

(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
11. Dezember 2014 (11.12.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/195046 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01S 7/02 (2006.01) G01S 13/536 (2006.01)
G01S 13/32 (2006.01) G01S 13/87 (2006.01)
G01S 13/34 (2006.01) G01S 13/93 (2006.01)
G01S 13/38 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/057019

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. April 2014 (08.04.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 210 256.9 3. Juni 2013 (03.06.2013) DE

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

(72) Erfinder: SCHOOR, Michael; Chopinstraße 9, 70195
Stuttgart (DE). BI, Jingying; Tulpenstr. 3/1, 71229
Leonberg (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, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

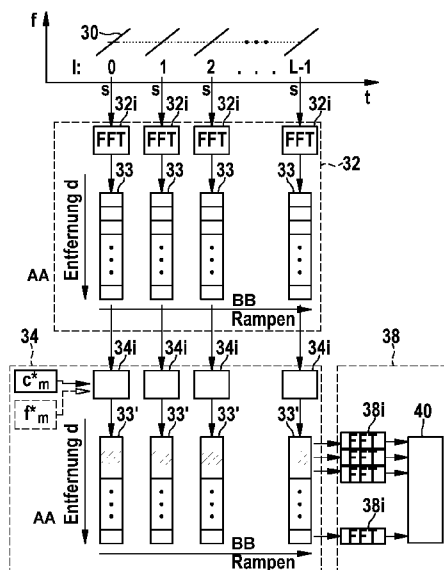
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, 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: INTERFERENCE CANCELLATION IN AN FMCW RADAR

(54) Bezeichnung : INTERFERENZUNTERDRÜCKUNG BEI EINEM FMCW-RADAR



AA distance d
BB ramps

Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to a radar system in which a transmission signal of an FMCW radar sensor (10) comprises a sequence of frequency modulation ramps (30) and is phase-modulated according to a first code sequence (Cm) that is orthogonal to a respective other code sequence (Cq), a time-synchronized transmission signal of another FMCW radar sensor (10') being phase-modulated according to said other code sequence. The radar echoes are phase-modulated using a code sequence (Cm, fm) which correlates to the first code sequence (Cm), and a distance (d) and/or a relative speed (v) of at least one located object (44) is determined on the basis of a frequency spectrum of a Fourier analysis (32, 38) in a first dimension using respective sampled values of a radar echo of a frequency modulation ramp (30) and in a second dimension using the phase-modulated sequence of the radar echoes of the frequency modulation ramps (30) of the radar sensor (10) transmission signal. The invention also relates to a radar system for a vehicle fleet, wherein a code set (Cm1, Cm2) is used for phase modulation and demodulation purposes in an FMCW radar sensor (10), said code set together with a code set (Cq1, Cq2) used in a radar sensor (10'') of another vehicle satisfying a code set orthogonality condition.

(57) Zusammenfassung: Radarsystem, bei dem ein Sendesignal eines FMCW-Radarsensors (10) eine Folge von Frequenzmodulationsrampen
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(30) umfasst und gemäß einer ersten Codefolge (C_m) phasenmoduliert wird, die orthogonal ist zu einer jeweils anderen Codefolge (C_q), gemäß welcher ein zeitlich synchronisiertes Sendesignal eines anderen FMCW-Radarsensors (10') phasenmoduliert wird, die Radarechos mit einer mit der ersten Codefolge (C_m) korrelierenden Codefolge (C_m ; f_m) phasendemoduliert werden, und ein Abstand (d) und/oder eine Relativgeschwindigkeit (v) wenigstens eines georteten Objektes (44) bestimmt wird basierend auf einem Frequenzspektrum einer Fourieranalyse (32, 38) in einer ersten Dimension jeweils über Abtastwerte eines Radarechos einer Frequenzmodulationsrampe (30) und in einer zweiten Dimension über die phasendemodulierte Folge der Radarechos der Frequenzmodulationsrampen (30) des Sendesignals des Radarsensors (10); und Radarsystem für eine Fahrzeugflotte, bei dem in einem FMCW-Radarsensor (10) zur Phasenmodulation und -demodulation ein Codesatz (C_{m1} , C_{m2}) verwendet wird, der mit einem in einem Radarsensor (10'') eines anderen Fahrzeugs verwendeten Codesatz (C_{q1} , C_{q2}) eine Codesatz-Orthogonalitätsbedingung erfüllt.

INTERFERENZUNTERDRÜCKUNG BEI EINEM FMCW-RADAR

STAND DER TECHNIK

Die Erfindung betrifft die Bestimmung von Abständen und/oder Relativgeschwindigkeiten von Objekten mit einem FMCW-Radar. Insbesondere betrifft die Erfindung einen
5 FMCW-Radarsensor, ein FMCW-Radarsystem mit einem ersten und wenigstens einem zweiten Radarsensor, sowie ein Radarsystem für eine Fahrzeugflotte, umfassend mehrere FMCW-Radarsensoren.

Radarsensoren werden in Kraftfahrzeugen beispielsweise zur Messung der Abstände,
10 Relativgeschwindigkeiten und Azimutwinkel von im Vorfeld des eigenen Fahrzeugs georteten Fahrzeugen oder sonstigen Objekten eingesetzt.

Bei einem FMCW-Radarsensor (Frequency Modulated Continuous Wave) wird die Sendefrequenz eines kontinuierlichen Radarsignals rampenförmig moduliert. Aus einem Empfangssignal wird durch Mischen mit dem Sendesignal ein Basisbandsignal
15 erzeugt, welches dann ausgewertet wird.

Es sind FMCW-Radarsensoren bekannt, die nach dem Verfahren der Chirp-Sequence-Modulation arbeiten, bei dem das Sendesignal wenigstens eine Folge gleichartiger Frequenzmodulationsrampen (Chirps) umfasst. Die Modulationsparameter wie die Rampendauer und der Frequenzhub sowie der Zeitabstand zwischen benachbarten
20 Rampen einer Folge sind innerhalb einer Folge gleich. Dabei erfolgt beispielsweise zunächst eine Trennung der Radarobjekte nach ihren Entfernungen, indem eine erste Fouriertransformation des Basisbandsignals jeweils für die einzelnen Frequenzrampen des Sendesignals erfolgt. Anschließend werden die Spektren der ersten Fouriertransformationen der Frequenzrampen einer Folge als Eingangssignal für eine
25 zweite Fouriertransformation verwendet. Somit erfolgt bei der zweiten Fouriertransformation eine Trennung der Radarobjekte nach ihren Geschwindigkeiten anhand von Änderungen der Phasenlagen über die Folge der Radarechos der einzelnen Frequenzrampen.

Aus DE 10100417 A1 ist ein Pulsradar bekannt, bei der ein Sendesignal gemäß einem Pseudo-Noise-Code durch Amplitudenmodulation, Phasenmodulation oder Frequenzmodulation moduliert wird. In einem Empfangszweig erfolgt eine Modulation mit einem verzögerten Code. Auf der Grundlage der zeitlichen Verzögerung vom Aussenden bis
5 zum Empfangen der Radarimpulse wird auf die Entfernung eines Zielobjektes geschlossen. In weiteren Empfangskanälen werden orthogonale Codes verwendet, die beispielsweise durch Zähler und EXOR-Gatter aus dem Pseudo-Noise-Code erzeugt werden. Dadurch können bei sich überdeckenden Erfassungsbereichen jeweiliger Sensoren nur die entsprechenden Sensoren in einem jeweiligen Empfangskanal aus-
10 gewertet werden.

Aus WO 2010/115418 A2 ist ein Radarsystem mit zwei in einer Ebene und in definiertem lateralen Abstand angeordneten Sendeantennen und einer gemeinsamen Empfangsantenne bekannt, bei dem beide Sendeantennen gemäß einem Folge von gleichartigen Frequenzrampen gleichzeitig betrieben werden, wobei ein schaltbarer
15 Invertierer die Phase des Signals der ersten Sendeantenne von Rampe zu Rampe zufällig um 0° oder 180° variiert. Nach einer ersten diskreten Fouriertransformation (DFT) über die Abtastwerte jeder Frequenzrampe wird eine zweite DFT über die Rampenfolge einmal mit einer Phasenkorrektur und einmal ohne Phasenkorrektur berechnet, um zur Gewinnung von Azimut-Information getrennte Spektren für von den jeweili-
20 gen Sendeantennen herrührenden Empfangssignale zu erhalten. Im Spektrum eines von einer Sendeantenne stammenden Empfangssignals ergibt bei einer Anzahl von 1024 Rampen je Folge das von der jeweils anderen Sendeantenne stammende Signal ein um etwa 30dB darunter liegendes Rauschen.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

25 Gegenwärtig zeichnet sich bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen und Sicherheitssystemen für Kraftfahrzeuge die Tendenz ab, dass die Anzahl der in einem Fahrzeug eingesetzten Radarsensoren steigt. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass ein Radarsensor auch ein unerwünschtes, interferierendes Signal eines anderen Radarsensors des gleichen Fahrzeugs empfängt.

Mit einer zunehmenden Verbreitung von Radarsensoren in Kraftfahrzeugen kann in bestimmten Verkehrsszenarien auch ein unerwünschter Empfang von Radarsignalen anderer Fahrzeuge auftreten. So könnte beispielsweise bei einer Kolonnenfahrt ein Heck-Radarsensor eines vorausfahrenden Fahrzeugs einen Frontradarsensor des folgenden Fahrzeugs stören.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein FMCW-Radarsystem und einen FMCW-Radarsensor mit Chirp-Sequence-Modulation zu schaffen, bei dem unerwünschte Signale anderer Radarsensoren wirksam unterdrückt werden können.

Ein Ansatz zur Unterdrückung von interferierenden Signalen anderer Radarsensoren ist ein Versatz der Mittenfrequenzen der Radarsensoren. Dies ist jedoch aufgrund der zur Verfügung stehenden Bandbreite nur beschränkt möglich und führt zu Einbußen in der Entfernungstrennfähigkeit.

Ein weiterer Ansatz ist die Erkennung von Interferenz im Zeitsignal des Radarsensors basierend auf Interpolation des Zeitsignals. Dabei wird die Modellannahme vorausgesetzt, dass nur ein kleiner Bereich des Zeitsignals gestört ist. Bei Verwendung kurzer Rampendauern oder bei gleichzeitigem Auftreten mehrerer interferierender Signale ist jedoch eine Erkennung der Interferenz und die Interpolation nicht mehr möglich.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Radarsystem nach Anspruch 1 gelöst.

Beispielsweise erfolgt wie bei einer herkömmlichen Chirp-Sequence-Modulation eine Fourieranalyse in Form einer zweidimensionalen, zweistufigen diskreten Fouriertransformation. Eine erste Fouriertransformation bildet eine kohärente, einem entfernungsabhängigen Signalanteil entsprechende Schwingung innerhalb des Radarechos einer Frequenzrampe durch einen Peak im eindimensionalen Spektrum ab. Eine zweite Fouriertransformation wird über die eindimensionalen, hier allerdings zuvor phasendemodulierten Spektren der ersten Fouriertransformation ausgeführt und bildet eine kohärente, einem Doppleranteil entsprechende Schwingung über die Radarechos der Folge der Frequenzrampen durch die Lage des Peaks im Spektrum der zweiten Fouriertransformation ab. Ergebnis der zweidimensionalen Fouriertransformation ist ein zweidimensionales, diskretes oder gerastertes, d.h. in Entfernungs-/Geschwindigkeits-

Zellen eingeteiltes, Spektrum. Die Phasendemodulation geschieht vorzugsweise dadurch, dass die eindimensionalen Spektren der Frequenzrampen mit dem jeweiligen konjugiert-komplexen Element der im Empfänger verwendeten Codefolge multipliziert werden. Die zweite Fouriertransformation beinhaltet bereits die Summation der jeweiligen
5 Terme und liefert daher den Wert der Autokorrelation bzw. Kreuzkorrelation als Faktor der Amplitude in der entsprechenden Entfernungs-/Geschwindigkeits-Zelle des zweidimensionalen Spektrums.

Durch die erfindungsgemäße Phasendemodulation ergibt sich nach der zweiten Fouriertransformation nur dann ein Leistungspeak eines Radarechos, wenn nach der
10 Phasendemodulation eine kohärente Schwingung der Phasenlage der Radarechos über die Folge der Frequenzrampen vorhanden ist. Diese Bedingung erfüllen Radarechos, deren Sendesignal mit der Codefolge phasenmoduliert wurde, die mit der zur Phasendemodulation verwendeten Codefolge korreliert. Enthält das Basisbandsignal eines Radarechos hingegen einen Anteil des wenigstens einen zweiten Radarsensors,
15 so haben die entsprechenden, nach der ersten Fouriertransformation erhaltenen Peaks nach der Phasendemodulation keine Kohärenz über die Folge der Frequenzrampen. Die Kreuzkorrelation der Codefolgen liefert hier den Faktor Null.

Besonders vorteilhaft ist, dass durch die Verwendung von zueinander orthogonalen Codefolgen auch bei relativ kurzen Codefolgen eine sehr gute, im Idealfall vollständige
20 Unterdrückung von interferierenden Radarechos von Signalen des anderen Radarsensors erfolgt.

Durch die beschriebene Verwendung orthogonaler Codefolgen kann somit bei zeitlich synchronisierter Phasenmodulation zweier Sendesignale eine gegenseitige Interferenz unterdrückt werden. Somit kann Eigeninterferenz innerhalb eines Radarsystems mit
25 mehreren Radarsensoren eines Fahrzeugs unterdrückt werden.

Die Aufgabe wird weiter gelöst durch ein Radarsystem nach Anspruch 6.

Die getrennte Verarbeitung der Radarechos der Teil-Sendesignale bis zur Bestimmung eines zweidimensionalen Spektrums entspricht beispielsweise jeweils den oben beschriebenen Auswerteschritten.

Durch die Phasendemodulation und Summation der zweidimensionalen Spektren für die Teil-Signale ergibt sich im summierten Spektrum nur dann ein Leistungspeak eines Radarechos, wenn sich die getrennten Spektren zu einem Spektrum addieren, in welchem eine kohärente Schwingung der summierten Phasenlagen der Radarechos über
5 die Folgen der Frequenzrampen vorhanden ist. In der Addition wird im Falle eines Nutzsignals die Summe der Autokorrelationsfunktionen bei Zeitverschiebung Null als Faktor der Amplitude in der entsprechenden Entfernungs-/Geschwindigkeits-Zelle erhalten. Im Falle eines interferierenden, mit einem weiteren Codesatz phasenmodulierten Signals des Radarsensors des anderen Fahrzeugs wird die Summe der Kreuzkorrelationsfunktionen als Faktor der Amplitude erhalten. Diese ist gemäß der Codesatz-
10 Orthogonalitätsbeziehung gleich Null, unabhängig vom Wert einer Zeitverschiebung zwischen den Codefolgen.

Durch die beschriebene Verwendung von Codesätzen mit Codefolgen, die die Codesatz-Orthogonalitätsbeziehung erfüllen, kann auch bei zeitlich nicht synchronisierter Phasenmodulation zweier Sendesignale eine gegenseitige Interferenz unterdrückt
15 werden. Somit kann Fremdinterferenz zwischen Radarsensoren zweier Fahrzeuge unterdrückt werden.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

20 KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 ein Blockdiagramm eines FMCW-Radarsensors;
- Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Folge von Frequenzmodulationsrampen eines Sendesignals;
25
- Fig. 3 ein Blockdiagramm zur Erläuterung der Auswertung eines Basisbandsignals;

- Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Kraftfahrzeugs mit einem FMCW-Radarsystem in einer Situation mit Eigen-Interferenz;
- Fig. 5 ein Diagramm, das Abstandsinformation aus Teilsignalen eines Basisbandsignals zeigt, zur Erläuterung der Auswertung nach Fig. 3;
- 5 Fig. 6 ein Diagramm, das Geschwindigkeits- und Abstandsinformation aus einem Signalverlauf über die Teilsignale zeigt, zur Erläuterung der Auswertung nach Fig. 3;
- Fig. 7 eine beispielhafte Darstellung eines Sendesignals mit zwei Teil-Sendesignalen in Form einer jeweiligen Folge von Frequenzmodulationsrampen, zur Erläuterung einer Phasendemodulation bei Verwendung von Codesätzen mit mehreren Codes;
- 10 Fig. 8 ein Blockdiagramm zur Erläuterung der Auswertung eines Basisbandsignals bei einem Sendesignal mit zwei Rampensätzen wie z.B. nach Fig. 7 ;
- 15 Fig. 9 eine schematische Darstellung eines Kraftfahrzeugs mit einem FMCW-Radarsystem in einer Situation mit Fremd-Interferenz;
- Fig. 10 ein Diagramm, das Abstandsinformation aus Teilsignalen eines Basisbandsignals in einem Rampensatz zeigt, zur Erläuterung der Auswertung nach Fig. 8;
- 20 Fig. 11 ein Diagramm, das Geschwindigkeits- und Abstandsinformation aus Signalverläufen über Folgen von Teilsignalen in einem Rampensatz zeigt, zur Erläuterung der Auswertung nach Fig. 8;
- Fig. 12 ein Abstands-Geschwindigkeits-Diagramm nach der Summation von Signalverarbeitungsergebnissen für die beiden Rampensätze, zur Erläuterung der Auswertung nach Fig. 8; und
- 25

Fig. 13 ein Abstands-Geschwindigkeits-Diagramm zur Erläuterung der Auswertung von Multispeed-FMCW-Radarsignalen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

5 Der in Fig. 1 gezeigte FMCW-Radarsensor 10 ist vorne in einem Kraftfahrzeug eingebaut. Er umfasst einen Oszillator 12 zur Erzeugung eines Sendesignals, eine Frequenzmodulationseinrichtung 14 zur Steuerung der Frequenz des Oszillators 12 und eine Steuer- und Auswerteeinheit 16, die mit einem Fahrzeugbussystem 17 verbindbar ist. Ein Ausgang des Oszillators 12 ist über einen steuerbaren Phasenmodulator 18 mit
10 einem Sendeantennenelement 20 verbunden. Weiter ist ein Ausgang des Oszillators 12 mit einem Mischer 22 verbunden. Dieser ist dazu eingerichtet, ein von einem Empfangsantennenelement 24 empfangenes Empfangssignal mit dem frequenzmodulierten Signal des Oszillators 12 zu mischen, um ein Basisbandsignal s zu erzeugen. Das Basisbandsignal wird durch einen Analog-Digital-Wandler 26 abgetastet und digitalisiert.
15 Das Mischen und Digitalisieren erfolgt unter Erhalt der Phasenbeziehungen zwischen dem empfangenen Signal und dem Sendesignal. Die Steuer- und Auswerteeinheit 16 steuert die Frequenzmodulationseinrichtung 14 und umfasst eine Signalverarbeitungseinheit 28 zur Auswertung der Abtastwerte des Basisbandsignals s .

Fig. 2 zeigt ein Beispiel für ein Modulationsschema des vom Oszillator 12 ausgegebenen und durch den Phasenmodulator 18 phasenmodulierten Sendesignals. Die Frequenz f des Sendesignals ist als Funktion der Zeit t aufgetragen.
20

Die Frequenzmodulationseinrichtung 14 ist dazu eingerichtet, im einem Messzyklus das Signal des Oszillators 12 entsprechend einer Chirp-Sequence-Modulation mit wenigstens einer Folge von in regelmäßigen Zeitabständen aufeinanderfolgenden Frequenzrampen 30 zu modulieren, insbesondere einer Folge von linearen Rampen gleicher Steigung, gleicher Mittenfrequenz und gleichen Hubs. Die Frequenzmodulationsrampen werden auch als Chirps, Frequenzrampen oder einfach als Rampen bezeichnet.
25

Der Phasenmodulator 18 ist dazu eingerichtet, die Phasen der Chirps gemäß einer Codefolge C_m zu modulieren, nachfolgend auch als Code C_m bezeichnet. Dabei erhält jeder Chirp mit Index l , $l=0, \dots, L-1$, innerhalb der Folge eine Phasenlage gemäß einem zugeordneten Element der Codefolge in Form einer Phase $\phi_m(l)$. Dies kann als Multiplikation der komplexen Amplitude mit dem Faktor $C_m(l) = e^{j\phi_m(l)}$ beschrieben werden, wobei j die imaginäre Einheit ist. Die Anzahl der Rampen der Folge beträgt L und ist gleich der Länge des Codes C_m .

Die Chirp-Sequence-Modulation und die Phasenmodulation sind über den Fahrzeugbus 17 mit einer Modulation eines weiteren Radarsensors 10' synchronisierbar, so dass bei den jeweiligen Folgen der Frequenzrampen bzw. jeweiligen Codefolgen die zeitlichen Lagen von einander in der Reihenfolge entsprechenden Rampen bzw. Elementen der Codefolge nur einen geringen oder keinen Zeitversatz haben. Der Zeitversatz ist kleiner als die Dauer einer Rampe. Vorzugsweise werden die einander in der Reihenfolge entsprechenden Rampen bzw. Elemente der Codefolgen größtenteils zeitlich überlappend, besonders bevorzugt nahezu gleichzeitig (d.h. zeitlich vollständig überlappend) verwendet.

Die mittlere Frequenz des Sendesignals liegt in der Größenordnung von 76 Gigahertz, und der Frequenzhub F jeder Rampe liegt in der Größenordnung von einigen Megahertz. Die Rampendauer T ist in Fig. 2 kleiner als der zeitliche Abstand T_{r2r} , in dem die Rampen 30 aufeinander folgen. T_{r2r} liegt in der Größenordnung von einigen Mikrosekunden bis hin zu wenigen Millisekunden.

Fig. 3 zeigt ein Blockdiagramm eines in der Signalverarbeitungseinheit 28 implementierten Verfahrens zur Auswertung des Basisbandsignals s .

Eine erste Fouriertransformation 32 erfolgt, indem die den Chirps entsprechenden Teilsignale des Basisbandsignals s jeweils einer diskreten Fouriertransformation 32i in Form einer schnellen Fouriertransformation (FFT) unterzogen werden, um ein jeweiliges komplexes Frequenzspektrum 33 zu bestimmen. Für ein geortetes Objekt enthält das Spektrum 33 einen Peak bei einer jeweiligen Frequenzlage f_d .

Über die Folge der Chirps 30 ergibt sich bei konstanter Relativgeschwindigkeit v des georteten Objekts eine harmonische Schwingung der Phase des Peaks. Deren Frequenzlage f_v ist proportional zur mittleren Relativgeschwindigkeit v . Zusätzlich weist das Signal innerhalb einer Rampe 30 den Phasenoffset $\phi_m(l)$ auf.

- 5 Nach der ersten FFT 32 werden die eindimensionalen Frequenzspektren 33 einer Phasendemodulation 34 unterzogen, bei der die dem Sendesignal aufmodulierten Phasenoffsets durch entgegengesetzte Phasenoffsets demoduliert werden. Zum Rampenindex l erfolgt eine jeweilige Demodulation 34i durch Multiplikation des komplexen Spektrums 33 mit $C_m^*(l)$, dem konjugiert-komplexen von $C_m(l)$.
- 10 Es erfolgt eine zweite Fouriertransformation 38, beispielsweise in Form einer jeweiligen FFT 38i, die für einen jeweilige, einer Entfernung d entsprechende Frequenzlage der eindimensionalen, phasendemodulierten Spektren 33' über den laufenden Rampenindex l ausgeführt wird. Beispielhaft sind in Fig. 3 die zu einer Frequenzlage der Frequenzspektren 33' gehörenden Werte der Frequenzspektren 33' schraffiert dargestellt.
- 15 Bei der Frequenzlage f_d der ersten FFT zeigt das mit der zweiten FFT berechnete Frequenzspektrum den dem jeweiligen Objekt zugeordneten Peak bei der Dopplerfrequenz f_v , entsprechend einer Peak-Lage (f_d, f_v) im erhaltenen zweidimensionalen Spektrum. Die weitere Auswertung und Objektdetektion erfolgt durch eine Detektionseinheit 40.
- 20 Die Phasendemodulation kann alternativ bereits vor der Berechnung der ersten FFT 32 erfolgen. Die Hintereinanderschaltung der ersten FFT 32 und der zweiten FFT 38 entspricht einer zweidimensionalen FFT der phasendemodulierten Folge der Radarechos.

- Fig. 4 zeigt ein Beispiel, bei dem durch Verwendung verschiedener Codefolgen zweier FMCW-Radarsensoren 10, 10' in einem Kraftfahrzeug 42 Eigen-Interferenz in Form eines Störsignals, das vom einem Radarsensor 10 empfangen wird und vom anderen Radarsensor 10' mit einer Sendeantenne 20' stammt, unterdrückt wird. Die Radarsensoren 10, 10' haben unterschiedliche Einbauorte und sind insbesondere separat am Fahrzeug montiert.

Im Beispiel befindet sich ein Radarobjekt 44 auf einer Nebenspur bei einer Entfernung $d = 42$ m und hat eine Relativgeschwindigkeit von $v = -7,6$ m/s. Ein interferierendes Signal aus einem zweiten Radarsensor 10' des eigenen Fahrzeugs wird von einem Objekt 46 in einer Entfernung von 3,32 m und mit einer Relativgeschwindigkeit von 0 m/s empfangen, beispielsweise einem vorausfahrenden Fahrzeug. Die Sendesignale, und insbesondere die Rampenfolgen der Radarsensoren 10, 10', sind über ein bordei-

5 m/s empfangen, beispielsweise einem vorausfahrenden Fahrzeug. Die Sendesignale, und insbesondere die Rampenfolgen der Radarsensoren 10, 10', sind über ein bordei- genes Fahrzeugbussystem des Kraftfahrzeuges 42 miteinander synchronisiert.

Der erste Radarsensor 10 verwendet für die Phasenmodulation eine Codefolge C_m , der zweite Radarsensor 10' eine dazu orthogonale Codefolge C_q . Die Codefolgen werden

10 nachfolgend auch als Codes bezeichnet.

Codes werden als orthogonal bezeichnet, wenn ihre Kreuzkorrelationsfunktion für einen Zeitversatz Null gleich Null ist, d.h. $r_{C_m, C_q}(0) = 0$. Die Kreuzkorrelationsfunktion ist für komplexe C_m, C_q definiert als:

$$r_{C_m, C_q}(i) = \sum_{h=-\infty}^{\infty} C_m^*(h) \cdot C_q(h+i) \quad (1)$$

15 wobei für Indizes außerhalb des Bereichs $0, \dots, L-1$ die Elemente der Codes als Null definiert werden. Dabei ist i der Zeitversatz und entspricht der Differenz der Indizes der Werte der jeweiligen Codes.

Als orthogonale Codes können beispielsweise Hadamard-Codes verwendet werden. Hadamard-Codes sind binäre Codes, bei denen die Codes eines Codesatzes aus zu-

20 einander orthogonalen Zeilen von Hadamard-Matrizen bestehen. Die Elemente eines Codes, auch als Codewerte bezeichnet, sind auf die Werte +1 und -1 beschränkt, entsprechend Phasenoffsets von 0° bzw. 180° . Im Falle eines binären Codes können die Elemente des Codes durch jeweils ein Bit definiert werden.

Für jede Rampe wird das Spektrum nach der ersten FFT mit dem konjugiert komplexen

25 des zugeordneten Elements der Codefolge multipliziert.

Da die Dauer einer Rampe sehr viel größer als die Laufzeit des Signals zu einem realen Ziel und zurück ist, kann das empfangene Signal als synchron zu dem gesendeten Signal angesehen werden, entsprechend einem Zeitversatz Null. Dies wird im Folgenden als Synchronisationsbedingung bezeichnet.

- 5 Nach Durchführung der zweiten FFT über die Rampen ergibt sich für den Peak bei der Dopplerfrequenz f_v eine Amplitude, die proportional ist zum Wert der Kreuzkorrelationsfunktion des verwendeten Codes mit Zeitversatz Null, $r_{C_m, C_m}(0) = L$. Die Korrelationssumme der Codes ist gleich der Codelänge L . Dies entspricht der synchronen Multiplikation der beiden Codes. Insgesamt ist die Amplitude durch die Integration der 1. FFT
 10 über K Samples pro Rampe und die Integration der 2. FFT über die L Rampen einer Folger um einen Faktor KL größer als die Amplitude des Empfangssignals.

- Wird ein interferierendes Signal von dem zweiten Radarsensor 10' empfangen, das mit dem Code C_q kodiert wurde, so ergibt sich nach der ersten Fouriertransformation und der Phasendemodulation mit dem Code C_m hingegen als Vorfaktor einer Amplitude der
 15 zweiten Fouriertransformation die Kreuzkorrelationsfunktion der beiden Codes für einen Zeitversatz gleich Null, $r_{C_m, C_q}(0)$. Dabei ist der Zeitversatz gleich 0, wenn die Synchronisationsbedingung erfüllt ist und somit das von der ersten Rampe des Radarsensors 10' stammende Signal zusammen mit dem von der ersten Rampe des Radarsensors 10 stammenden Signal empfangen wird. Aufgrund der Orthogonalität
 20 $r_{C_m, C_q}(0)=0$ der beiden Codes wird die Störung unterdrückt. Die Korrelationssumme ist Null.

- Im Beispiel ist ein Störsignal ein vom Radarsensor 10' stammendes, am Objekt 44 reflektiertes Signal. Es können aber auch direkt vom Radarsensor 10' stammende Störsignale unterdrückt werden. Diese können beispielsweise einem Scheinobjekt entsprechen.
 25

Die in Fig. 4 gezeigte Situation wird im Folgenden beispielhaft anhand einer Chirp-Sequenz-Modulation beschrieben, mit folgenden Parametern des Rampensatzes: $F = 180$ MHz, $T = T_{r2r} = 0,02$ ms, und $L = 512$, womit sich eine Zeitdauer des Rampensatzes von $T_{slow} = 10,24$ ms ergibt. Jede Rampe wird an $N_{fast} = 512$ Stellen abgetastet.

Aufgrund der Kürze und Steilheit der Rampen dominiert im Basisbandsignal einer Rampe der abstandsabhängige Anteil der Frequenz, so dass das Frequenzspektrum der ersten FFT eines Teilsignals einer Auflösung nach den Entfernungen d entspricht. Die Amplituden der Frequenzspektren der Teilsignale sind in Fig. 5 schematisch über dem Abstand d und über dem Rampenindex l aufgetragen. Dabei sind die geschätzte Entfernung des echten Ziels bei $d = 42$ m und die Entfernung des interferierenden Signals bei einem Abstand 3,32 m markiert.

Die Werte der komplexen Amplitude bei der Frequenzlage entsprechend dem Abstand $d = 42$ m sind dabei über die Folge der Rampen l mit dem Code $C_m(l)$ phasenmoduliert. Hingegen sind die komplexen Amplituden bei der Frequenzlage des interferierenden Signals mit dem Code $C_q(l)$ phasenmoduliert.

Nach der Phasendemodulation mit dem Code C_m und der zweiten FFT weist das zweidimensionale Spektrum einen einzigen Peak bei der Frequenzlage des realen Objektes entsprechend $d = 42$ m und $v = -6,7$ m/s auf, wie in Fig. 6 schematisch dargestellt ist. Der Wert bei der Frequenzlage des Differenzsignals vom Ziel mit Abstand 3,32 m und Relativgeschwindigkeit 0 m/s ist hingegen Null, da bei der Summation der zweiten FFT die Orthogonalität der verwendeten Codes eine Amplitude von Null ergibt.

Wenn bei kurzer Rampenzeit die Synchronisationsbedingung nicht erfüllt ist, so ergibt sich als Vorfaktor des Interferenzsignals nach der zweiten FFT die Kreuzkorrelationsfunktion der Codes mit einem Zeitversatz ungleich Null. Diese ist im Normalfall nicht Null. Sie ist jedoch beispielsweise bei Verwendung von zwei Hadamard-Codes mit der Codelänge $L=512$ um $\log_{10}(1/512) = 27$ dB kleiner als der Vorfaktor $L = 512$ der Amplitude des Nutzsignals. Somit wird auch bei einem geringen Zeitversatz, der die Länge einer Rampe übersteigt, das interferierende Signal wirksam unterdrückt.

Anhand von Fig. 7 bis Fig. 12 wird nachfolgend ein Beispiel eines Radarsystems für eine Flotte von Fahrzeugen 42, 46 erläutert, bei dem durch Verwendung von Codesätzen mit jeweils zwei Codefolgen bei einem Radarsensor 10 eines Kraftfahrzeugs 42 Fremd-Interferenz in Form eines Störsignals, das vom anderen Radarsensor 10' eines anderen Kraftfahrzeugs 46 stammt, unterdrückt wird.

Fig. 9 zeigt schematisch eine Beispiel einer Verkehrssituation, bei dem ein in einem Fahrzeug 42 eingebauter Radarsensor 10 ein reflektiertes Signal von einem realen Ziel 44 bei einer Entfernung von $d = 42$ m und einer Relativgeschwindigkeit $v = -7,6$ m/s empfängt. Ein interferierendes Signal eines am Fahrzeugheck eines vorausfahrenden
 5 Fahrzeugs 46 montierten Radarsensors 10“ wird aus einer Entfernung von 1,66 m bei einer Relativgeschwindigkeit von 0 m/s empfangen.

Fig. 7 zeigt dazu ein Beispiel eines Sendesignals, bei dem ein Messzyklus zwei Teil-Sendesignale 47, 47' in Form von verschachtelten Folgen von Frequenzrampen 30, 30' umfasst. Die beiden Folgen werden nachfolgend auch als Rampensätze 47, 47' be-
 10 zeichnet. Innerhalb des jeweiligen Rampensatzes oder Teil-Sendesignals 47, 47' haben die Frequenzrampen 30 bzw. 30' einen identischen Rampenhub, Rampensteigung und Mittenfrequenz der Rampen. Die Rampensätze können sich beispielsweise durch einen unterschiedlichen Rampenhub, eine unterschiedliche Mittenfrequenz und/oder eine unterschiedliche Rampensteigung voneinander unterscheiden. Im gezeigten Bei-
 15 spiel unterscheiden sich die Rampensätze lediglich durch das unterschiedliche Vorzeichen der Rampensteigung. Die Parameter der Frequenzrampen entsprechen dem obigen Beispiel. Aufgrund der verschachtelten Rampensätze 47 und 47' ist nun aber $T_{r2r} = 0,04$ ms.

Jeder Rampensatz wird mit einer zugeordneten Codefolge eines Codesatzes phasen-
 20 moduliert, wobei die Codefolge jeder Frequenzrampe der Folge einen Phasenoffset zuordnet. Der Rampensatz 47 (Rampen 30) wird mit einer Codefolge C_{m1} moduliert, und der Rampensatz 47' (Rampen 30') wird mit einer Codefolge C_{m2} moduliert.

Der Codesatz C_m mit den Codes C_{m1} und C_{m2} wird aus einer Codegruppe gewählt, die M Codesätze enthält, wobei jeder Codesatz Q Codes der Länge L hat, wobei Q der
 25 Anzahl der Rampensätze entspricht und größer oder gleich 2 ist, im Beispiel $Q=2$. Es wird eine Codegruppe gewählt, die die als Codesatz-Orthogonalitätsbedingung bezeichnete Eigenschaft für alle Paare von Codesätzen C_m und C_q erfüllt:

$$r_{C_{m1},C_{q1}}(i) + r_{C_{m2},C_{q2}}(i) + \dots + r_{C_{mQ},C_{qQ}}(i) = 0 \text{ für alle } i=0,\dots,L-1. \quad (2)$$

Gruppen von Codesätzen mit dieser Eigenschaft werden auch als gegenseitig orthogonal („mutually orthogonal“) bezeichnet.

Zur Veranschaulichung wird ein Beispiel mit $L = 16$ und einer Anzahl von $M = 2$ Codesätzen $C1, C2$ mit jeweils $Q = 2$ Codes $C11, C12$ bzw. $C21, C22$ gegeben:

$$\begin{aligned}
 5 \quad C11 &= (+1, +1, +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, +1, -1) \\
 C12 &= (+1, +1, +1, -1, +1, +1, -1, +1, -1, -1, -1, +1, +1, -1, +1) \\
 C21 &= (+1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1) \\
 C22 &= (+1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, -1, -1, +1, -1, -1) \quad (3)
 \end{aligned}$$

Die Codesätze erfüllen die Eigenschaft der gegenseitigen Orthogonalität:

$$10 \quad r_{C11, C21}(i) + r_{C12, C22}(i) = 0 \text{ für alle } i. \quad (4)$$

Im Folgenden wird ein Beispiel mit $L=512$ beschrieben. Das Signal des Radarsensors 10 ist mit dem Codesatz C_m kodiert. Das Signal des fremden Radarsensors 10“ ist mit einem Codesatz C_q kodiert.

Die zu den beiden Rampensätzen 47, 47' empfangenen Signale werden zunächst getrennt in einem jeweiligen Kanal verarbeitet, wie in Fig. 8 schematisch dargestellt ist. Die Trennung kann beispielsweise durch einen Zeitversatz, unterschiedliche Rampenparameter, und/oder durch eine Polarisation der für die einzelnen Rampensätze verwendeten Antennen realisiert werden. Im Beispiel wird ein Zeitversatz und eine unterschiedliche Steigung in Form eines unterschiedlichen Vorzeichens der Rampensteigung verwendet.

Im jeweiligen Kanal entspricht die Verarbeitung zunächst der anhand von Fig. 3 erläuterten Verarbeitung. Es wird die erste Fouriertransformation 32 durchgeführt. Zur Phasendemodulation wird ein Codesatz verwendet, der mit dem zur Phasenmodulation verwendeten Codesatz C_{m1} , C_{m2} korreliert, hier beispielsweise identisch ist. Die Phasendemodulation 34 wird durch Multiplikation mit dem konjugiert-komplexen $C_{m,1}^*$ bzw. $C_{m,2}^*$ des jeweiligen Codes durchgeführt, und die zweite Fouriertransformation 38 wird über die Rampen des betreffenden Rampensatzes durchgeführt.

In einer Summation 48 werden die erhaltenen zweidimensionalen Spektren des ersten Rampensatzes 47 und des zweiten Rampensatzes 47' addiert und zur weiteren Auswertung an die Detektionseinheit 40 übergeben. Da die Entfernung eines Ziels sich während des Zeitversatzes der Rampensätze 47, 47' nur um einen sehr geringen Wert
5 ändert, werden bei der Summation der zweidimensionalen Frequenzspektren die komplexen Amplituden kohärent addiert.

Für den Fall eines realen Ziels entsteht bei der Frequenzlage des Ziels in den Frequenzspektren des Basisbandsignals bei der zweiten FFT 38 für einen jeweiligen Rampensatz eine Amplitude, die proportional zur Autokorrelationsfunktion des jeweiligen Codes mit Zeitversatz Null ist. Die Korrelationssumme der Codes ist für den jeweiligen Rampensatz daher gleich der Codelänge L .
10

Nach Summation der zweidimensionalen Spektren der Rampensätze 47, 47' ergibt sich ein Peak mit der Amplitude des Betrags $2AN_{\text{fast}}L$. Die Amplitude ist somit proportional einer Summe der Korrelationssummen der Codes des Codesatzes.

Bei einer Frequenz des interferierenden Signals eines fremden Radarsensors, der mit dem Codesatz C_{q1} , C_{q2} kodiert ist, ergibt sich bei der Summe der zweidimensionalen Spektren jedoch jeweils eine Amplitude, die proportional ist zur Summe der Kreuzkorrelationsfunktionen der jeweiligen Codes der Codesätze mit einem Zeitversatz, der gleich Null oder ungleich Null sein kann. Aufgrund der Eigenschaft der gegenseitigen
20 Orthogonalität gemäß Gleichung (2) ist diese stets Null.

Fig. 10 zeigt schematisch über dem Rampenindex l eines einzelnen Rampensatzes 47 bzw. 47' die aus der ersten FFT gewonnene Information über den Abstand d . Das Signal des fremden Radarsensors wird 5,12 ms später als das Radarecho des Ziels vom Radarsensor 10 empfangen.

Für die Frequenzspektren der jeweiligen Rampensätze 47, 47' werden dann die jeweiligen Phasendemodulationen und die zweite Fouriertransformation 38 durchgeführt. Es ergibt sich für die beiden Rampensätze jeweils ein zweidimensionales Spektrum über d und v gemäß Fig. 11.
25

Nach Summation der Spektren ergibt sich ein Spektrum gemäß Fig. 12. Die Amplituden des scheinbaren Ziels summieren sich zu Null. Für das reale Ziel ergibt sich hingegen aufgrund der Summation der Autokorrelationsfunktionen eine Amplitude

$$2A_1 N_{f_{\text{GIST}}} L e^{j\phi_{01}}. \quad (5)$$

- 5 Dabei ist ϕ_{01} ein Phasenoffset, der von der Entfernung des Ziels abhängig ist.

Somit wird das interferierende Signal wirksam unterdrückt, und das reale Ziel kann anhand des zweidimensionalen Spektrums detektiert werden.

In einer Variante des beschriebenen Verfahrens mit gegenseitig orthogonalen Codes werden für aufeinanderfolgende Messzyklen unterschiedliche Codesätze verwendet.

- 10 Beispielsweise kann ein Codesatz zufällig aus einer Gruppe gegenseitig orthogonaler Codes gewählt werden. Somit wird bei einer Interferenz von Signalen von Radarsensoren zweier Fahrzeuge, die dieselbe Codegruppe verwenden, die Wahrscheinlichkeit verringert, dass die Fahrzeuge gleichzeitig dieselbe Codierung verwenden.

- 15 Zur weiteren Verringerung der Auswirkung von Fremd-Interferenz können in aufeinanderfolgenden Messzyklen unterschiedliche Werte wenigstens eines Parameters der Frequenzrampen der Rampensätze 47, 47' verwendet werden. Werden beispielsweise unterschiedliche Rampensteigungen verwendet, so wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass ein interferierendes Signal eine andere Rampensteigung als das Signal des eigenen Radarsensors hat. Die Energie des interferierenden Signals verteilt sich dann im
- 20 Basisbandsignal über Frequenzen und bewirkt einen Rauschhintergrund des Nutzsignals. Es können beispielsweise auch unterschiedliche Dauern oder Anzahlen der Rampen der Rampensätze und/oder unterschiedliche Mittenfrequenzen verwendet werden.

- 25 Während bei den oben beschriebenen Beispielen die Phasenmodulation und -demodulation jeweils mit demselben Code erfolgt, entsprechend einem „Matched Filter“-Ansatz, ist es auch denkbar, stattdessen für die Phasendemodulation einen Code f_m bzw. einen Codesatz f_{m1}, f_{m2} zu verwenden, der mit dem Code C_m korreliert, aber nicht identisch ist, wobei der Codesatz f_{m1}, f_{m2} mit dem wenigstens einen weiteren

Codesatz C_q die Codesatz-Orthogonalitätsbedingung erfüllt. Dies ist in Fig. 1, Fig. 3 und Fig. 8 jeweils gestrichelt angedeutet. Entsprechend einem „Mismatched-Filter“-Ansatz werden die einem linearen Filter entsprechenden Codes f_{m1}, \dots, f_{mQ} für eine Anzahl von Q Codes der Länge L eines Codesatzes beispielsweise so gewählt, dass

5 sie die Bedingungen erfüllen:

$$r_{fm1, Cm1}(0) + r_{fm2, Cm2}(0) + \dots + r_{fmQ, CmQ}(0) = LQ, \text{ und} \quad (6)$$

$$r_{fm1, Cq1}(i) + r_{fm2, Cq2}(i) + \dots + r_{fmQ, CqQ}(i) = 0 \text{ für alle } i \quad (7)$$

Dadurch steht eine größere Anzahl von Codesätzen zur Verfügung.

Anders als beschrieben kann die Phasendemodulation des Basisbandsignals auch vor

10 der ersten FFT durchgeführt werden, wobei z.B. die Phasendemodulation mit den Codefolgen eines Codesatzes in getrennten Kanälen erfolgt.

Auch kann eine Phasendemodulation mit dem beim Sendesignal verwendeten Code erfolgen, indem der Mischer ein empfangenes Signal mit dem phasenmodulierten Sendesignal mischt, um das Basisbandsignal zu erzeugen.

15 Es können auch mehrwertige Codes verwendet werden. Binäre Codes ermöglichen jedoch einen schaltungstechnisch einfachen Aufbau, da für einen Phasenoffset von 180° lediglich die Amplitude des Signals zu invertieren ist.

In den beschriebenen Beispielen erfolgt lediglich eine Phasenmodulation, jedoch keine Amplitudenmodulation, so dass die volle Signalstärke genutzt werden kann. Ein Sendesignal kann jedoch auch mit wenigstens einer gemäß einer Codefolge phasen- und

20 amplitudenmodulierten Folge von Frequenzrampen moduliert werden.

Anstelle der beschriebenen Hadamard-Codes können auch andere orthogonale Codes verwendet werden, beispielsweise Fourier-Codes.

Das beschriebene Modulationsverfahren mit Frequenzrampen gleicher Mittenfrequenz

25 f_0 gemäß Fig. 2 oder Fig. 7 kann modifiziert werden, indem beispielsweise innerhalb eines Rampensatzes oder einer Rampenfolge die Mittenfrequenz f_0 der jeweiligen

Rampen gemäß einer linearen, übergeordneten Frequenzrampe mit Hub F_{slow} und Rampendauer T_{slow} verändert wird. Bei der Auswertung der zweiten FFT wird dann die durch die Folge der Rampen abgetastete Schwingung zur Bestimmung des Abstandes und der Relativgeschwindigkeit ausgewertet, wobei die Schwingung zusätzlich zu f_v
5 einen von der Steigung der langsamen Rampe abhängigen Frequenzanteil $f_{d,\text{slow}} = 2dF_{\text{slow}}/(cT_{\text{slow}})$ enthält. Die Frequenz $f_v + f_{d,\text{slow}}$ entspricht dann einer FMCW-Gleichung für die übergeordnete Rampe.

Die beschriebenen Codes haben den Vorteil, dass sie für beliebige Codelängen existieren und die günstige Korrelationseigenschaft für jede Codelänge vorhanden ist. Somit wird eine große Flexibilität beim Entwurf von Radarsignalen und Radarsystemen zur Verfügung gestellt. Es können beispielsweise Sendesignale mit wenigen Rampen verwendet werden. Daraus können sich eine geringere Sendezeit und verringerte Anforderungen an Speicher und die Datenübertragungsrate der Auswerteeinheit ergeben.

Bei den beschriebenen Modulationsverfahren werden kurze, schnelle Frequenzrampen verwendet, so dass die Frequenzspektren der den Rampen entsprechenden Teilsignale von dem abstandsabhängigen Frequenzanteil dominiert werden. Es sind aber auch modifizierte Verfahren denkbar, um eine Bestimmung von Werten für v und d eines Objektes zu ermöglichen. Dabei können beispielsweise Rampen mit geringerer Steigung und/oder größerer Rampendauer von z.B. $T = 0,1$ ms verwendet werden, wodurch auch die Anforderungen an die Abtastrate und/oder die Frequenzmodulation verringert werden. So kann beispielsweise aus einer ersten Fourieranalyse eines einer Rampe zugeordneten Teilsignals ein funktionaler Zusammenhang zwischen v und d ermittelt werden, beispielsweise gemäß der FMCW-Gleichung. Zur Bestimmung von v und d kann dann beispielsweise aus der zweiten FFT erhaltene Information verwendet werden und/oder ein Matching von Werten über mehrere Folgen von Rampen unterschiedlicher Rampenparameter erfolgen.

Beispielsweise kann eine jeweilige erste Fouriertransformation der jeweiligen Radarechos der Frequenzrampen des Sendesignals erfolgen; aus wenigstens einem erhaltenen eindimensionalen Spektrum erste Information in Form eines funktionalen Zusammenhangs zwischen dem Abstand d und der Relativgeschwindigkeit v eines geor-

teten Objekts bestimmt werden, der unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten v unterschiedliche Abstände d zuordnet, wobei beispielsweise der funktionale Zusammenhang einer FMCW-Gleichung für eine jeweilige Frequenzrampe entsprechen kann; wenigstens eine zweite Fouriertransformation in einer zweiten Dimension über den

5 zeitlichen Verlauf der Folge der phasendemodulierten, eindimensionalen Spektren der Radarechos der aufeinanderfolgenden Frequenzrampen ausgeführt werden; aus wenigstens einem erhaltenen Spektrum der zweiten Fouriertransformation, bzw., im Falle der Teil-Sendesignale, aus der Summation der erhaltenen Spektren der zweiten Fouriertransformation, weitere Information über Relativgeschwindigkeit und optional

10 Abstand des georteten Objekts erhalten werden, wobei die weitere Information beispielsweise Information in Form eines funktionalen Zusammenhangs gemäß einer FMCW-Gleichung für die übergeordnete, langsame Rampe der Mittenfrequenzen der Frequenzrampen sein kann; und der Abstand d und die Relativgeschwindigkeit v des georteten Objekts basierend auf einem Abgleichen (auch als Matching bezeichnet) der

15 ersten Information mit der weiteren Information bestimmt werden. Beispielsweise kann das Abgleichen der ersten Information mit der zweiten Information unter Berücksichtigung einer durch einen Eindeutigkeitsbereich für die Relativgeschwindigkeit v und optional den Abstand d bestimmten Mehrdeutigkeit der zweiten Information erfolgen. Ein solches Verfahren wird auch als Multispeed-FMCW (MS-FMCW) bezeichnet. Dabei hat

20 die Verwendung der orthogonalen Codes oder Codesätze, die Orthogonalitätsbedingung erfüllen, den besonderen Vorteil, dass auch bei MS-FMCW-Modulationsmustern mit relativ wenigen, vergleichsweise langen Rampen eine sehr gute Unterdrückung von Eigeninterferenz und/oder Fremdinterferenz erreichen lässt. Es lässt sich somit bei einer verringerten Abtastrate des A/D-Wandlers dennoch eine

25 gute Trennfähigkeit der Relativgeschwindigkeit v erreichen.

Durch die Hintereinanderausführung der eindimensionalen ersten und zweiten Fouriertransformationen stellt das Spektrum der zweiten Fouriertransformation ein Spektrum einer zweidimensionalen Fourieranalyse dar, bzw. eine Summe zweier solcher Spektren der Teil-Sendesignale. Der Abstand und die Relativgeschwindigkeit

30 werden somit insbesondere anhand eines Wertes des Frequenzspektrums einer zwei-

dimensionalen Fourieranalyse bestimmt, bzw. anhand einer Summation solcher zweidimensionaler Frequenzspektren.

Die erste Information kann bereits aus einem eindimensionalen Spektrum einer ersten Fouriertransformation bestimmt werden. Es kann auch anhand eines Peaks im zweidimensionalen Frequenzspektrum die erste Information aus der Lage des Peaks in der ersten Dimension des Frequenzspektrums bestimmt werden und die weitere Information aus der Lage des Peaks in der zweiten Dimension des Frequenzspektrums bestimmt werden.

Fig. 13 zeigt ein Beispiel eines v-d-Diagramms erster und zweiter Information einer Rampenfolge einer MS-FMCW-Messung mit einer langsamen, übergeordneten Frequenzrampe der Mittenfrequenzen der kurzen Rampen. Aus der Auswertung eines Frequenzspektrums eine Frequenzrampe ergibt sich anstelle eines Wertes für d die gegenüber der Vertikalen leicht geneigte Gerade, entsprechend einer linearen Beziehung zwischen der Relativgeschwindigkeit v und dem Abstand d (erste Information).

Nach der Phasendemodulation ergibt sich aus dem Peak des Spektrums der zweiten FFT (bzw. aus dem Peak der Summe der Spektren der zweiten FFT) eine weitere, hier flache, gestrichelte Gerade, die mit einer Mehrdeutigkeit behaftet ist. Durch Abgleichen der ersten Information mit der zweiten Information unter Berücksichtigung der genannten Mehrdeutigkeit ergeben sich potentielle Wertepaare (v, d), die durch Kreise an den Schnittpunkten der Geraden gekennzeichnet sind. Nur eines dieser Wertepaare entspricht dem georteten Radarobjekt (in Fig. 13 markiert). Indem im selben Messzyklus wenigstens eine zweite Rampenfolge mit einer anderen Steigung der kurzen Rampen und/oder einer anderen Steigung der übergeordneten Rampe verwendet wird, kann zu dem Radarobjekt ein eindeutiges Wertepaar (v, d) durch Matching der erhaltenen Schnittpunkte bestimmt werden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Radarsystem mit einem ersten FMCW-Radarsensor (10) und mit wenigstens einem zweiten FMCW-Radarsensor (10'), wobei der jeweilige FMCW-Radarsensor (10; 10') eine Steuer- und Auswerteinrichtung (16) aufweist, die für eine Betriebsweise ausgelegt ist, bei der ein Sendesignal gesendet wird, das eine Folge von Frequenzmodulationsrampen (30) umfasst,

wobei das Sendesignal des ersten FMCW-Radarsensors (10) gemäß wenigstens einer ersten Codefolge (C_m) phasenmoduliert wird, indem die Frequenzmodulationsrampen (30) jeweils eine Phasenlage gemäß einem der Frequenzmodulationsrampe (30) zugeordneten Element der Codefolge (C_m) erhalten,

wobei die Codefolge (C_m) orthogonal ist zu einer jeweils anderen Codefolge (C_q), gemäß welcher ein eine Folge von Frequenzmodulationsrampen umfassendes Sendesignal des jeweiligen anderen Radarsensors (10') phasenmoduliert wird,

wobei die Sendesignale des ersten FMCW-Radarsensors (10) und des wenigstens einen zweiten FMCW-Radarsensors (10') zeitlich synchronisiert gesendet werden,

wobei eine Folge von Radarechos der Frequenzmodulationsrampen des Sendesignals des ersten FMCW-Radarsensors (10) mit einer mit der ersten Codefolge (C_m) korrelierenden Codefolge ($C_m; f_m$) phasendemoduliert wird, und

wobei ein Abstand (d) und/oder eine Relativgeschwindigkeit (v) eines georteten Objektes (44) bestimmt wird basierend auf einem Wert eines Frequenzspektrums einer Fourieranalyse (32, 38) in einer ersten Dimension jeweils über Abtastwerte eines Radarechos einer Frequenzmodulationsrampe (30) und in einer zweiten Dimension über die phasendemodulierte Folge der Radarechos der Frequenzmodulationsrampen (30) des Sendesignals des ersten FMCW-Radarsensors (10).

2. Radarsystem nach Anspruch 1, wobei bei der besagten Betriebsweise:

- eine jeweilige erste Fouriertransformation (32i) der jeweiligen Radarechos der Frequenzmodulationsrampen (30) des Sendesignals erfolgt,
- die Phasendemodulation (34) an den erhaltenen eindimensionalen Spektren (33) der Radarechos der Frequenzmodulationsrampen (30) durchgeführt wird,

- eine zweite Fouriertransformation (38i) in einer zweiten Dimension über den zeitlichen Verlauf der Folge der phasendemodulierten, eindimensionalen Spektren (33) der Radarechos der aufeinanderfolgenden Frequenzmodulationsrampen (30) ausgeführt wird, und
 - 5 - wobei ein Abstand (d) und/oder eine Relativgeschwindigkeit (v) eines georteten Objektes (44) bestimmt wird anhand eines Peaks im erhaltenen zweidimensionalen Frequenzspektrum.
3. Radarsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Betrag des
10 wenigstens einen Wertes des Frequenzspektrums proportional ist zum Wert der komplexen Kreuzkorrelationsfunktion der ersten Codefolge (C_m) und der mit dieser korrelierenden, für die Phasendemodulation verwendeten Codefolge (C_m) bei einer Verschiebung zwischen den Codefolgen von Null.
- 15 4. Radarsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei im Falle eines etwaigen, in den Radarechos enthaltenen, von dem Sendesignal des jeweiligen anderen Radarsensors (10') stammenden Anteils, der einem potentiellen Radarobjekt (46) entspricht, dieser Anteil der Radarechos im Frequenzspektrum unterdrückt wird durch
20 die aufgrund der Orthogonalität fehlenden Korrelation zwischen der jeweils anderen Codefolge (C_q) und der zur Phasendemodulation verwendeten, mit der ersten Codefolge (C_m) korrelierenden Codefolge (C_m).
5. Radarsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei bei der besagten Betriebsweise die Orthogonalität der Codefolge (C_m) zu einer jeweils anderen Codefolge (C_q) darin besteht, dass die komplexe Kreuzkorrelationsfunktion der Codefolgen
25 (C_m ; C_q) für eine Null-Verschiebung zwischen den Codefolgen gleich Null ist.
6. Radarsystem für eine Fahrzeugflotte, umfassend mehrere FMCW-Radarsensoren (10, 10'') für ein jeweiliges Fahrzeug (42; 46) der Fahrzeugflotte, wobei
30 die FMCW-Radarsensoren (10, 10'') jeweils eine Steuer- und Auswerteeinrichtung (16) aufweisen, die für eine Betriebsweise ausgelegt ist, bei der in einem Messzyklus min-

destens zwei Teil-Sendesignale (47, 47') gesendet werden, die jeweils eine Folge von Frequenzmodulationsrampen (30; 30') umfassen,

wobei das jeweilige Teil-Sendesignal (47, 47') gemäß einer Codefolge (C_{m1} , C_{m2}) eines Codesatzes phasenmoduliert wird, indem die Frequenzmodulationsrampen (30; 30') jeweils eine Phasenlage gemäß einem der Frequenzmodulationsrampe zugeordneten Element der Codefolge (C_{m1} , C_{m2}) erhalten,

wobei für die wenigstens zwei Teil-Sendesignale (47, 47') wenigstens zwei zugeordnete Codefolgen (C_{m1} , C_{m2}) des Codesatzes zur Phasenmodulation verwendet werden,

wobei Radarechos der Teil-Sendesignale (47, 47') getrennt phasendemoduliert werden (34) und für ein jeweiliges Teil-Sendesignal ein Frequenzspektrum einer Fourieranalyse (32, 38) in einer ersten Dimension jeweils über Abtastwerte eines Radarechos einer Frequenzmodulationsrampe (30; 30') und in einer zweiten Dimension über die phasendemodulierte Folge der Radarechos der aufeinanderfolgenden Frequenzmodulationsrampen (30; 30') des Teil-Sendesignals (47, 47') bestimmt wird,

wobei ein Abstand (d) und/oder eine Relativgeschwindigkeit (v) eines georteten Objektes (44) bestimmt wird anhand einer Summation (48) der für die Teil-Sendesignale getrennt bestimmten Frequenzspektren, und

wobei die Steuer- und Auswerteeinrichtung (16) eines Radarsensors (10) für ein erstes Fahrzeug (42) dazu ausgelegt ist, bei der besagten Betriebsweise wenigstens einen ersten Codesatz (C_{m1} , C_{m2}) zu verwenden,

wobei die Steuer- und Auswerteeinrichtung (16) eines Radarsensors (10") für wenigstens ein anderes Fahrzeug (46) der Fahrzeugflotte dazu ausgelegt ist, bei der besagten Betriebsweise wenigstens einen weiteren Codesatz (C_{q1} , C_{q2}) zu verwenden, und

wobei der wenigstens eine erste Codesatz (C_{m1} , C_{m2}) und der wenigstens eine weitere Codesatz (C_{q1} , C_{q2}) die Codesatz-Orthogonalitätsbeziehung erfüllen, dass eine über die Anzahl der Codefolgen je Codesatz ausgeführte Summation der komplexen Kreuzkorrelation der q-ten Codefolge des ersten Codesatzes und der q-ten Codefolge des weiteren Codesatzes gleich Null ist für jede beliebige diskrete Verschiebung zwischen den Codefolgen des ersten und des anderen Codesatzes, einschließlich einer Null-Verschiebung, wobei q der Summationsindex ist.

7. Radarsystem nach Anspruch 6, wobei im Falle eines etwaigen, in den Radarechos des Radarsensors (10) für das erste Fahrzeug (42) enthaltenen, von dem mit wenigstens einem weiteren Codesatz (C_{q1} , C_{q2}) phasenmodulierten Sendesignal eines Radarsensors (10'') für ein anderes Fahrzeug (46) stammenden Anteils, der einem potentiellen Radarobjekt entspricht, bei der Summation Radarechos des potentiellen Radarobjekts unterdrückt werden aufgrund der Codesatz-Orthogonalitätsbeziehung.
8. Radarsystem nach Anspruch 6 oder 7, bei dem die Steuer- und Auswerteeinrichtung (16) des jeweiligen Radarsensors (10) dazu ausgelegt ist, bei der besagten Betriebsweise zur Phasendemodulation jeweils einen Codesatz (f_{m1} , f_{m2}) zu verwenden, der mit dem zur Phasenmodulation der Teil-Sendesignale (47, 47') verwendeten Codesatz (C_{m1} , C_{m2}) korreliert, sich aber von diesem unterscheidet, und mit dem wenigstens einen weiteren Codesatz (C_{q1} , C_{q2}) die Codesatz-Orthogonalitätsbedingung erfüllt.
9. Radarsystem nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem die Steuer- und Auswerteeinrichtung (16) des jeweiligen Radarsensors (10; 10'') dazu ausgelegt ist, bei der besagten Betriebsweise die Folgen der Frequenzmodulationsrampen (30; 30') der wenigstens zwei Teil-Sendesignale (47, 47') zeitlich miteinander verschachtelt zu senden, und die Radarechos der wenigstens zwei Teil-Sendesignale (47, 47') zu trennen auf der Basis einer zeitlichen Zuordnung zu den Folgen der Frequenzmodulationsrampen (30; 30') der Teil-Sendesignale (47, 47').
10. Radarsystem nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei bei der besagten Betriebsweise eines jeweiligen Radarsensors (10; 10'') getrennt für die Teil-Sendesignale (47, 47'):
- eine jeweilige erste Fouriertransformation (32i) der jeweiligen Radarechos der Frequenzmodulationsrampen (30; 30') des Teil-Sendesignals (47, 47') erfolgt,

- die Phasendemodulation (34) an den erhaltenen eindimensionalen Spektren (33) der Radarechos der Frequenzmodulationsrampen (30; 30') durchgeführt wird,

5 - eine zweite Fouriertransformation (38) in einer zweiten Dimension über den zeitlichen Verlauf der Folge der phasendemodulierten, eindimensionalen Spektren (33) der Radarechos der aufeinanderfolgenden Frequenzmodulationsrampen (30; 30') ausgeführt wird, und

wobei eine die Phasen berücksichtigende Summation (48) der getrennt erhaltenen zweidimensionalen Spektren erfolgt, und

10 wobei ein Abstand (d) und/oder eine Relativgeschwindigkeit (v) eines georteten Objektes (44) bestimmt wird anhand eines Peaks im erhaltenen, summierten zweidimensionalen Spektrum.

11. Radarsystem nach einem der Ansprüche 6 bis 10, wobei die Beträge der Werte
15 der für die Teil-Sendesignale getrennt bestimmten Frequenzspektren jeweils proportional sind zum Betrag der komplexen Kreuzkorrelationsfunktion der zur Phasenmodulation des jeweiligen Teil-Sendesignals verwendeten Codefolge (C_{m1} , C_{m2}) und der mit dieser korrelierenden, für die Phasendemodulation verwendeten Codefolge (C_{m1} , C_{m2}) bei einer Verschiebung zwischen den Codefolgen von Null.

20

12. Radarsystem nach einem der Ansprüche 6 bis 11, wobei die Steuer- und Auswerteeinrichtung (16) des jeweiligen Radarsensors (10) dazu ausgelegt ist, bei der besagten Betriebsweise in wenigstens einem ersten Messzyklus wenigstens einen ersten Codesatz (C_{m1} , C_{m2}) zu verwenden und in wenigstens einem weiteren Messzyklus
25 wenigstens einen weiteren Codesatz (C_{q1} , C_{q2}) zu verwenden,

wobei der erste Codesatz (C_{m1} , C_{m2}) und der wenigstens eine weitere Codesatz (C_{q1} , C_{q2}) die Codesatz-Orthogonalitätsbeziehung erfüllen.

13. Radarsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei dem bei der besagten
30 Betriebsweise die jeweilige Folge von Frequenzmodulationsrampen (30; 30') eine Folge von Frequenzrampen ist, deren jeweilige Mittenfrequenzen (f_0) gemäß einer übergeordneten Frequenzrampe über die Folge der Frequenzrampen verändert wird.

14. Radarsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bei dem bei der besagten Betriebsweise:

- basierend auf wenigstens einem Frequenzspektrum (33) einer Fourieranalyse (32) in einer Dimension über Abtastwerte eines Radarechos einer Frequenzmodulationsrampe (30; 30') des Sendesignals erste Information in Form eines funktionalen Zusammenhangs zwischen dem Abstand (d) und der Relativgeschwindigkeit (v) eines georteten Objekts (44) bestimmt wird, der unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten (v) unterschiedliche Abstände (d) zuordnet,
- 5 - basierend auf wenigstens einem Frequenzspektrum einer Fourieranalyse (38) in einer Dimension über den zeitlichen Verlauf der Folge Radarechos der aufeinanderfolgenden Frequenzmodulationsrampen (30; 30') weitere Information über Relativgeschwindigkeit (v) und optional Abstand (d) des georteten Objekts (44) erhalten wird, und
- 10 - der Abstand (d) und die Relativgeschwindigkeit (v) des georteten Objekts (44) basierend auf einem Abgleichen der ersten Information mit der weiteren Information bestimmt wird.
- 15

15. Radarsensor (10) für ein Radarsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 14.

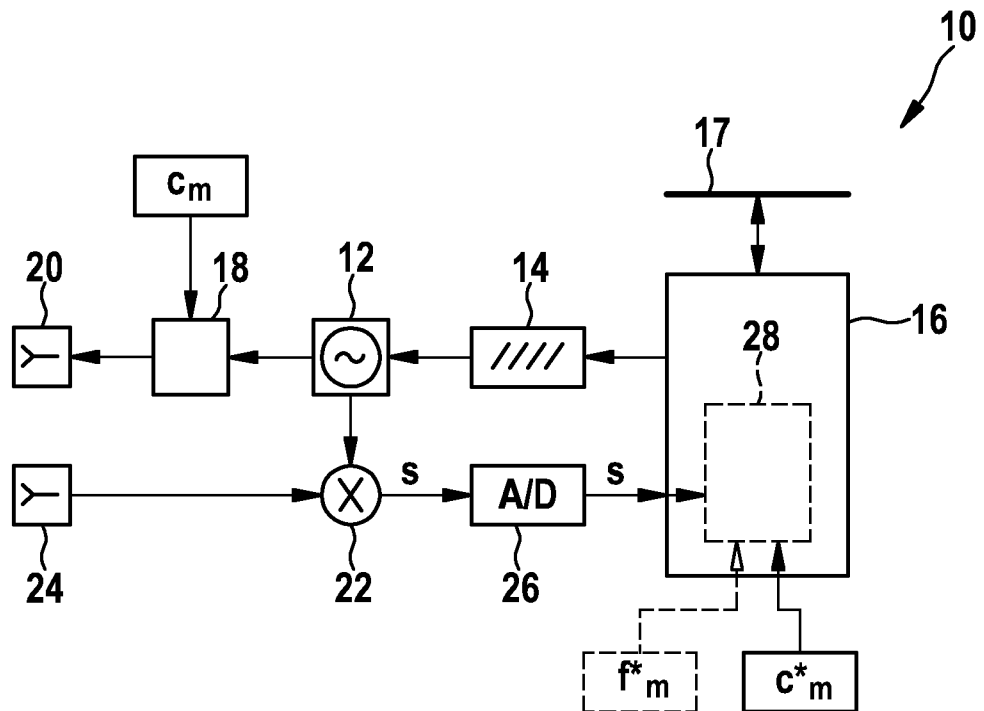


Fig. 1

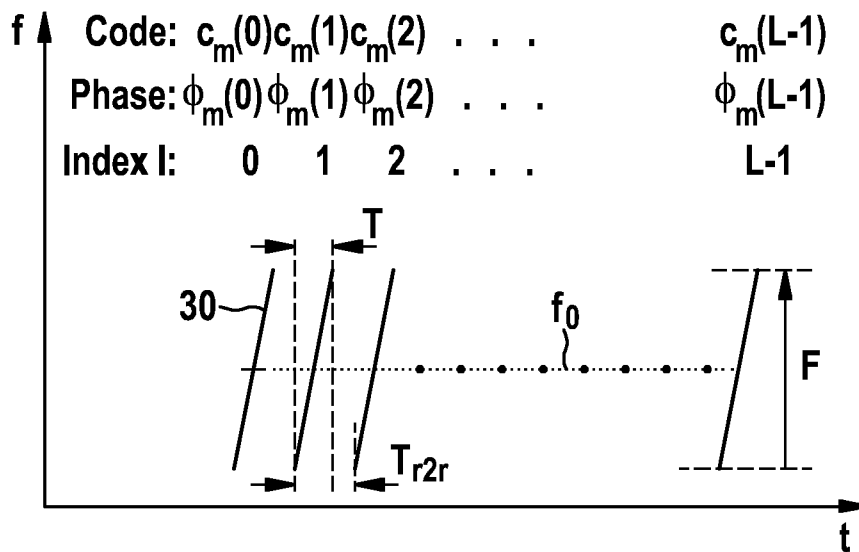


Fig. 2

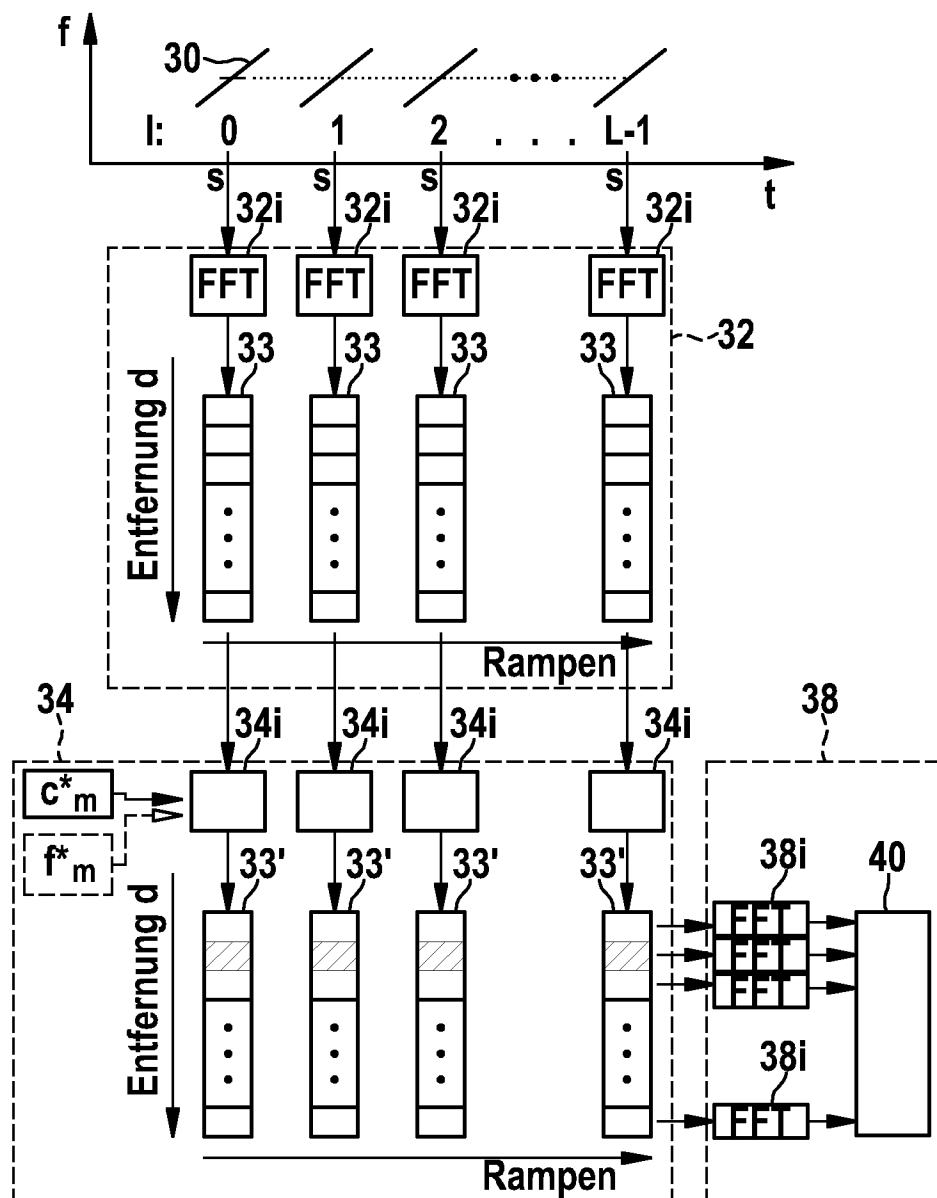


Fig. 3

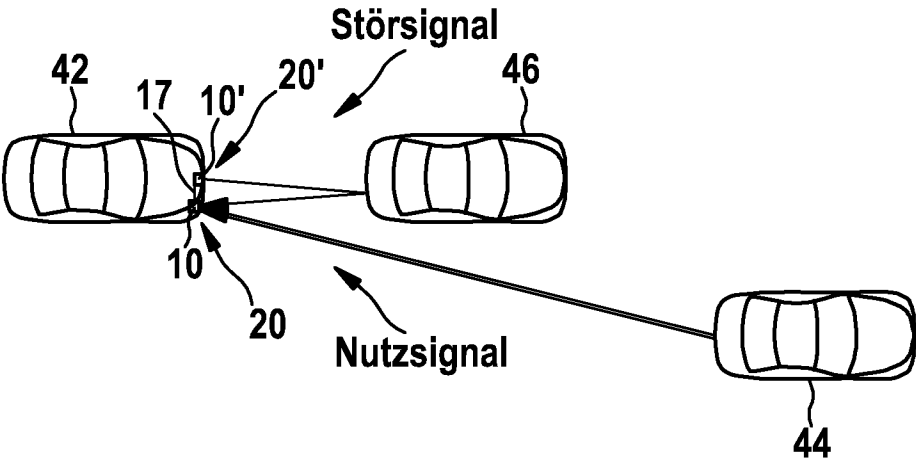


Fig. 4

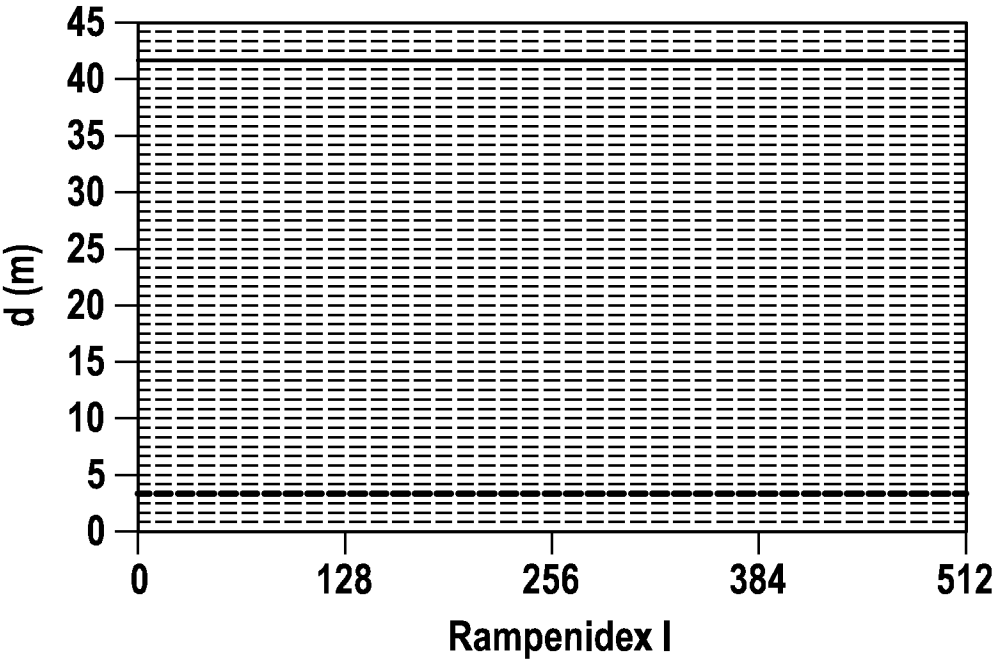


Fig. 5

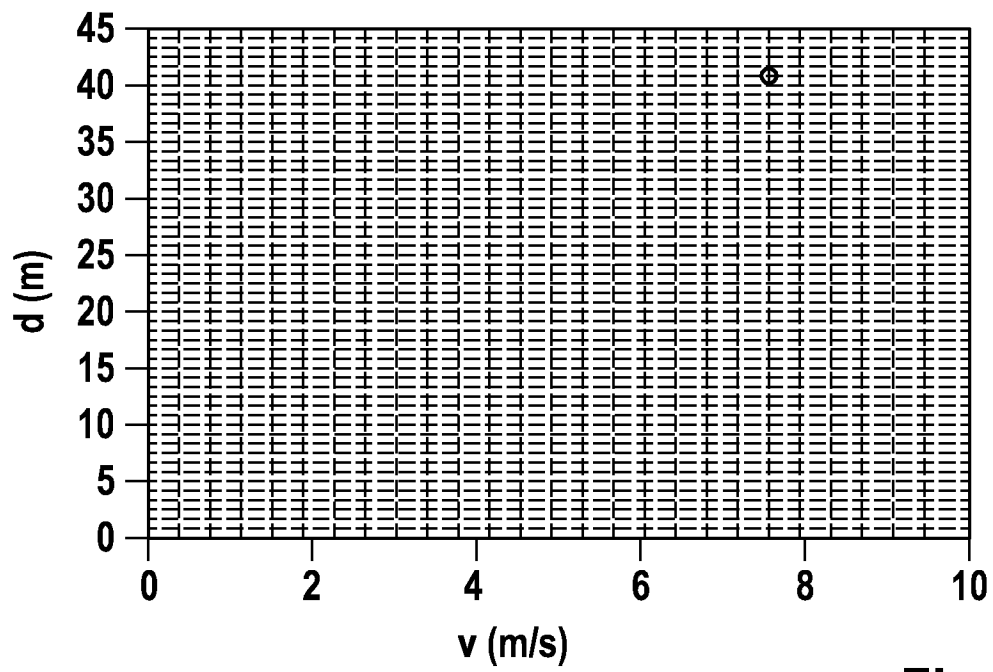


Fig. 6

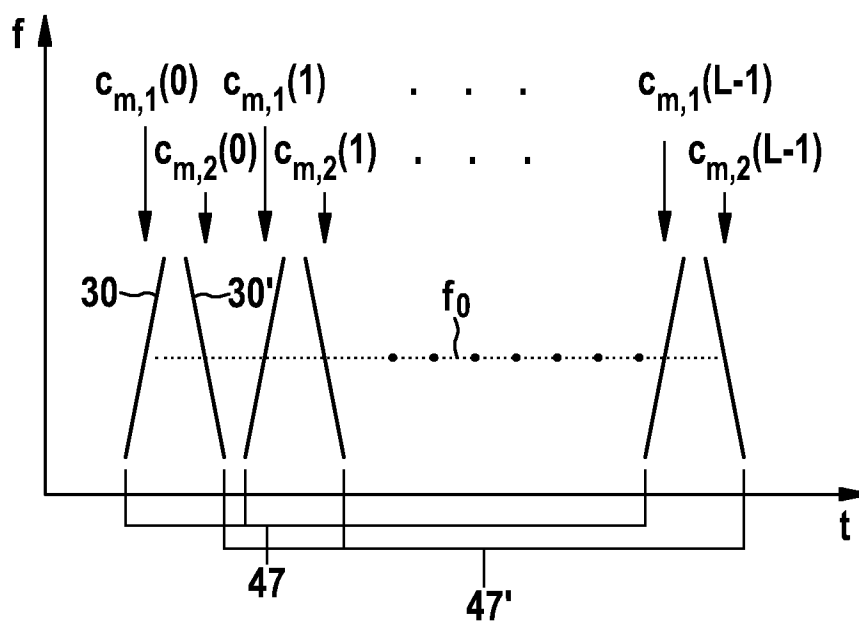


Fig. 7

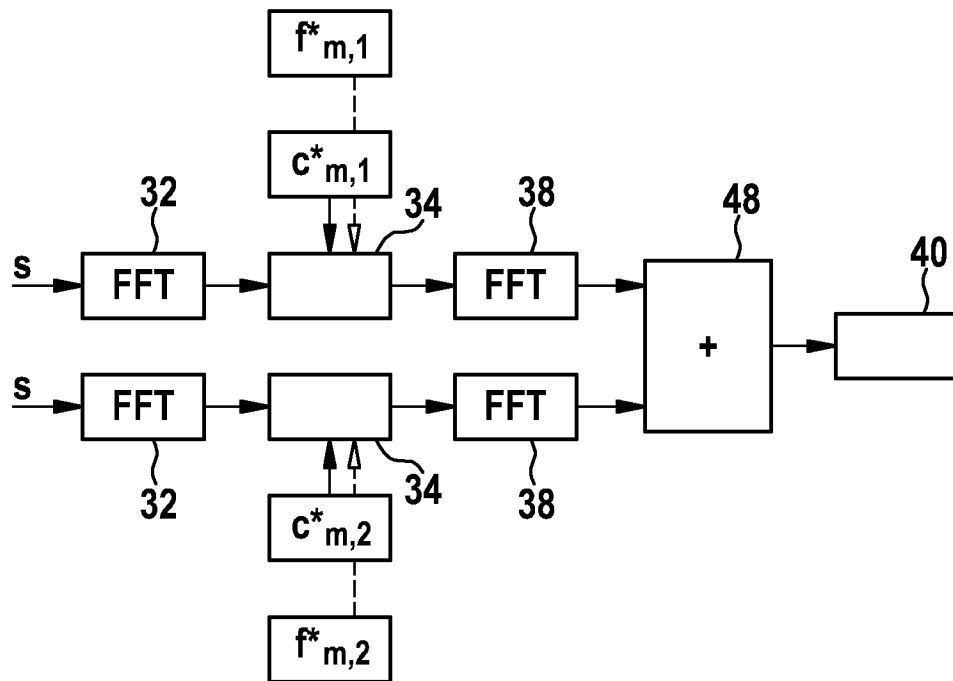


Fig. 8

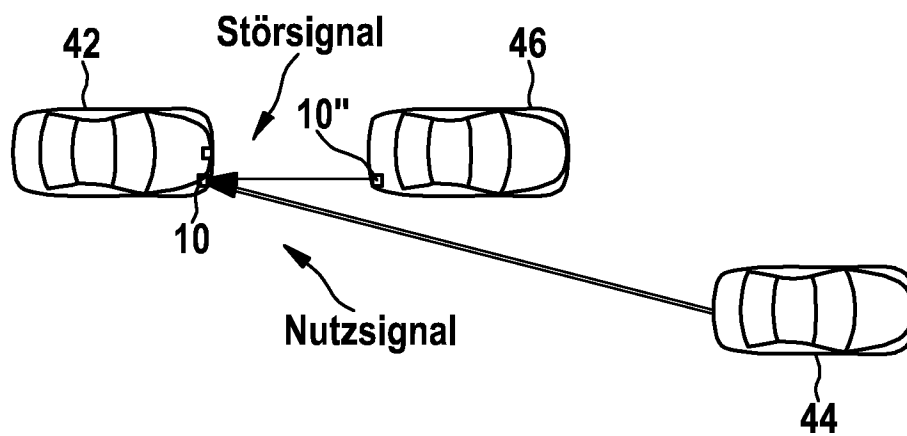
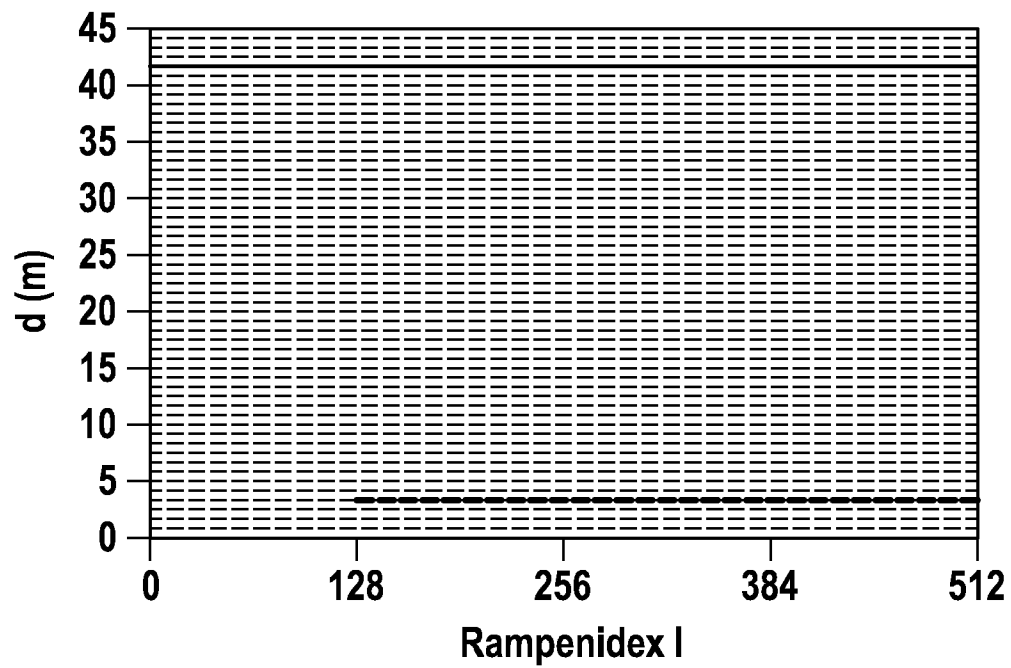
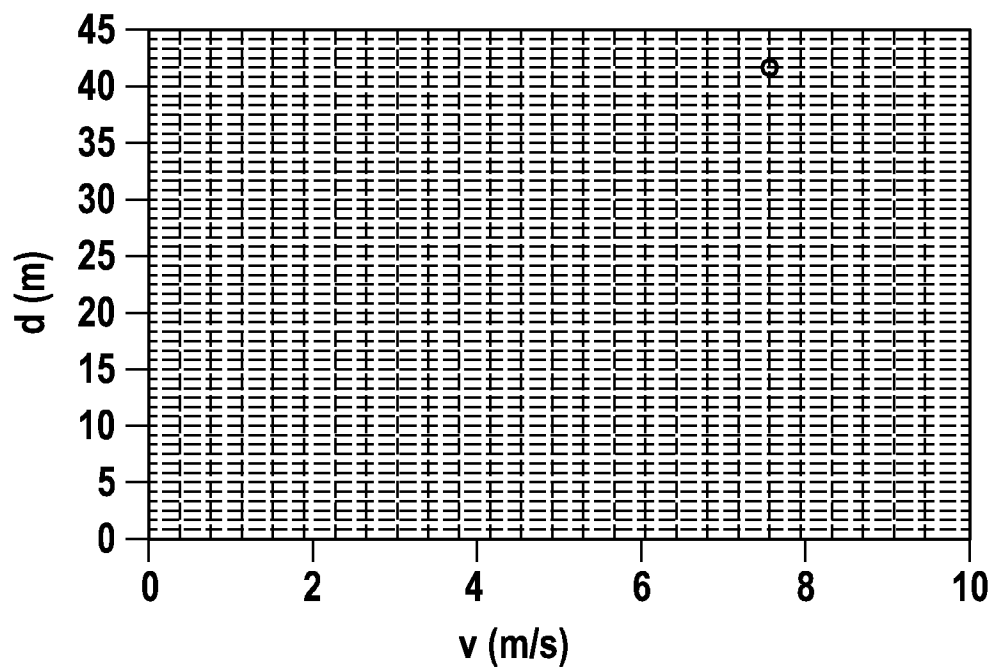


Fig. 9

**Fig. 10****Fig. 11**

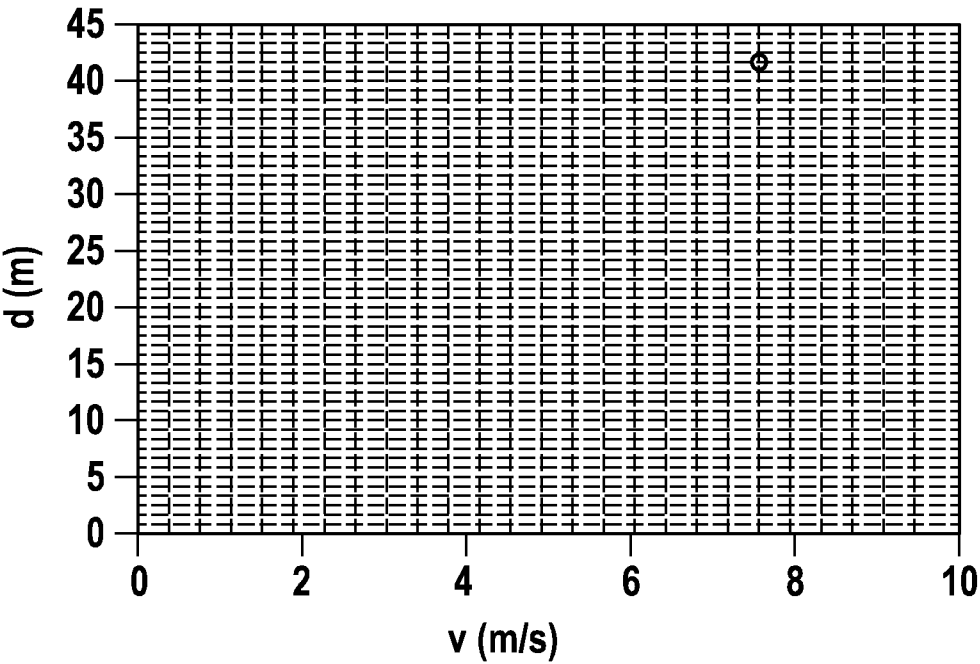


Fig. 12

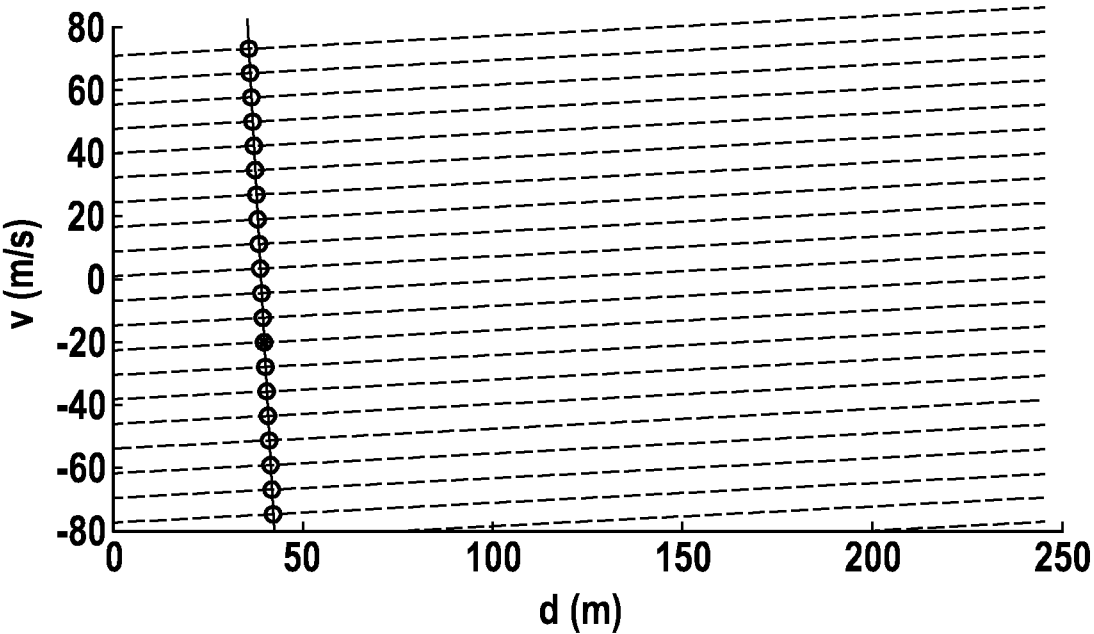


Fig. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/057019

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01S7/02 G01S13/32 G01S13/34 G01S13/38 G01S13/536 G01S13/87 G01S13/93 ADD. 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		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2010/115418 A2 (CONTI TEMIC MICROELECTRONIC [DE]; WINTERMANTEL MARKUS [DE]) 14 October 2010 (2010-10-14) cited in the application	1-7, 10-12,15
Y	the whole document	8,13
A	----- WO 03/104833 A2 (ROADEYE FLR GENERAL PARTNERSHI [IL]; HARTZSTEIN CLAUDIO [IL]; LEVY AHA) 18 December 2003 (2003-12-18) page 22, line 15 - page 24, line 23; figure 9	1-7, 10-12,15
A,P	----- WO 2013/156012 A1 (S M S SMART MICROWAVE SENSORS GMBH [DE]) 24 October 2013 (2013-10-24) the whole document ----- -/-	1-7, 10-12,15
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex. </div>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>* Special categories of cited documents :</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p> </div> </div>		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
16 September 2014	23/09/2014	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Schmelz, Christian	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/057019

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2010 024328 A1 (AUDI NSU AUTO UNION AG [DE]) 22 December 2011 (2011-12-22) paragraph [0037] -----	1
Y	WO 2005/111655 A2 (RAYTHEON CANADA LTD [CA]; RAYTHEON CO [US]; PONSFORD ANTHONY M [CA]; D) 24 November 2005 (2005-11-24) paragraphs [0010], [0015], [0052], [0056], [0057] -----	8
Y	LUKE H D: "Mismatched filtering of periodic quadriphase and 8-phase sequences", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ. USA, vol. 51, no. 7, 1 July 2003 (2003-07-01), pages 1061-1063, XP011099038, ISSN: 0090-6778, DOI: 10.1109/TCOMM.2003.814207 abstract Kapitel I -----	8
Y,P	DE 10 2012 212888 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 23 January 2014 (2014-01-23) the whole document -----	13
Y	DE 10 2009 000468 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 13 August 2009 (2009-08-13) the whole document -----	13
Y	WO 2010/012801 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC INF TECH [GB]; MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]; SZAJ) 4 February 2010 (2010-02-04) the whole document -----	13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2014/057019

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see Supplemental sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☒ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

1-8, 10-13, 15
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has found that the international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

1. Claims 1-7, 10-12, 15

FMCW radar system having phase-coded ramp sequences.

Problem solved: interference cancellation.

2. Claim 8

FMCW radar system with phase demodulation by correlating (orthogonal) code sets ("mismatched filter" approach), which however differ from the emitting signal.

Problem solved: increase in the number of available code sets, see page 17, line 8.

3. Claim 9

FMCW radar system with sequences of (in each case similar) frequency ramps (e.g. having different slopes, cf. figure 7 and page 13, lines 7-18) which are emitted in a time-interleaved manner.

Problem solved: e.g. more continuous frequency drive of the VCO (no "frequency hopping" like with saw tooth ramps).

4. Claim 13

FMCW radar system with variable ramp center frequency.

Problem solved: avoiding ghost targets or producing the unambiguity in the v,d diagram, see page 20, lines 21-25; page 17, line 24 - page 18, line 7.

5. Claim 14

FMCW radar system with production of a functional v,d relationship from a one-dimensional Fourier analysis and further information regarding v, optionally d, from a (further ?) one-dimensional Fourier analysis.

Problem solved:

e.g. reduction of the scanning rate (simpler signal processing), see page 18, lines 20-21, and page 19, line 24;

or:

precise velocity and distance estimation of detected radar objects

or:

increased separability of simultaneously detected radar objects while keeping the hardware and computing complexity as low as possible.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/057019

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2010115418 A2	14-10-2010	CN 102356332 A DE 112010001529 A5 EP 2417475 A2 EP 2629113 A1 JP 2012522972 A KR 20110139765 A US 2012001791 A1 WO 2010115418 A2	15-02-2012 25-10-2012 15-02-2012 21-08-2013 27-09-2012 29-12-2011 05-01-2012 14-10-2010
WO 03104833 A2	18-12-2003	AU 2003231900 A1 EP 1532462 A2 US 2005285773 A1 WO 03104833 A2	22-12-2003 25-05-2005 29-12-2005 18-12-2003
WO 2013156012 A1	24-10-2013	DE 102012008350 A1 WO 2013156012 A1	24-10-2013 24-10-2013
DE 102010024328 A1	22-12-2011	NONE	
WO 2005111655 A2	24-11-2005	AU 2005242826 A1 CA 2567572 A1 GB 2430322 A US 2005242985 A1 WO 2005111655 A2	24-11-2005 24-11-2005 21-03-2007 03-11-2005 24-11-2005
DE 102012212888 A1	23-01-2014	CN 103576139 A DE 102012212888 A1 FR 2993995 A1 US 2014022111 A1	12-02-2014 23-01-2014 31-01-2014 23-01-2014
DE 102009000468 A1	13-08-2009	DE 102009000468 A1 US 2010289692 A1	13-08-2009 18-11-2010
WO 2010012801 A1	04-02-2010	AT 540323 T EP 2307908 A1 GB 2462148 A JP 5362004 B2 JP 2011529570 A US 2011122014 A1 WO 2010012801 A1	15-01-2012 13-04-2011 03-02-2010 11-12-2013 08-12-2011 26-05-2011 04-02-2010

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	G01S7/02	G01S13/32
	G01S13/87	G01S13/93
ADD.	G01S13/34	G01S13/38
		G01S13/536
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		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2010/115418 A2 (CONTI TEMIC MICROELECTRONIC [DE]; WINTERMANTEL MARKUS [DE]) 14. Oktober 2010 (2010-10-14)	1-7, 10-12,15
Y	in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	8,13
A	WO 03/104833 A2 (ROADEYE FLR GENERAL PARTNERSHI [IL]; HARTZSTEIN CLAUDIO [IL]; LEVY AHA) 18. Dezember 2003 (2003-12-18)	1-7, 10-12,15
	Seite 22, Zeile 15 - Seite 24, Zeile 23; Abbildung 9	
A,P	WO 2013/156012 A1 (S M S SMART MICROWAVE SENSORS GMBH [DE]) 24. Oktober 2013 (2013-10-24)	1-7, 10-12,15
	das ganze Dokument	
	- / - -	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
16. September 2014		23/09/2014
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Schmelz, Christian

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2010 024328 A1 (AUDI NSU AUTO UNION AG [DE]) 22. Dezember 2011 (2011-12-22) Absatz [0037] -----	1
Y	WO 2005/111655 A2 (RAYTHEON CANADA LTD [CA]; RAYTHEON CO [US]; PONSFORD ANTHONY M [CA]; D) 24. November 2005 (2005-11-24) Absätze [0010], [0015], [0052], [0056], [0057] -----	8
Y	LUKE H D: "Mismatched filtering of periodic quadriphase and 8-phase sequences", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ. USA, Bd. 51, Nr. 7, 1. Juli 2003 (2003-07-01), Seiten 1061-1063, XP011099038, ISSN: 0090-6778, DOI: 10.1109/TCOMM.2003.814207 Zusammenfassung Kapitel I -----	8
Y,P	DE 10 2012 212888 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 23. Januar 2014 (2014-01-23) das ganze Dokument -----	13
Y	DE 10 2009 000468 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 13. August 2009 (2009-08-13) das ganze Dokument -----	13
Y	WO 2010/012801 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC INF TECH [GB]; MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]; SZAJ) 4. Februar 2010 (2010-02-04) das ganze Dokument -----	13

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. ☒ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
1-8, 10-13, 15

4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- ☐ Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- ☒ Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-7, 10-12, 15

FMCW-Radarsystem mit phasenkodierten Rampenfolgen.
Gelöste Aufgabe: Interferenzunterdrückung

2. Anspruch: 8

FMCW-Radarsystem mit Phasen-Demodulation durch korrelierende, aber sich vom Sendesignal unterscheidende (orthogonale) Code-Sätze ("mismatched filter"-Ansatz).
Gelöste Aufgabe: Erhöhung der Anzahl von verfügbaren Codesätzen, siehe S. 17, Z. 8.

3. Anspruch: 9

FMCW-Radarsystem mit zeitlich verschachtelt gesendeten Folgen von (jeweils gleichartigen) Frequenzrampen (z.B. unterschiedlicher Steigung vgl. Fig. 7 und S. 13, Z. 7-18).
Gelöste Aufgabe: z.B. kontinuierlichere Frequenzansteuerung des VCO (keine 'Frequenzsprünge' wie bei Sägezahn-Rampen)

4. Anspruch: 13

FMCW-Radarsystem mit veränderlicher Rampenmittenfrequenz.
Gelöste Aufgabe: Vermeidung von Geisterzielen, oder Herstellung der Eindeutigkeit im v,d-Diagramm, siehe S. 20, Z. 21-25 mit S. 17, Z. 24 bis S. 18, Z. 7.

5. Anspruch: 14

FMCW-Radarsystem mit Gewinnung eines funktionalen v,d-Zusammenhangs aus einer eindim. Fourieranalyse und weiterer Information über v, optional d, aus einer (weiteren?) eindim. Fourieranalyse.
Gelöste Aufgabe:
z.B. Verringerung der Abtastrate (einfachere Signalverarbeitung), siehe S. 18, Z. 20-21 und S. 19, Z. 24;
oder:
genaue Geschwindigkeits- und Abstandsschätzung erfasster Radarobjekte
oder:
verbesserte Trennfähigkeit gleichzeitig erfasster Radarobjekte bei möglichst geringem Hardware-Aufwand und Rechenaufwand.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/057019

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2010115418 A2	14-10-2010	CN 102356332 A	15-02-2012
		DE 112010001529 A5	25-10-2012
		EP 2417475 A2	15-02-2012
		EP 2629113 A1	21-08-2013
		JP 2012522972 A	27-09-2012
		KR 20110139765 A	29-12-2011
		US 2012001791 A1	05-01-2012
		WO 2010115418 A2	14-10-2010
WO 03104833 A2	18-12-2003	AU 2003231900 A1	22-12-2003
		EP 1532462 A2	25-05-2005
		US 2005285773 A1	29-12-2005
		WO 03104833 A2	18-12-2003
WO 2013156012 A1	24-10-2013	DE 102012008350 A1	24-10-2013
		WO 2013156012 A1	24-10-2013
DE 102010024328 A1	22-12-2011	KEINE	
WO 2005111655 A2	24-11-2005	AU 2005242826 A1	24-11-2005
		CA 2567572 A1	24-11-2005
		GB 2430322 A	21-03-2007
		US 2005242985 A1	03-11-2005
		WO 2005111655 A2	24-11-2005
DE 102012212888 A1	23-01-2014	CN 103576139 A	12-02-2014
		DE 102012212888 A1	23-01-2014
		FR 2993995 A1	31-01-2014
		US 2014022111 A1	23-01-2014
DE 102009000468 A1	13-08-2009	DE 102009000468 A1	13-08-2009
		US 2010289692 A1	18-11-2010
WO 2010012801 A1	04-02-2010	AT 540323 T	15-01-2012
		EP 2307908 A1	13-04-2011
		GB 2462148 A	03-02-2010
		JP 5362004 B2	11-12-2013
		JP 2011529570 A	08-12-2011
		US 2011122014 A1	26-05-2011
		WO 2010012801 A1	04-02-2010