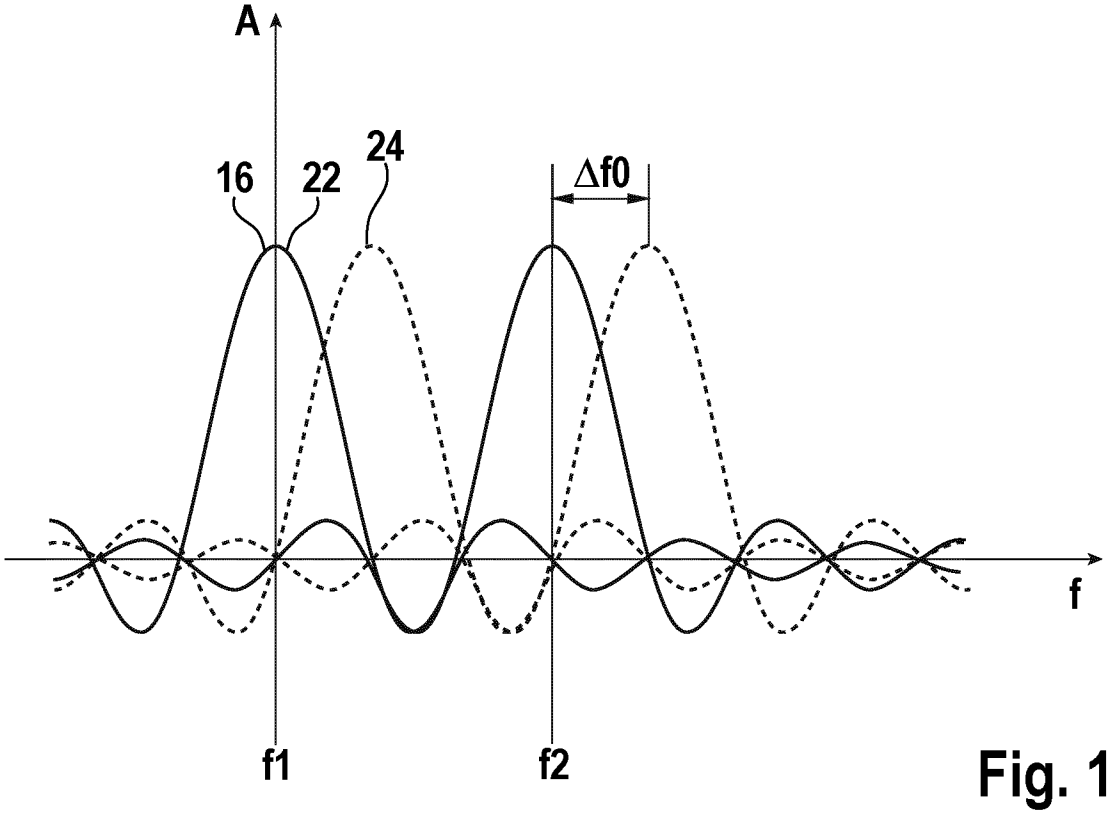


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2020/062382

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S 13/931(2020.01)i; ***G01S 13/32***(2006.01)i; ***G01S 13/58***(2006.01)i; ***G01S 13/74***(2006.01)i; ***G01S 13/00***(2006.01)i; ***G01S 13/46***(2006.01)i; ***G01S 13/75***(2006.01)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.
Y	FRISCHEN ANDREAS ET AL. "A Cooperative MIMO Radar Network Using Highly Integrated FMCW Radar Sensors" *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, PLENUM, USA,* Vol. 65, No. 4, 01 April 2017 (2017-04-01), pages 1355-1366, [retrieved on 2017-04-03] DOI: 10.1109/TMTT.2016.2647701 ISSN: 0018-9480, XP011644690	1-5,7-10
A	page 1355, column 2; page 1356, column 1; page 1358, column 2;figure 1	6
Y	DE 102014214927 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 04 February 2016 (2016-02-04)	1-5,7-10
A	paragraphs [0038], [0042]; figure 1	6

☐ 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	Date of mailing of the international search report
16 June 2020	**02 July 2020**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Kirscher, Jérôme** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2020/062382

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE 102014214927 A1	04 February 2016	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2020/062382

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01S13/931 G01S13/32 G01S13/58 G01S13/74 G01S13/00
G01S13/46 G01S13/75
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.
Y	FRISCHEN ANDREAS ET AL: "A Cooperative MIMO Radar Network Using Highly Integrated FMCW Radar Sensors", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, PLENUM, USA, Bd. 65, Nr. 4, 1. April 2017 (2017-04-01), Seiten 1355-1366, XP011644690, ISSN: 0018-9480, DOI: 10.1109/TMTT.2016.2647701 [gefunden am 2017-04-03]	1-5,7-10
A	Seite 1355, Spalte 2; Seite 1356, Spalte 1; Seite 1358, Spalte 2; Abbildung 1	6

Y	DE 10 2014 214927 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 4. Februar 2016 (2016-02-04)	1-5,7-10
A	Absätze [0038], [0042]; Abbildung 1	6

☐ 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
16. Juni 2020	02/07/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Kirscher, Jérôme

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2020/062382

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102014214927 A1	04-02-2016	KEINE	