

**WO 2015/197223 A1**



---

in einer Reichweite unterscheiden, ausgeführt werden, wobei die Messungen jeweils zeitlich verschachtelte Sequenzen (22; 26; 32; 36; 40; 42; 44) von Rampen (24; 28; 34; 38; 41; 43; 45) umfassen und Messungen mit unterschiedlichen Sichtbereichen (p) zeitlich miteinander verwoben sind, aus einer Position (k, l) eines Peaks in einem zweidimensionalen Spektrum (56; 57) mehrdeutige Werte für die Relativgeschwindigkeit (v) des Radarziels (18) bestimmt werden; Phasenbeziehungen zwischen Spektralwerten von Spektren (X) überprüft werden auf Übereinstimmung mit für mehrere der bestimmten Werte der Relativgeschwindigkeit (v) erwarteten Phasenbeziehungen ( $a(v, m)$ ), und anhand dessen aus den bestimmten, periodischen Werten der Relativgeschwindigkeit (v) ein Schätzwert für die Relativgeschwindigkeit (v) des Radarziels (18) ausgewählt wird.

## BESCHREIBUNG

## TITEL

5 Radarmessverfahren mit unterschiedlichen Sichtbereichen

## STAND DER TECHNIK

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Orten eines Radarziels, bei dem FMCW-Radarmessungen mit Sende-Antennen mit unterschiedlichen Sichtbereichen, die sich in einem Öffnungswinkel und/oder in einer Reichweite unterscheiden, ausgeführt werden, wobei empfangene Signale zu Basisbandsignalen heruntergemischt werden.

15 Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren dieser Art, bei dem für wenigstens zwei der Sichtbereiche die jeweilige Messung eine winkelauflösende Messung ist, die mit unterschiedlichen Auswahlen von mehreren zum Senden und/oder zum Empfangen verwendeten Antennen ausgeführt wird, wobei zum Orten von Radarzielen eine Suche nach Peaks in zweidimensionalen Spektren  
20 der Basisbandsignale der Messungen der jeweiligen Sichtbereiche durchgeführt wird, und wobei eine Winkelposition eines in einem jeweiligen Sichtbereich georteten Radarziels anhand von Amplituden und/oder Phasen an der Position eines dem Radarziel entsprechenden Peaks in zweidimensionalen Spektren der Basisbandsignale bestimmt wird, die für die unterschiedlichen Auswahlen der  
25 zum Senden und/oder zum Empfangen verwendeten Antennen erhalten werden.

Weiter betrifft die Erfindung einen Radarsensor, insbesondere für Kraftfahrzeuge, der zur Durchführung dieses Verfahrens ausgebildet ist.

30 Bei Kraftfahrzeugen werden FMCM-Radarsensoren zur Erfassung des Verkehrsumfelds eingesetzt, insbesondere zur Ortung anderer Fahrzeuge. Die Ortungsergebnisse können für verschiedene Assistenzfunktionen genutzt werden, beispielsweise für eine automatische Abstandsregelung, eine automatische Kollisionswarnung oder auch die automatische Auslösung eines  
35 Notbremsvorgangs bei akuter Kollisionsgefahr.

Bei FMCW-(Frequency Modulated Continuous Wave)-Radarsensoren wird ein Sendesignal mit rampenförmig modulierter Frequenz verwendet. Das Signal wird während des Verlaufs der Rampe kontinuierlich gesendet. Aus einem  
5 Empfangssignal wird durch Mischen mit dem Sendesignal ein Basisbandsignal erzeugt, welches abgetastet und ausgewertet wird.

Die Frequenz des Basisbandsignals entspricht dem Frequenzunterschied zwischen dem zu einem gegebenen Zeitpunkt gesendeten Signal und dem zum  
10 selben Zeitpunkt empfangenen Signal. Aufgrund der Frequenzmodulation des Sendesignals ist dieser Frequenzunterschied von der Laufzeit des Signals vom Radarsensor zum Objekt und zurück und somit vom Abstand des Objekts abhängig. Aufgrund des Doppler-Effektes enthält der Frequenzunterschied jedoch auch einen Anteil, der durch die Relativgeschwindigkeit des Objektes  
15 bedingt ist. Die Messung des Frequenzunterschieds auf einer einzelnen Rampe erlaubt deshalb noch keine Bestimmung des Abstands und der Relativgeschwindigkeit, sondern liefert nur eine lineare Beziehung zwischen diesen Größen. Diese Beziehung lässt sich in einem Abstands-Geschwindigkeits-Diagramm (d-v-Diagramm) als Gerade darstellen.

Es sind FMCW-Radarsensoren bekannt, bei denen mit einer Sequenz von identischen, verhältnismäßig kurzen Rampen, sogenannten "Rapid Chirps" gearbeitet wird, die im Verhältnis zu ihrer Dauer einen hohen Frequenzhub haben und deshalb so steil sind, dass im Basisbandsignal der  
25 abstandsabhängige Anteil der Frequenzverschiebung dominiert, während die Dopplerverschiebung durch die Sequenz der Rampen abgetastet wird. Um innerhalb eines Messbereichs der Relativgeschwindigkeit eine eindeutige Bestimmung der Relativgeschwindigkeit zu gestatten, ist daher eine ausreichend hohe Wiederholrate der kurzen Rampen erforderlich. Insbesondere muss der  
30 Zeitversatz zwischen aufeinander folgenden kurzen Rampen kleiner sein als die halbe Periodendauer der Dopplerfrequenz.

Zumeist weist der Radarsensor mehrere Antennen auf, die in Abstand zueinander auf einer Linie, beispielsweise einer Horizontalen angeordnet sind, so  
35 dass unterschiedliche Azimutwinkel der georteten Objekte zu Differenzen in den

Lauf­län­gen föh­ren, die die Ra­dar­sig­nale vom Ob­jekt bis zur je­wei­li­gen An­ten­ne zu­rück­zu­le­gen ha­ben. Die­se Lauf­län­gen­dif­fe­ren­zen föh­ren zu ent­spe­chen­den Un­ter­schie­den in der Phase der Si­g­nale, die von den An­ten­nen emp­fan­gen und in den zu­ge­hö­ri­gen Aus­wer­tu­ngs­kanä­len aus­ge­wer­tet wer­den. Durch Ab­gleich  
5 der in den ver­schie­de­nen Kanä­len emp­fan­ge­nen (kom­ple­xen) Am­pli­tu­den mit ent­spe­chen­den Am­pli­tu­den in ei­nem An­ten­nen­dia­gramm lässt sich dann der Ein­fallswinkel des Ra­dar­sig­nals und da­mit der Azi­mutwinkel des ge­orteten Ob­jekts be­stim­men.

Bei ei­nem MIMO-Ra­dar (Multiple Input / Multiple Output) wird ein grö­ße­res Win­kel­auf­lö­sun­gs­ver­mö­gen da­durch er­reicht, dass man nicht nur mit mehr­ere­nen emp­fan­ge­nen An­ten­nen ar­bei­tet, son­dern auch mit mehr­ere­nen sen­den­den An­ten­nen, wo­bei un­ter­schie­dli­che Kom­bi­na­tio­nen von sen­den­den und emp­fan­ge­nen An­ten­nen aus­ge­wer­tet wer­den, die zu je­wei­li­gen  
15 Lauf­län­gen­dif­fe­ren­zen ei­nes re­flek­tierten Si­g­nals föh­ren.

Bei ei­nem MIMO-Ra­dar müs­sen die mit ver­schie­de­nen Aus­wäh­len der sen­den­den An­ten­nen ge­sen­de­ten Si­g­nale zu­ei­nan­der or­tho­gonal oder zeit­lich trenn­bar sein. Das lässt sich bei­spiels­wei­se durch Co­de­mul­ti­plex,  
20 Fre­quenz­mul­ti­plex oder Zeit­mul­ti­plex er­rei­chen. Das Co­de­mul­ti­plex-Ver­fah­ren er­for­dert je­doch ei­nen ho­hen Auf­wand und er­mög­licht nur ei­ne be­grenzte Or­tho­gonalität der Si­g­nale. Bei Fre­quenz­mul­ti­plex-Ver­fah­ren be­steht der Nach­teil, dass die Phase und die Dop­pler-Verschiebung von der je­wei­li­gen Wellenlänge ab­hän­gig sind. Bei dem Zeit­mul­ti­plex-Prinzip be­steht das Pro­blem,  
25 dass Re­la­tiv­be­we­gun­gen der ge­orteten Ob­jek­te in Ver­bin­dung mit dem Zeit­un­ter­schied zwi­schen den Mes­sun­gen mit ver­schie­de­nen Schalt­zustän­den zu Pha­sen­un­ter­schie­den föh­ren, die die nach­fol­gen­de Win­kel­schät­zung er­schwe­ren.

## 30 OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

Auf­gabe der Er­findung ist es, ein Ver­fah­ren der ein­gangs ge­nannten Art an­zu­ge­ben, das ei­ne bes­se­re Aus­nut­zung ei­ner zur Ver­fü­gung ste­hen­den Zykluszeit zur Ab­tas­tung der un­ter­schie­dli­chen Sicht­be­rei­che ge­stat­tet.

Wenn Objekte in unterschiedlichen, sich aber überlappenden Sichtbereichen geortet werden sollen, beispielsweise in einem Sichtbereich, der einen relativ großen Öffnungswinkel bei begrenzter Reichweite aufweist, und in einem Sichtbereich, der eine relativ große Reichweite bei begrenztem Öffnungswinkel aufweist, erfordert dies herkömmlich eine lange Zykluszeit eines Messzyklus, um alle Sichtbereiche nacheinander abzutasten.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren der eingangs genannten Art, bei dem:

(a) in einem Messzyklus für die unterschiedlichen Sichtbereiche jeweils eine Messung ausgeführt wird, bei der ein rampenförmig frequenzmoduliertes Sendesignal gesendet wird, dessen Modulationsmuster mehrere zeitlich verschachtelte Sequenzen von Rampen umfasst, die innerhalb der jeweiligen Sequenz mit einem Zeitintervall zeitversetzt aufeinander folgen, wobei die Sequenzen der Messungen mit unterschiedlichen Sichtbereichen zeitlich miteinander verwoben sind, wobei in einem regelmäßigen Muster zwischen den Sichtbereichen gewechselt wird, wobei für wenigstens einen der Sichtbereiche die Messung ein Modulationsmuster aufweist, das wenigstens zwei verschiedene, regelmäßig wiederkehrende Zeitversätze zwischen Rampen unterschiedlicher Sequenzen mit gleichem, die Rampen in der jeweiligen Sequenz zählenden Rampenindex innerhalb der jeweiligen Sequenz aufweist, wobei diese Zeitversätze sich von dem Zeitintervall unterscheiden, mit dem die Rampen innerhalb einer jeweiligen Sequenz aufeinander folgen,

(b) aus den Basisbandsignalen gesondert für jede der Sequenzen durch zweidimensionale Fourier-Transformation ein zweidimensionales Spektrum berechnet wird, wobei in der ersten Dimension Rampe für Rampe transformiert wird und in der zweiten Dimension über den Rampenindex transformiert wird,

(c) für den wenigstens einen der Sichtbereiche anhand einer Position eines Peaks in wenigstens einem zweidimensionalen Spektrum der Basisbandsignale des jeweiligen Sichtbereichs Werte für die Relativgeschwindigkeit eines in dem

jeweiligen Sichtbereich erfassten Radarziels bestimmt werden, die mit einer vorbestimmten Geschwindigkeitsperiode periodisch sind,

(d) für den wenigstens einen der Sichtbereiche wenigstens eine Phasenbeziehung zwischen Spektralwerten, die an jeweils der gleichen Position in den gesondert berechneten zweidimensionalen Spektren des Sichtbereichs erhalten werden, auf Übereinstimmung mit erwarteten Phasenbeziehungen für mehrere der bestimmten periodischen Werte der Relativgeschwindigkeit des erfassten Radarziels überprüft wird, und

(e) für den wenigstens einen der Sichtbereiche aus den bestimmten, periodischen Werten der Relativgeschwindigkeit anhand des Ergebnisses der Überprüfung ein Schätzwert für die Relativgeschwindigkeit des in dem jeweiligen Sichtbereich erfassten Radarziels ausgewählt wird.

Die Sequenzen sind zeitlich ineinander verschachtelt. Das heisst, in Lücken zwischen den Rampen einer Sequenz sind Rampen der jeweiligen anderen Sequenzen angeordnet. Der Begriff "ineinander verschachtelt" wird hier synonym zu den Begriffen "miteinander verzahnt" oder "miteinander verwoben" verwendet.

Vorzugsweise wird in Schritt (c) anhand einer Position des Peaks in der ersten Dimension des wenigstens einen zweidimensionalen Spektrums ein linearer Zusammenhang zwischen dem Abstand und der Relativgeschwindigkeit des Radarziels bestimmt, und anhand einer Position des Peaks in der zweiten Dimension des wenigstens einen zweidimensionalen Spektrums werden zumindest die Werte für die Relativgeschwindigkeit des Radarziels bestimmt, die mit der vorbestimmten Geschwindigkeitsperiode periodisch sind.

Über die Sequenz der Rampen erfolgt eine Unterabtastung der Dopplerverschiebungsfrequenz, so dass die erhaltene Information über die Relativgeschwindigkeit mit einer Mehrdeutigkeit behaftet ist. Insbesondere ist der Wert der Relativgeschwindigkeit periodisch mit einem Geschwindigkeitsintervall

$$\Delta v = \frac{c}{2f_0 T_{r2r}} \quad (1)$$

wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist,  $f_0$  die mittlere Sendefrequenz ist und  $Tr_{2r}$  das Zeitintervall zwischen den Rampen innerhalb einer Sequenz ist. Aus einer Position eines dem Radarziel zugeordneten Peaks in einem zweidimensionalen Spektrum der abgetasteten Basisbandsignale wird somit ein mit einer  
5 Mehrdeutigkeit behafteter Wert der Relativgeschwindigkeit des Radarziels bestimmt. Die Mehrdeutigkeit kann dann aufgelöst werden, indem untersucht wird, wie gut die für die jeweiligen Werte der Relativgeschwindigkeit erwarteten Phasenbeziehungen zwischen den Signalen der Sequenzen übereinstimmen mit der gemessenen Phasenbeziehung. Die erwartete Phasenbeziehung hängt  
10 jeweils von der Relativgeschwindigkeit und dem Zeitversatz zwischen den betreffenden Sequenzen ab.

Aufgrund der wenigstens zwei Zeitversätze zwischen den Sequenzen, die sich jeweils von dem für alle Sequenzen aller Sichtbereiche gleichen Zeitintervall  $Tr_{2r}$   
15 unterscheiden, kann eine eindeutige Schätzung der Relativgeschwindigkeit innerhalb eines Geschwindigkeitsmessbereichs ermöglicht werden, der wenigstens ein Mehrfaches des Eindeutigkeitsbereichs einer Messung mit nur einer der Sequenzen der Rampen ist. Dadurch werden relativ große Zeitintervalle zwischen den Rampen, d.h. zwischen den Rampenmittelpunkten, einer Sequenz  
20 ermöglicht, so dass die Messungen für die unterschiedlichen Sichtbereiche zeitlich miteinander verwoben werden können und bei gleichem Hardwareaufwand eine genauere Ortung ermöglicht wird.

Innerhalb einer Periode des Modulationsmusters, deren Länge dem Zeitintervall  $Tr_{2r}$  entspricht, sind die Rampen vorzugsweise in ungleichmäßigen Abständen  
25 angeordnet, so dass das Modulationsmuster trotz des regelmäßigen Zeitintervalls  $Tr_{2r}$  möglichst wenig Symmetrie aufweist. Aufgrund des einheitlichen Zeitintervalls  $Tr_{2r}$  wiederholen sich die Zeitversätze zwischen den Rampen unterschiedlicher Sequenzen von Periode zu Periode.

Vorzugsweise wird in dem Schritt (e) des Auswählens eines Schätzwertes für die Relativgeschwindigkeit der Schätzwert in einem Messbereich für die Relativgeschwindigkeit eindeutig bestimmt, wobei ein oberer Maximalwert  $v_{\max}$   
35 des Messbereichs in folgender Beziehung zu dem Zeitabstand  $Tr_{2r}$  der Rampenmittelpunkte innerhalb einer Sequenz steht:



$$Tr_{2r} > c/(4f_0 v_{\max})$$

wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist und  $f_0$  die mittlere Sendefrequenz. Dies entspricht einer Unterabtastung einer maximal zu detektierenden Relativgeschwindigkeit  $v_{\max}$  eines Radarziels durch die mit dem Zeitabstand  $Tr_{2r}$  aufeinanderfolgenden Rampen einer Sequenz. Vorzugsweise beträgt  $Tr_{2r}$  wenigstens ein Mehrfaches der genannten Größe auf der rechten Seite der Beziehung.

Vorzugsweise wird in dem Schritt (e) des Auswählens eines Schätzwertes für die Relativgeschwindigkeit der Schätzwert in einem Messbereich für die Relativgeschwindigkeit eindeutig bestimmt, wobei ein oberer Maximalwert  $v_{\max}$  des Messbereichs in folgender Beziehung zu einem jeweiligen Zeitversatz  $T1i$  zwischen Rampen unterschiedlicher Sequenzen steht:

$$T1i > c/(4f_0 v_{\max})$$

Vorzugsweise beträgt  $T1i$  wenigstens ein Mehrfaches der genannten Größe auf der rechten Seite der Beziehung.

Vorzugsweise weisen die Messungen mit unterschiedlichen Sichtbereichen jeweils ein Modulationsmuster auf, das wenigstens zwei verschiedene, regelmäßig wiederkehrende Zeitversätze zwischen Rampen unterschiedlicher Sequenzen aufweist.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die unterschiedlichen Zeitversätze zwischen Sequenzen eines Sichtbereichs können auf verschiedene Weise vorgesehen werden:

Beispielsweise kann für wenigstens einen der Sichtbereiche die Messung ein Modulationsmuster aufweisen, das wenigstens drei der Sequenzen umfasst, für die dieselbe Antenne zum Senden verwendet wird, wobei diese Sequenzen

untereinander in Bezug auf eine erste der Sequenzen unterschiedliche, einer jeweiligen weiteren der Sequenzen zugeordnete Zeitversätze aufweisen. Dies ist nützlich, wenn für einen Sichtbereich nur eine Sendeantenne zur Verfügung steht.

5

Beispielsweise kann für wenigstens einen der Sichtbereiche die Messung mit mehreren zum Senden verwendeten Antennen ausgeführt werden, wobei wenigstens zwei unterschiedliche Sende-Schaltzustände, die sich in der Auswahl der zum Senden verwendeten Antennen unterscheiden, verwendet werden,

10

wobei diesen Sende-Schaltzuständen jeweils wenigstens zwei der Sequenzen zugeordnet sind, die zeitlich ineinander verschachtelt sind und untereinander in Bezug auf eine erste der Sequenzen einen einer jeweiligen weiteren der Sequenzen zugeordneten Zeitversatz aufweisen,

15

wobei bei diesen unterschiedlichen Sende-Schaltzuständen den weiteren Sequenzen unterschiedliche Zeitversätze zugeordnet sind, und

wobei zwischen aufeinander folgenden Rampen der Messung, die unterschiedlichen Sende-Schaltzuständen zugeordnet sind, umgeschaltet wird zwischen den betreffenden Sende-Schaltzuständen.

20

Diese Messung kann etwa eine MIMO-FMCW-Messung sein, bei der die Winkelposition eines georteten Radarziels anhand von Amplituden und/oder Phasenbeziehungen zwischen Basisbandsignalen bestimmt wird, die für unterschiedliche Auswahlen von zum Senden und Empfangen verwendeten Antennen des Radarsensors erhalten werden.

25

Beispielsweise kann für wenigstens einen der Sichtbereiche die zuerst beschriebene Messung ausgeführt werden, die ein Modulationsmuster aufweist, das wenigstens drei der Sequenzen umfasst, für die dieselbe Antenne zum Senden verwendet wird, und für wenigstens einen anderen der Sichtbereiche kann die zuletzt beschriebene Messung mit mehreren zum Senden verwendeten

30

Antennen ausgeführt werden.

Bei einer winkelauflösenden Messung sind Antennen in einer Richtung, in der der Radarsensor winkelauflösend ist, in verschiedenen Positionen angeordnet.

Beispielsweise werden mehrere Antennen zum Empfang verwendet. Für ein idealisiertes, annähernd punktförmiges Radarziel in einer jeweiligen

35

Winkelposition besteht zwischen den in verschiedenen Antennen empfangenen Signalen eine charakteristische Phasen- und Amplitudenbeziehung. Die Amplitudenverhältnisse zwischen den empfangenen Signalen sind vom Richtungswinkel und von den Empfindlichkeitskurven der Antennen abhängig.  
5 Durch Auswertung der Phasenbeziehungen und/oder Auswertung der Amplitudenbeziehungen ist es möglich, die Winkelposition eines georteten Radarobjektes zu bestimmen.

Die Abhängigkeit der Amplitude und der Phase des von einer Antenne gesendeten und nach Reflexion am Radarziel auf einer Antenne empfangenen Signals von der Winkelposition des georteten Radarziels lässt sich für ein Standardobjekt in einem gegebenen Abstand und mit einer gegebenen Reflektionsstärke in einem Antennendiagramm darstellen. Die Winkelposition eines Radarziels lässt sich beispielsweise bestimmen durch Abgleichen der von  
10 den verschiedenen Antennen, oder (im Falle einer MIMO-Messung) für verschiedene Auswahlen von zum Senden und zum Empfangen verwendeten Antennen, für dasselbe Radarziel erhaltenen Amplituden und/oder Phasen mit den entsprechenden Antennendiagrammen.

Da die Messungen der unterschiedlichen Sichtbereiche zeitlich verwoben sind, werden sie annähernd gleichzeitig abgetastet. Spektralwerte, d.h. Amplituden und/oder Phasen, aus den Spektren unterschiedlicher Sichtbereiche können zu einer gemeinsamen Winkelschätzung eines Radarziels verwendet werden, wenn ein Radarziel in einem Überlappungsbereich von Sichtbereichen geortet wird. Es  
15 kann ein Abgleich von für die Sichtbereiche separat erstellten Listen von georteten Radarzielen oder Objekten, denen die Radarziele zugeordnet werden, erfolgen.

In Ansprüchen 4 und 5 sind vorteilhafte Verfahrensmerkmale für die  
20 Winkelschätzung angegeben.

Vorzugsweise haben innerhalb einer jeweiligen Sequenz aufeinanderfolgende Rampen eine gleiche Rampensteigung und eine gleiche Differenz ihrer Rampenmittelfrequenzen sowie besonders bevorzugt einen gleichen  
25 Frequenzhub, wobei die besagte Differenz der Rampenmittelfrequenzen

- optional ungleich Null ist, und wobei Rampen, welche den gleichen Rampenindex in den jeweiligen Sequenzen der Messungen haben, die gleiche Rampensteigung und die gleiche Rampenmittenfrequenz sowie besonders bevorzugt einen gleichen Frequenzhub aufweisen. Wenn, bis auf die optional ungleich Null gewählte Frequenzdifferenz von Rampe zu Rampe, der Frequenzverlauf aller Rampen aller Sequenzen aller Messungen identisch ist, können die aus der Relativgeschwindigkeit eines Radarziels resultierenden Phasenbeziehungen besonders genau gemessen werden.
- Wenn der Zeitversatz zwischen den Sequenzen und der Zeitabstand der Rampen innerhalb einer Sequenz in der gleichen Größenordnung liegen, kann die zur Verfügung stehende Messzeit besonders gut genutzt werden. Außerdem können Einflüsse einer Objektbeschleunigung auf die Phasenbeziehung zwischen den Basisbandsignalen der einzelnen Sequenzen so möglichst klein gehalten werden. Außerdem können so günstige Werte für den Zeitversatz zwischen den Sequenzen und dem Zeitabstand der Rampen innerhalb einer Sequenz gewählt werden, die möglichst "inkommensurabel" sind, also nicht etwa Vielfache voneinander sind. Dementsprechend enthält das Modulationsmuster Pausen zwischen den Rampen. Insbesondere weist das Modulationsmuster vorzugsweise wenigstens eine Pause auf, die regelmäßig zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Rampen einer Sequenz wiederkehrt, mit einem Zeitintervall von Pause zu Pause, das gleich dem Zeitintervall zwischen den Rampen einer Sequenz ist.
- Vorzugsweise sind während eines überwiegenden Zeitraums des Modulationsmusters abwechselnd Rampen der jeweiligen Sequenzen angeordnet, d.h. die Sequenzen überlappen sich zeitlich weitgehend. Vorzugsweise ist der jeweilige Zeitversatz zwischen Sequenzen kleiner als das Zweifache des Zeitintervalls zwischen den Rampen innerhalb einer jeweiligen Sequenz, besonders bevorzugt kleiner als dieses Zeitintervall. Letzteres ist gleichbedeutend damit, dass in einer Messung eines Sichtbereichs zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rampen der ersten Sequenz stets eine jeweilige Rampe der jeweiligen weiteren Sequenzen von Rampen gesendet wird.

Vorzugsweise werden die für jede der Sequenzen gesondert berechneten zweidimensionalen Spektren für einen jeweiligen Sichtbereich zu einem zweidimensionalen Spektrum der Basisbandsignale, insbesondere einem Leistungsspektrum, zusammengeführt, welches in dem Schritt (c) des Bestimmens von Werten für die Relativgeschwindigkeit verwendet wird. Das Zusammenführen ist beispielsweise nicht-phasenkohärent, vorzugsweise eine nicht-phasenkohärente Summation der Quadrate der Absolutbeträge der Spektralwerte zu einem Leistungsspektrum. Dadurch kann die Detektion eines Peaks verbessert werden.

Vorzugsweise wird bei dem Überprüfen der Phasenbeziehung eine Beziehung gemäß der Gleichung

$$\Delta\varphi_{12} = 2\pi \frac{2}{c} f_0 T_{12} v \quad (2)$$

verwendet, welche eine erwartete Phasendifferenz  $\Delta\varphi_{12}$  zwischen einer Phase des Spektralwerts des jeweiligen Spektrums einer weiteren Sequenz und einer Phase des Spektralwerts des Spektrums der ersten Sequenz der Messung für einen Sichtbereich in Beziehung setzt mit dem der weiteren Sequenz zugeordneten Zeitversatz  $T_{12}$  und der Relativgeschwindigkeit  $v$ , wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist und  $f_0$  die mittlere Sendefrequenz ist. Anstelle von  $T_{12}$  und  $\Delta\varphi_{12}$  für die zweite Sequenz kann allgemein  $T_{1i,m,p}$  bzw.  $\Delta\varphi_{1i,m,p}$  für die  $i$ -te Sequenz,  $i > 1$ , ggf. den  $m$ -ten Sende-Schaltzustand, und den  $p$ -ten Sichtbereich geschrieben werden.

Vorzugsweise wird bei dem Überprüfen der Phasenbeziehung ein von der Relativgeschwindigkeit  $v$  abhängiger Steuerungsvektor  $a(v)$  einer Messung gemäß der Gleichung

$$a(v) = \frac{1}{\sqrt{I}} \begin{bmatrix} 1 \\ \mathbf{M} \\ e^{2\pi j \frac{2}{c} f_0 T_{1i} v} \end{bmatrix} \quad (3)$$

verwendet, wobei  $I$  die Anzahl der Sequenzen ist,  $i=1, \dots, I$  die Sequenzen zählt, und in der  $i$ -ten Komponente des Vektors  $T_{1i}$  für  $i > 1$  der der  $i$ -ten Sequenz

zugeordnete Zeitversatz gegenüber der ersten Sequenz ist. Der Steuerungsvektor  $a(v)$  ist in dieser Notation ein Spaltenvektor, dessen Komponenten jeweils den erwarteten Phasenunterschied der  $i$ -ten Sequenz gegenüber der Teilmessung der ersten Sequenz beschreiben, wobei der erwartete Phasenunterschied jeweils als Phase einer komplexen Exponentialfunktion bestimmt ist. Die Anzahl der Komponenten des Vektors ist  $I$ . Der gemeinsame Vorfaktor ist ein Normierungsfaktor. Im Exponenten der Exponentialfunktion bezeichnet  $j$  die imaginäre Einheit, sofern nicht anders angegeben. Anstelle von  $a(v)$  und  $T1i$  kann allgemein  $a(v,m,p)$  bzw.  $T1i,m,p$  für ggf. den  $m$ -ten Sende-Schaltzustand und für den  $p$ -ten Sichtbereich geschrieben werden, wobei  $I$  für jeweilige Sichtbereiche  $p$  durch eine Anzahl  $I_p$  ersetzt wird.

Die Kenntnis des Steuerungsvektors  $a(v)$  erlaubt es, eine (unter geeigneten Bedingungen eindeutige) Beziehung zwischen der Relativgeschwindigkeit  $v$  des Radarziels und den empfangenen komplexen Spektralwerten an der Position des Peaks herzustellen und aus den Phasenbeziehungen der empfangenen Signale auf die Relativgeschwindigkeit  $v$  des Radarziels zu schließen. Da in der Praxis die empfangenen Signale jedoch mehr oder weniger verrauscht sein werden, lässt sich die Geschwindigkeit nicht exakt berechnen, sondern lediglich schätzen, beispielsweise mit Hilfe einer Maximum-Likelihood-Schätzung. Diese wird für die unterschiedlichen Sichtbereiche separat durchgeführt.

Ein Messvektor wird beispielsweise für einen Empfangskanal  $n$ , ggf. einen Sende-Schaltzustand  $m$ , und einen Sichtbereich  $p$  definiert als

$$a_{k,i}(n,m,p) = \begin{bmatrix} x_1(n,m,p) \\ \mathbf{M} \\ x_{I_p}(n,m,p) \end{bmatrix} \quad (4)$$

wobei mit  $i=1,\dots,I_p$ , in der  $i$ -ten Komponente des Vektors  $x_i(n)$  einen komplexen Spektralwert des zweidimensionalen Spektrums des der abgetasteten Basisbandsignale der  $i$ -ten Sequenz von Rampen des Empfangskanals  $n$  bezeichnet, wobei  $n$  die Empfangskanäle zählt mit  $n=1,\dots,N$  bei  $N$  Empfangskanälen.

Vorzugsweise wird in Schritt (d) im Falle einer Störung der Phasenbeziehung zwischen den besagten Spektralwerten, die einer Situation entspricht, in welcher zwei Radarziele mit unterschiedlicher Relativgeschwindigkeit die gleiche Position in dem wenigstens einen zweidimensionalen Spektrum belegen, das Vorliegen der Störung daran erkannt, dass ein erwarteter Grad der Übereinstimmung der Phasenbeziehung mit den erwarteten Phasenbeziehungen nicht erreicht wird.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm eines FMCW-Radarsensors mit zwei Sende-Antennen und vier Empfangs-Antennen für MIMO-Radarmessungen sowie einer weiteren Sendeantenne;

Fig. 2 ein Modulationsmuster mit sieben Sequenzen gleichartiger Rampen, die wiederholt gesendet werden;

Fig. 3 ein Geschwindigkeits/Abstands-Diagramm mit mit einem vorbestimmten Intervall periodischen Werten der Relativgeschwindigkeit eines Radarziels; und

Fig. 4 ein detaillierteres Blockdiagramm einer Auswerteeinrichtung eines FMCW-Radarsensors.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

In Fig. 1 ist ein Diagramm eines einfachen Beispiels eines (MIMO) FMCW-Radarsensors 10 dargestellt, der in diesem Beispiel zwei Sende-Antennen 12 und vier Empfangs-Antennen 14 für MIMO-Messungen in einem ersten Sichtbereich sowie eine weitere Antenne 15 mit einem anderen Sichtbereich aufweist. In der Praxis sind größere Anzahlen der Antennen möglich. Die Sende-

Antennen 12, 15 werden von einer Steuer- und Auswerteeinheit 16 gespeist und emittieren Radarsignale, die an einem Objekt 18 reflektiert und von jeder der Empfangs-Antennen 14 empfangen werden. Der Sichtbereich der Sende-Antenne 15 hat eine größere Reichweite und einen schmaleren Öffnungswinkel als der Sichtbereich der Sende-Antennen 12. Die Sende- und Empfangs-Antennen können jeweils aus einem Patch-Antennen-Array bestehen.

Die empfangenen Signale werden zu Basisbandsignalen heruntergemischt und in der Steuer- und Auswerteeinheit 16 ausgewertet. Der Radarsensor 10 ist beispielsweise vorn in einem Kraftfahrzeug eingebaut ist und dient dazu, Abstände  $d$ , Winkel und Relativgeschwindigkeiten  $v$  von Objekten 18 zu messen, beispielsweise von vorausfahrenden Fahrzeugen. Die Frequenz des Sendesignals wird innerhalb einer Radarmessung mit Sequenzen von steigenden oder fallenden Rampen moduliert.

Lediglich aus Gründen der Übersichtlichkeit ist hier ein bistatisches Antennensystem dargestellt worden, bei dem die Sende-Antennen 12, 15 von den Empfangs-Antennen 14 verschieden sind. In der Praxis kann auch ein monostatisches Antennenkonzept benutzt werden, bei dem zum Senden und zum Empfangen jeweils gleiche Antennen benutzt werden.

Die Antennen 12, 14 sind in einer Richtung, in welcher der Radarsensor 10 winkelauflösend ist, in verschiedenen Positionen angeordnet. In diesem Beispiel sind die Empfangs-Antennen 14 in gleichmäßigen Abständen auf einer Geraden angeordnet (ULA; Uniform Linear Array). Das gleiche gilt auch für die Sende-Antennen 12, wobei die Sende- und Empfangs-Antennen nicht notwendigerweise auf derselben Geraden angeordnet sein müssen. Wenn der Radarsensor zur Messung von Azimutwinkeln der Objekte eingesetzt werden soll, verlaufen die Geraden, auf denen die Antennen angeordnet sind, waagrecht. Bei einem Sensor zur Messung von Elevationswinkeln wären die Antennen hingegen auf vertikalen Geraden angeordnet. Denkbar ist auch zweidimensionales Antennenarray, mit dem sowohl Azimutwinkel als auch Elevationswinkel gemessen werden können.



Im gezeigten Beispiel wird der Radarsensor 10 im Zeitmultiplex-Verfahren betrieben, wobei Messungen mit unterschiedlichen Sichtbereichen zeitlich miteinander verwoben sind. Zu jedem Zeitpunkt ist maximal eines der Sende-Antennen 12, 15 aktiv und sendet das Sendesignal. Die Aktivitätsphasen der einzelnen Antennen 12, 15 wechseln einander zyklisch ab. In Fig. 1 ist der Fall dargestellt, in dem nur das untere der beiden Sende-Antennen 12 aktiv ist.

Fig. 2 zeigt die Sendefrequenz  $f$  des Sendesignals 20 aufgetragen über der Zeit  $t$ .

Bei einer Messung für den Sichtbereich der Sende-Antennen 12 werden mit jeder Sende-Antenne 12 zwei Sequenzen 22, 26 bzw. 32, 36 von Rampen 24, 28 bzw. 34, 38 mit identischen Rampenparametern gesendet, die ineinander zeitlich verschachtelt sind. Zwischen den Sequenzen 22, 26 haben die Rampen 24, 28 mit gleichem Rampenindex  $j$  einen Zeitversatz  $T_{12,1,1}$ . Zwischen den Sequenzen 32, 36 haben die Rampen 34, 38 mit gleichem Rampenindex  $j$  einen Zeitversatz  $T_{12,2,1}$ . Innerhalb der Sequenz 22 haben die Rampen 24, 28 mit gleichem Rampenindex  $j$  einen Zeitversatz  $T_{12,1,1}$ .

Bei einer Messung für den Sichtbereich der Sende-Antenne 15 werden mit der Sende-Antenne 15 drei Sequenzen 40, 42, 44 von Rampen 41, 43 bzw. 45 gesendet, die ineinander zeitlich verschachtelt sind. Zwischen den Sequenzen 40, 42, 44 haben die Rampen 43 jeweils einen Zeitversatz  $T_{12,1,2}$  zu den Rampen 41 mit gleichem Rampenindex  $j$ , und die Rampen 45 haben jeweils einen Zeitversatz  $T_{13,1,2}$  zu den Rampen 41 mit gleichem Rampenindex.

Allgemein wird für den Sichtbereich  $p$  und einen Sende-Schaltzustand  $m$ , entsprechend der Auswahl einer Sende-Antenne, der Zeitversatz einer weiteren Sequenz  $i$  zu einer ersten Sequenz hier und im folgenden bezeichnet als  $T_{1i,m,p}$ . Für die Sende-Antenne 15 ( $p=2$ ) ist stets  $m=1$ .

Innerhalb jeder Sequenz sind die aufeinanderfolgenden Rampen zueinander um einen Zeitabstand  $Tr_{2r}$  verschoben. Der Zeitabstand  $Tr_{2r}$  ist für alle Sequenzen aller Sichtbereiche gleich. Eine Pause  $P$  ist jeweils zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rampen einer Sequenz vorhanden.

In dem in Fig. 2 dargestellten Beispiel ist die Differenz der Rampenmittenfrequenzen von innerhalb einer Sequenz aufeinanderfolgenden Rampen gleich Null. Daher haben alle Rampen denselben Frequenzverlauf. Die Rampenmittenfrequenz entspricht hier der mittleren Sendefrequenz  $f_0$ .

Fig. 4 zeigt schematisch ein detaillierteres Blockdiagramm der von der Steuer- und Auswerteeinheit 16 durchgeführten Operationen zur Bestimmung der Relativgeschwindigkeit  $v$ , des Abstands  $d$  und des Objektwinkels  $\theta$ . Zur Vereinfachung der Darstellung ist die Verarbeitung nur für einen Empfangskanal  $n$  dargestellt, entsprechend einer jeweiligen Antenne 14.

Für jede Sequenz  $i$  einer Sende-Antenne  $m$  eines Sichtbereichs  $p$  werden die empfangenen, abgetasteten Basisbandsignale  $b_{i,m,p}$  jeweils einer zweidimensionalen Fourier-Transformation (2D-FFT) unterzogen. Die erste Dimension entspricht einer Transformation der zu den einzelnen Rampen erhaltenen Basisbandsignale. Die zweite Dimension entspricht einer Transformation über die Sequenz der Rampen, d.h. über den Rampenindex  $j$ . Zu jeder Sequenz  $i$  wird so im Empfangskanal  $n$  ein zweidimensionales Spektrum  $X_i(n,m,p)$  erhalten. Für einen jeweiligen Sichtbereich sind die Größen der jeweiligen Transformationen, d.h. die jeweiligen Anzahlen der bins (Abtastpunkte oder Stützstellen), vorzugsweise für die erste Dimension einheitlich für alle Spektren, und für die zweite Dimension einheitlich für alle Spektren.

Aufgrund der Relativgeschwindigkeit  $v$  des Radarziels 18 und dem Zeitversatz  $T1_{i,m,p}$  zwischen den einzelnen Sequenzen entsprechenden Teilmessungen wird ein Phasenunterschied zwischen den komplexen Amplituden (Spektralwerten) eines in den zweidimensionalen Spektren an der gleichen Position  $(k,l)$  auftretenden Peaks  $X_1(n,m,p)(k,l)$ ,  $X_i(n,m,p)(k,l)$  erhalten. Der Phasenunterschied  $\Delta\varphi_{i,m,p}$  ist beispielhaft in Gleichung (2) angegeben. Aufgrund des relativ großen Zeitversatzes  $T1_{i,m,p}$  erlaubt die Bestimmung des Phasenunterschieds zwischen zwei Teilmessungen mit derselben Sende-Antenne jedoch keinen direkten Rückschluss auf die Relativgeschwindigkeit  $v$ . Denn aufgrund der Periodizität der Phasen ergibt sich aus dem

Phasenunterschied (bzw. den beiden Phasenunterschieden bei  $p=2$ ) eine Mehrdeutigkeit für den dazugehörigen Wert der Relativgeschwindigkeit  $v$ .

Zu jedem Sichtbereich  $p$  werden aus den erhaltenen Spektren  $X_i(n,m,p)$  in einem ersten Funktionsblock 54 jeweils Leistungsspektren berechnet durch Bildung des Quadrates des Absolutbetrags der jeweiligen Spektralwerte. Die Leistungsspektren werden durch Summation oder Mittelung punktweise zusammengeführt zu einem integrierten zweidimensionalen Leistungsspektrum 56, 57.

Die Position eines einem Radarziel 18 entsprechenden Peaks im Leistungsspektrum 56, 57, die hier als Bin  $k, l$  angegeben wird, entspricht der Position des Peaks in den einzelnen Spektren  $X_i(n,m,p)$ . Aus der ersten Dimension, entsprechend dem Bin  $k$  der Position des Peaks, wird gemäß der FMCW-Gleichung  $k = 2/c(dF + f_0vT)$  ein linearer Zusammenhang zwischen der Relativgeschwindigkeit  $v$  und dem Abstand  $d$  des Radarziels erhalten. Dabei ist  $c$  die Lichtgeschwindigkeit,  $F$  der Rampenhub,  $T$  die Rampendauer einer einzelnen Rampe und  $f_0$  die mittlere Sendefrequenz. Wenn die Frequenzdifferenz von aufeinanderfolgenden Rampen einer Sequenz gleich Null ist, enthält die Peakposition in der zweiten Dimension  $l$  nur Information über die Relativgeschwindigkeit  $v$  des Radarziels.

Fig. 3 zeigt schematisch ein Diagramm, in dem die Relativgeschwindigkeit  $v$  über dem Abstand  $d$  aufgetragen ist. Die lineare Beziehung zwischen  $v$  und  $d$  ist als Gerade eingezeichnet. Im Beispiel ist die aus der Abtastung der Dopplerfrequenz erhaltene Information über die Relativgeschwindigkeit des Radarziels mit einer Mehrdeutigkeit gemäß dem vorbestimmten Intervall nach Gleichung (1) behaftet. Zusätzlich zu der  $v$ - $d$ -Geraden, die sich gemäß dem Frequenzbin  $k$  ergibt, sind die aus dem Frequenzbin  $l$  bestimmten, periodischen Werte der Relativgeschwindigkeit  $v$  durch gestrichelte Linien dargestellt. Die Schnittpunkte mit der  $v$ - $d$ -Geraden sind gekennzeichnet. Sie entsprechen möglichen Wertepaaren  $(v, d)$  von Relativgeschwindigkeit und Abstand des Radarziels 18. Das tatsächliche Ziel, dessen Geschwindigkeit  $v$  bestimmt werden soll, ist durch ein Kreuz  $X$  markiert.

Die Mehrdeutigkeit der ermittelten Geschwindigkeit  $v$  wird nun, separat für die Sichtbereiche  $p$ , aufgelöst, wie nachfolgend erläutert wird. Die Information  $v^*$  über die in Frage kommenden, periodischen Werte der Relativgeschwindigkeit  $v$  wird an einen zweiten Funktionsblock 58 übergeben, ebenso die komplexen, zweidimensionalen Spektren  $X_i(n,m,p)$  der Teilmessungen.

Zur Auswertung des gemessenen Phasenunterschieds wird ein Steuerungsvektor  $a(v)$  einer idealen Messung in Abhängigkeit von  $v$  berechnet gemäß der Gleichung (3), die hier für  $l=2$  Sequenzen lautet:

$$a(v,m,p) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ e^{2\pi j \frac{2}{c} f_0 T_{12,m,p} v} \end{pmatrix}$$

Der Messvektor  $a_{k,l}(n,m,p)$  ist entsprechend definiert, wobei anstelle der erwarteten, geschwindigkeitsabhängigen komplexen Werte die komplexen Amplituden (Spektralwerte) an der Position  $k,l$  des Peaks der zweidimensionalen Spektren der Teilmessungen als Komponenten des Vektors eingesetzt werden, wie in Gleichung (4) angegeben; eine Normierung erfolgt in der Definition der Likelihood-Funktion.

Anhand der Messvektoren und Steuerungsvektoren wird eine normierte Likelihood-Funktion in Form eines Relativgeschwindigkeitsspektrums  $S(v,p)$  definiert als:

$$S(v,p) = \frac{1}{\sum_{m=1}^{M_p} \sum_{n=1}^{N_p} |a_{k,l}^H(n,m,p)|^2} \sum_{m=1}^{M_p} \sum_{n=1}^{N_p} |a_{k,l}^H(n,m,p) a(v,m,p)|^2$$

Dabei bezeichnet  $a_{k,l}^H(n,m,p)$  den hermetisch adjungierten Vektor zum Messvektor  $a_{k,l}(n,m,p)$  also einen Zeilenvektor, bei dem die einzelnen Komponenten komplex konjugiert zu den Komponenten des Vektors  $a_{k,l}(n,m,p)$  sind. Die Likelihood-Funktion entspricht somit für einen jeweiligen Sichtbereich  $p$  einer normierten Summe der Betragsquadrate der (komplexen) Skalarprodukte zwischen dem Messvektor und dem Steuerungsvektor der Übertragungskanäle, wobei die Summation über die unterschiedlichen Übertragungskanäle ausgeführt

wird, wobei ein Übertragungskanal jeweils eine Kombination von Empfangskanal  $n$  und Sende-Schaltzustand  $m$  bezeichnet.

Das Relativgeschwindigkeitsspektrum  $S(v,p)$  entspricht im allgemeinen einer Überlagerung periodischer Funktionen der Relativgeschwindigkeit  $v$ . Die Maxima der Likelihood-Funktion entsprechen den wahrscheinlichsten Werten des Parameters  $v$ . Für sich alleine genommen ist das Relativgeschwindigkeitsspektrum  $S(v,p)$  mehrdeutig. Ein Maximum entspricht jeweils einer im Mittel optimalen Übereinstimmung der sich für den betreffende Wert von  $v$  ergebenden, idealen Phasenverschiebungen mit den gemessenen Phasenverschiebungen gemäß den Messvektoren. Eine Auswertung der Funktion  $S(v,p)$  ist jedoch lediglich an den Stellen erforderlich, die den periodischen Werten der Relativgeschwindigkeit  $v$  entsprechen, die aus den Auswertungen gemäß der Position des Peaks in den Bins  $(k, l)$  erhalten wurden. Im Beispiel sei angenommen, dass sich eine maximale Übereinstimmung bei der tatsächlichen Relativgeschwindigkeit  $v = 0$  m/s ergibt, wo die Funktion  $S(v,p)$  den erwarteten Maximalwert 1 annimmt.

Die Mehrdeutigkeit, die sich aus der Position des Peaks ergibt, kann somit durch die zusätzliche Information aus der Phasenbeziehung aufgelöst werden. Anhand des linearen Zusammenhangs wird ein zu dem ausgewählten Schätzwert für die Relativgeschwindigkeit  $v$  gehörender Schätzwert für den Abstand  $d$  bestimmt.

Der zweite Funktionsblock 58 gibt die ermittelten Schätzwerte für die Relativgeschwindigkeit  $v$  und den Abstand  $d$  sowie die komplexen Amplituden  $X$  der Peaks für beide Sichtbereiche  $p$  an einen Winkelschätzer 60 aus. Beispielsweise kann die geschätzte Relativgeschwindigkeit  $v$  zur Kompensation der durch die Relativgeschwindigkeit  $v$  verursachten Phasenverschiebungen der Spektralwerte der einzelnen Sequenzen gegenüber einer Bezugssequenz genutzt werden.

Die den unterschiedlichen Sequenzen von Rampen entsprechenden Zeitsignale (Basisbandsignale) werden somit zunächst getrennt verarbeitet. Die Detektion eines Radarziels 18 findet dann in dem durch nicht-kohärente Integration gewonnenen Leistungsspektrum 56 statt. Basierend auf der Detektion und den

komplexen Amplituden an der Position des Peaks wird dann die Mehrdeutigkeit der Geschwindigkeit  $v$  aufgelöst.

Vorzugsweise wird, wie beschrieben, die nicht-kohärente Zusammenführung der Spektren zum Leistungsspektrum 56 für alle Empfangskanäle und alle Sende-Antennen gemeinsam durchgeführt. Dies verbessert die Peak-Detektion.

In Einzelfällen kann es vorkommen, dass zwei Radarziele mit unterschiedlichem Abstand und unterschiedlicher Geschwindigkeit dieselbe Peakposition  $(k,l)$  in den Spektren 56, 57 haben. Die gemessenen Phasenbeziehungen lassen sich dann nicht einer einzigen Relativgeschwindigkeit eines Radarziels zuordnen. Die Auswerteeinrichtung 16 kann dazu eingerichtet sein, eine solche Störung der Messung zu erkennen anhand einer einen Schwellwert überschreitenden Abweichung der maximalen Übereinstimmung, d.h. dem Maximalwert der in Frage kommenden Werte des Relativgeschwindigkeitsspektrums  $S(v,p)$ , von dem erwarteten Maximalwert 1. Die Auswerteeinrichtung 16 kann dann ein Störungssignal ausgeben. Eine vorübergehend auftretende Mehrfachbelegung eines Peaks im Spektrum 56, 57 kann aber auch daran erkannt werden, dass die Auswerteeinrichtung 16 bei einem anhand der geschätzten Werte von  $v$  und  $d$  eines Radarziels 18 durchgeführten Trackings von detektierten Objekten über mehrere Messzyklen eine Fehldetektion erkennt.

Vorzugsweise werden für mehrere, nacheinander ausgeführte Radarmessungen unterschiedlichen Modulationsparameter der Rampen verwendet, beispielsweise unterschiedliche Mittenfrequenzen, Rampensteigungen, Zeitabstände  $T_{r2r}$  und/oder Zeitversätze  $T_{1i,m,p}$ . Dadurch können zufällige Mehrfachbelegungen von Peakpositionen auf Einzelfälle beschränkt werden.

Anstelle einer nicht-kohärenten Zusammenführung der einzelnen Spektren zu dem Leistungsspektrum 56 bzw. 57 ist es auch denkbar, Empfangskanäle  $n$  mittels digitaler Strahlformung (beam forming) zu einem Empfangskanal zusammenzufassen. Dabei werden z.B. für den jeweiligen Sichtbereich  $p$  und ggf. Sende-Schaltzustand  $m$  die Spektren bzw. Messvektoren von  $N$  Empfangskanälen kohärent, d.h. unter Berücksichtigung der Phase, mit

jeweiligen Gewichtungsfaktoren addiert. In den Beziehungen für  $S(v,p)$  entfallen dann dementsprechend die Summationen über  $n$ .

- 5      Zusätzlich oder anstelle der Spektren  $X$  der Basisbandsignale können die Basisbandsignale  $b$  auch direkt an den Winkelschätzer 60 ausgegeben werden, oder es können separat aus den Basisbandsignalen  $b$  berechnete Spektren an den Winkelschätzer ausgegeben werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Orten eines Radarziels (18), bei dem FMCW-  
5 Radarmessungen mit Sende-Antennen (12; 15) mit unterschiedlichen  
Sichtbereichen (p), die sich in einem Öffnungswinkel und/oder in einer  
Reichweite unterscheiden, ausgeführt werden, wobei empfangene Signale zu  
Basisbandsignalen (b) heruntergemischt werden,

10 dadurch gekennzeichnet, dass:

(a) in einem Messzyklus für die unterschiedlichen Sichtbereiche (p) jeweils  
eine Messung ausgeführt wird, bei der ein rampenförmig frequenzmoduliertes  
Sendesignal (20) gesendet wird, dessen Modulationsmuster mehrere zeitlich  
15 verschachtelte Sequenzen (22; 26; 32; 36; 40; 42; 44) von Rampen (24; 28; 34;  
38; 41; 43; 45) umfasst, die innerhalb der jeweiligen Sequenz mit einem  
Zeitintervall ( $T_{r2r}$ ) zeitversetzt aufeinander folgen,

wobei die Sequenzen der Messungen mit unterschiedlichen  
Sichtbereichen (p) zeitlich miteinander verwoben sind, wobei in einem  
20 regelmäßigen Muster zwischen den Sichtbereichen (p) gewechselt wird,

wobei für wenigstens einen der Sichtbereiche (p) die Messung ein  
Modulationsmuster aufweist, das wenigstens zwei verschiedene, regelmäßig  
wiederkehrende Zeitversätze ( $T_{12,1}$ ;  $T_{12,2}$ ) zwischen Rampen (24, 28; 34, 38)  
unterschiedlicher Sequenzen (22, 26; 32, 36) mit gleichem, die Rampen in der  
25 jeweiligen Sequenz zählenden Rampenindex (j) innerhalb der jeweiligen  
Sequenz aufweist, wobei diese Zeitversätze ( $T_{12,1}$ ;  $T_{12,2}$ ) sich von dem  
Zeitintervall ( $T_{r2r}$ ) unterscheiden, mit dem die Rampen innerhalb einer jeweiligen  
Sequenz aufeinander folgen,

(b) aus den Basisbandsignalen (b) gesondert für jede der Sequenzen (22;  
26; 32; 36; 40; 42; 44) durch zweidimensionale Fourier-Transformation ein  
zweidimensionales Spektrum (X) berechnet wird, wobei in der ersten Dimension  
Rampe für Rampe transformiert wird und in der zweiten Dimension über den  
Rampenindex (j) transformiert wird,



(c) für den wenigstens einen der Sichtbereiche (p) anhand einer Position (k, l) eines Peaks in wenigstens einem zweidimensionalen Spektrum (56) der Basisbandsignale (b) des jeweiligen Sichtbereichs Werte für die Relativgeschwindigkeit (v) eines in dem jeweiligen Sichtbereich erfassten Radarziels (18) bestimmt werden, die mit einer vorbestimmten Geschwindigkeitsperiode periodisch sind,

(d) für den wenigstens einen der Sichtbereiche (p) wenigstens eine Phasenbeziehung zwischen Spektralwerten, die an jeweils der gleichen Position (k, l) in den gesondert berechneten zweidimensionalen Spektren (X) des Sichtbereichs (p) erhalten werden, auf Übereinstimmung mit erwarteten Phasenbeziehungen ( $a(v, m, p)$ ) für mehrere der bestimmten periodischen Werte der Relativgeschwindigkeit (v) des erfassten Radarziels (18) überprüft wird, und

(e) für den wenigstens einen der Sichtbereiche (p) aus den bestimmten, periodischen Werten der Relativgeschwindigkeit (v) anhand des Ergebnisses der Überprüfung ein Schätzwert für die Relativgeschwindigkeit (v) des in dem jeweiligen Sichtbereich erfassten Radarziels (18) ausgewählt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem für wenigstens einen der Sichtbereiche (p) die Messung ein Modulationsmuster aufweist, das wenigstens drei der Sequenzen (40; 42; 44) umfasst, für die dieselbe Antenne (15) zum Senden verwendet wird,

wobei diese Sequenzen untereinander in Bezug auf eine erste der Sequenzen (40) unterschiedliche, einer jeweiligen weiteren der Sequenzen (42; 44) zugeordnete Zeitversätze ( $T_{12,m,p}$ ;  $T_{13,m,p}$ ) aufweisen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem für wenigstens einen der Sichtbereiche (p) die Messung mit mehreren zum Senden verwendeten Antennen (12) ausgeführt wird, wobei wenigstens zwei unterschiedliche Sende-Schaltzustände (m), die sich in der Auswahl der zum Senden verwendeten Antennen (12) unterscheiden, verwendet werden,

wobei diesen Sende-Schaltzuständen (m) jeweils wenigstens zwei der Sequenzen (22; 26; 32; 36) zugeordnet sind, die zeitlich ineinander verschachtelt sind und untereinander in Bezug auf eine erste der Sequenzen (22; 32) einen

einer jeweiligen weiteren der Sequenzen (26; 36) zugeordneten Zeitversatz (T12,m,p) aufweisen,

wobei bei diesen unterschiedlichen Sende-Schaltzuständen (m) den weiteren Sequenzen (26; 36) unterschiedliche Zeitversätze (T12,1,p; T12,2,p) zugeordnet sind, und

wobei zwischen aufeinander folgenden Rampen (24; 28; 34; 38) der Messung, die unterschiedlichen Sende-Schaltzuständen (m) zugeordnet sind, umgeschaltet wird zwischen den betreffenden Sende-Schaltzuständen (m).

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem für wenigstens zwei der Sichtbereiche (p) die jeweilige Messung eine winkelauflösende Messung ist, die mit unterschiedlichen Auswahlen von mehreren zum Senden und/oder zum Empfangen verwendeten Antennen (12, 15; 14) ausgeführt wird,

wobei eine Winkelposition ( $\theta$ ) eines in mehreren der Sichtbereiche (p) georteten Radarziels (18) anhand von Amplituden und/oder Phasen an der Position (k,l) eines dem Radarziel (18) entsprechenden Peaks in zweidimensionalen Spektren (X) der Basisbandsignale (b) der Messungen der mehreren Sichtbereiche (p) bestimmt wird, die für die unterschiedlichen Auswahlen der zum Senden und/oder zum Empfangen verwendeten Antennen (12, 15; 14) erhalten werden.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem für wenigstens zwei der Sichtbereiche (p) die jeweilige Messung eine winkelauflösende Messung ist, die mit unterschiedlichen Auswahlen von mehreren zum Senden und/oder zum Empfangen verwendeten Antennen (12, 15; 14) ausgeführt wird,

wobei zum Orten von Radarzielen (18) eine Suche nach Peaks in zweidimensionalen Spektren (56; 57) der Basisbandsignale (b) der Messungen der jeweiligen Sichtbereiche (p) durchgeführt wird,

wobei eine Winkelposition ( $\theta$ ) eines in einem jeweiligen Sichtbereich (p) georteten Radarziels (18) anhand von Amplituden und/oder Phasen an der Position (k,l) eines dem Radarziel (18) entsprechenden Peaks in zweidimensionalen Spektren (X) der Basisbandsignale (b) bestimmt wird, die für

die unterschiedlichen Auswahlen der zum Senden und/oder zum Empfangen verwendeten Antennen (12, 15; 14) erhalten werden,

dadurch gekennzeichnet, dass

in einem Fall, bei dem ein Radarziel (18) in wenigstens einem der Sichtbereiche (p) geortet wurde an einer Position (d,  $\theta$ ), die aufgrund ihres Abstands (d) und/oder ihrer Winkelposition ( $\theta$ ) in einem Überlappungsbereich des Sichtbereichs (p) mit einem anderen der Sichtbereiche (p) liegt, in welchem Sichtbereich das Radarziel (18) nicht geortet wurde, ergänzend Amplituden und/oder Phasen an der dem Radarziel (18) entsprechenden Position (k, l) in zweidimensionalen Spektren (X) der Basisbandsignale der Messung des anderen Sichtbereichs (p) zur Bestimmung oder Korrektur der Winkelposition ( $\theta$ ) herangezogen werden.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem innerhalb einer jeweiligen Sequenz (22; 26; 32; 36; 40; 42; 44) aufeinanderfolgende Rampen (24; 28; 34; 38; 41; 43; 45) eine gleiche Rampensteigung (F/T) haben und eine gleiche Differenz ihrer Rampenmittenfrequenzen haben,

wobei die besagte Differenz der Rampenmittenfrequenzen optional ungleich Null ist, und

wobei Rampen (24; 28; 34; 38; 41; 43; 45), welche den gleichen Rampenindex (j) in den jeweiligen Sequenzen (22; 26; 32; 36; 40; 42; 44) der Messungen haben, die gleiche Rampensteigung (F/T) und die gleiche Rampenmittenfrequenz aufweisen.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Rampen (24; 28; 34; 38; 41; 43; 45) der Sequenzen der Messungen den gleichen Frequenzhub (F) haben.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem für den wenigstens einen der Sichtbereiche (p), separat für den jeweiligen Sichtbereich (p), die für jede der Sequenzen (22; 26; 32; 36; 40; 42; 44) gesondert berechneten zweidimensionalen Spektren (X) zu einem zweidimensionalen Spektrum (56) der Basisbandsignale (b) zusammengeführt werden, welches in dem Schritt (c) des Bestimmens von Werten für die Relativgeschwindigkeit (v) verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei bei dem Überprüfen der Phasenbeziehung eine Beziehung gemäß der Gleichung

$$\Delta\varphi_{12} = 2\pi \frac{2}{c} f_0 T_{12} v$$

verwendet wird, welche eine erwartete Phasendifferenz  $\Delta\varphi_{12}$  zwischen einer Phase des Spektralwerts des jeweiligen Spektrums (X) einer weiteren Sequenz (26) und einer Phase des Spektralwerts des Spektrums (X) der ersten Sequenz (22) in Beziehung setzt mit dem der weiteren Sequenz (26) zugeordneten Zeitversatz  $T_{12}$  und der Relativgeschwindigkeit  $v$ , wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist und  $f_0$  die mittlere Sendefrequenz ist.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei für den jeweiligen Sichtbereich (p) bei dem Überprüfen der Phasenbeziehung auf Übereinstimmung mit erwarteten Phasenbeziehungen das Quadrat eines Absolutbetrags eines komplexen Skalarproduktes  $a_{k,l}^H a(v)$  eines Messvektors  $a_{k,l}$  mit einem von dem Wert  $v$  der Relativgeschwindigkeit abhängigen Steuerungsvektor  $a(v)$  berechnet wird, wobei die Komponenten des Messvektors  $a_{k,l}$  die Spektralwerte der für die Sequenzen gesondert berechneten Spektren (X) an der Position (k,l) des Peaks sind, wobei  $a_{k,l}^H$  der hermitesch adjungierte Vektor zu  $a_{k,l}$  ist, und wobei der Steuerungsvektor  $a(v)$  ein Steuerungsvektor einer idealen Messung für ein Radarziel mit einer Relativgeschwindigkeit  $v$  ist, wobei die Komponenten des Steuerungsvektors  $a(v)$  bis auf einen gemeinsamen Normierungsfaktor jeweils die für den der jeweiligen Sequenz (26; 36; 42; 44) zugeordneten Zeitversatz ( $T_{12}$ ) erwartete Phasendifferenz ( $\Delta\varphi_{12}$ ) zur ersten Sequenz (22; 32; 40) sind, wobei die erste Komponente des Steuerungsvektors  $a(v)$  bis auf den gemeinsamen Normierungsfaktor gleich 1 ist.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei bei dem Überprüfen der Phasenbeziehung auf Übereinstimmung mit erwarteten Phasenbeziehungen ein jeweiliger Grad einer Übereinstimmung  $S(v)$  bestimmt wird gemäß der Beziehung:

- 27 -

$$S(v) = \frac{1}{\sum_{(m,n) \in MN} |a_{k,l}^H(n,m)|^2} \sum_{(m,n) \in MN} |a_{k,l}^H(n,m) a(v,m)|^2$$

5 wobei MN Kombinationen von Empfangskanälen n und gegebenenfalls sich in der Auswahl von zum Senden verwendeter Antennen (12) unterscheidenden Sende-Schaltzuständen m sind,  $a_{k,l}(n,m)$  ein Messvektor ist, dessen  
Komponenten die Spektralwerte der für die Basisbandsignale (b) der einzelnen  
Sequenzen (22; 26; 32; 36) des Sende-Schaltzustands m und für die einzelnen  
Empfangskanäle n jeweils gesondert berechneten Spektren (X) an der Position  
(k,l) des Peaks sind,  $a_{k,l}^H(n,m)$  der hermitesch adjungierte Vektor zu  $a_{k,l}(n,m)$  ist,  
10 und  $a(v,m)$  ein Steuerungsvektor der idealen Messung mit dem Sende-Schaltzustand m für ein Radarziel mit einer Relativgeschwindigkeit v ist.

12. FMCW-Radarsensor mit einer Steuer- und Auswerteeinrichtung (16), in der ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 implementiert ist.

1 / 3

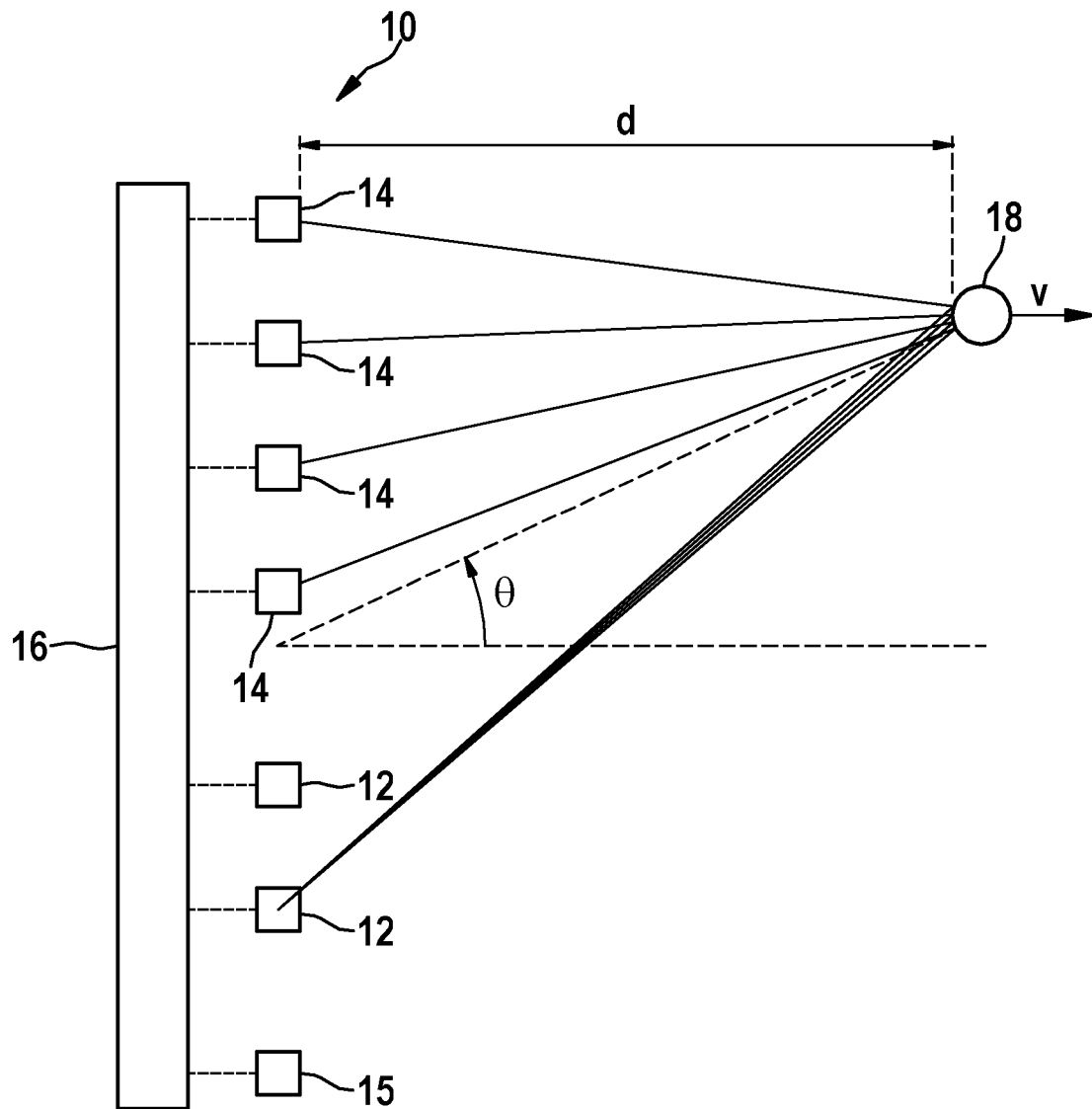


Fig. 1

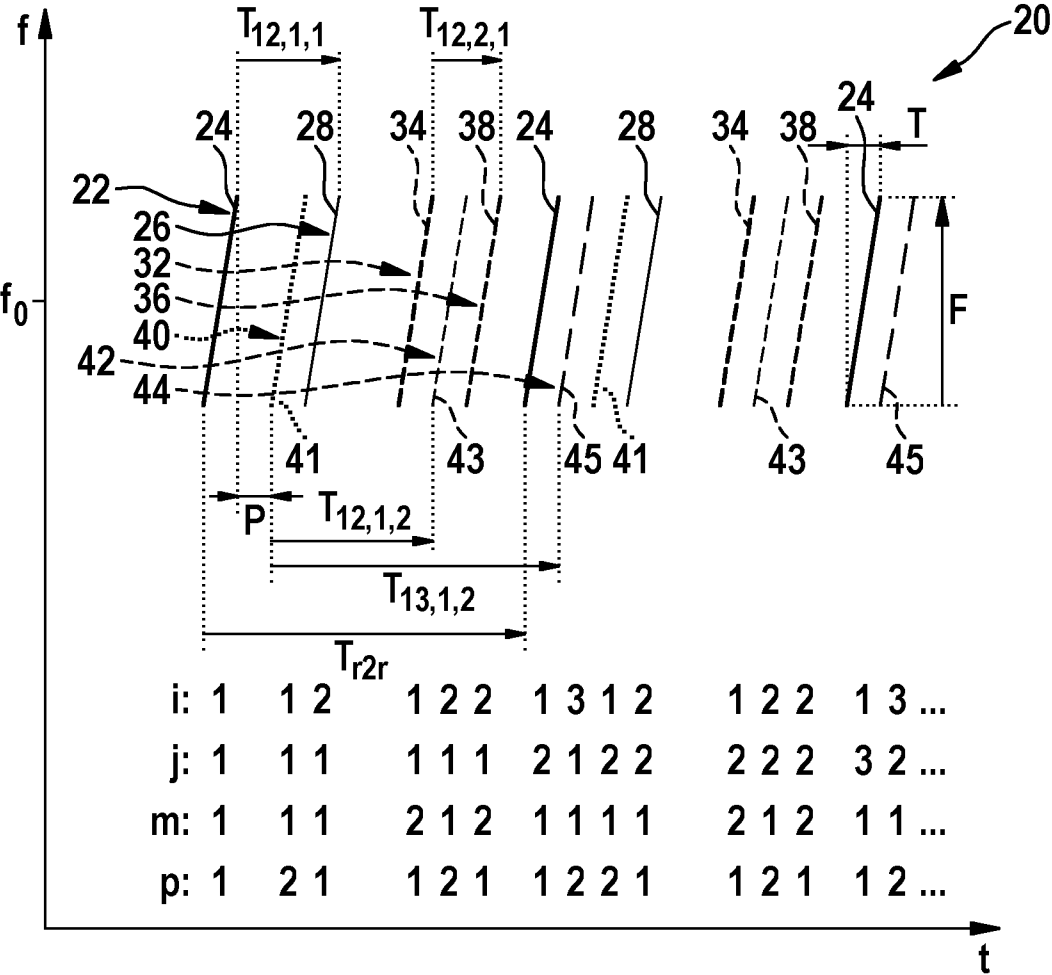


Fig. 2

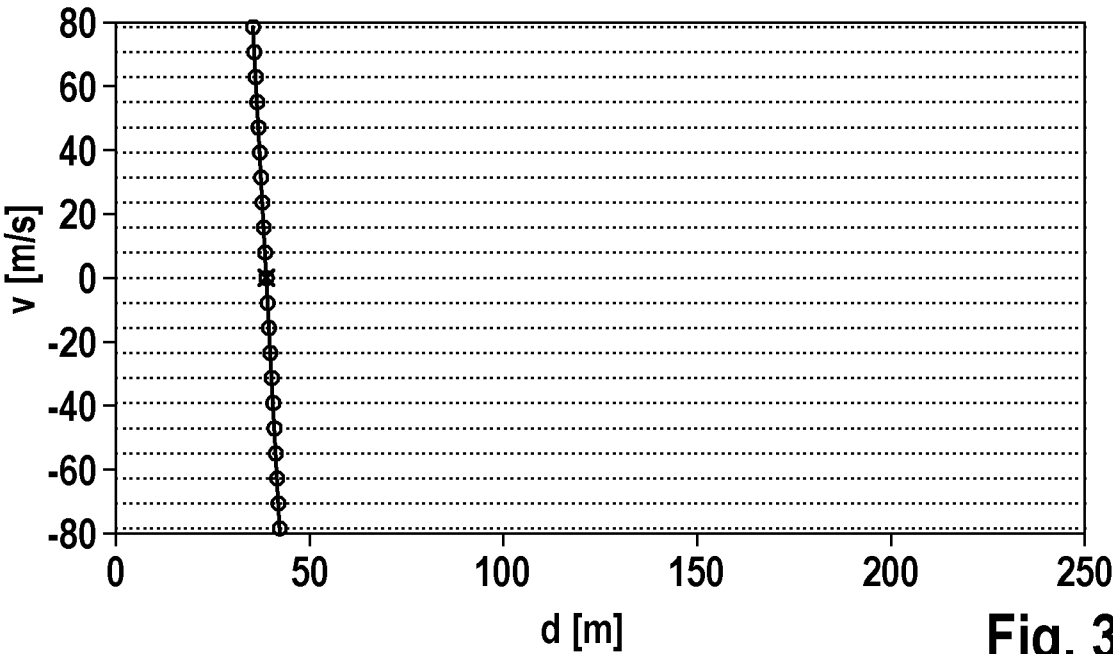


Fig. 3

3 / 3

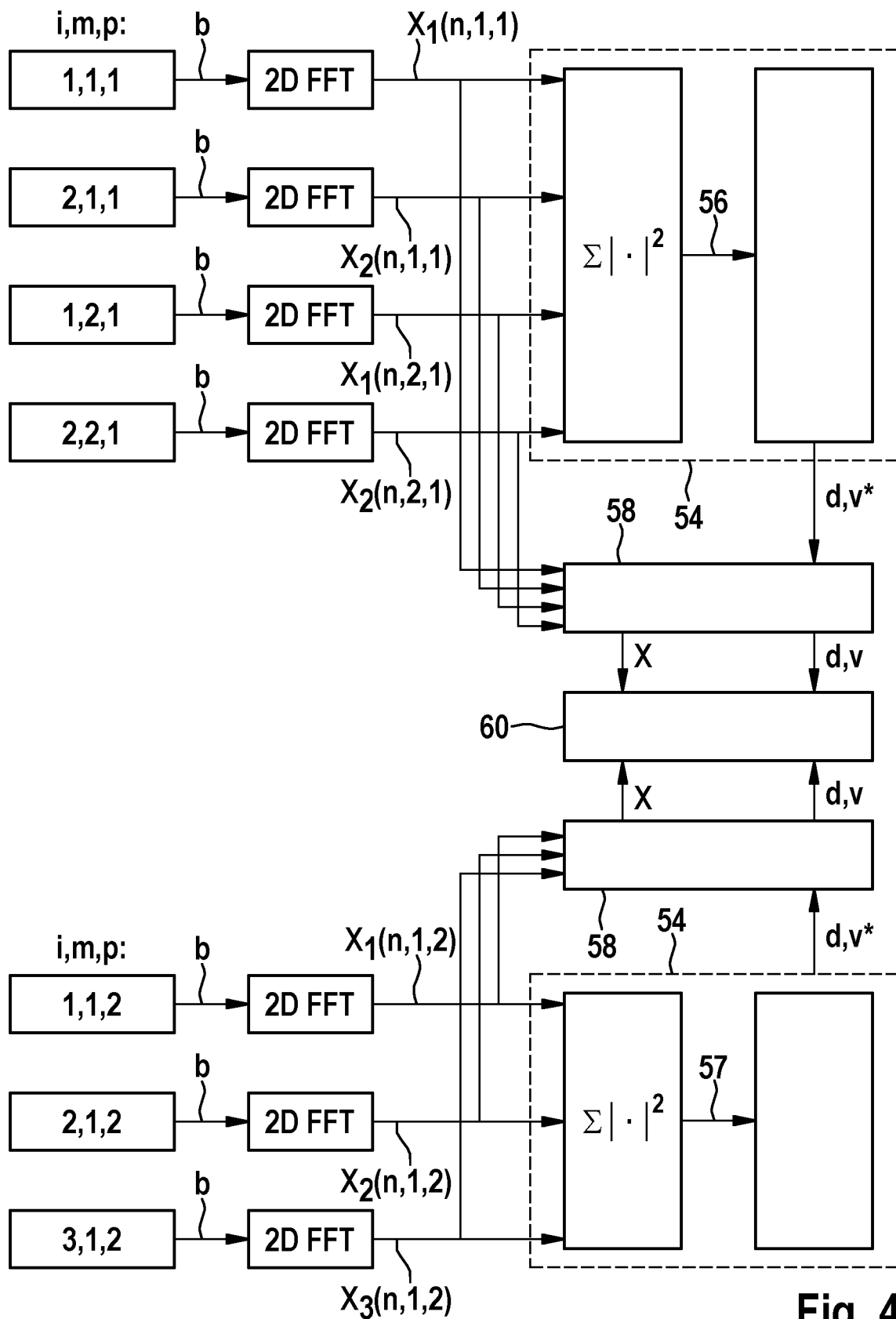


Fig. 4



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2015/058753

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01S13/34 G01S7/35 G01S13/58 G01S13/42  
ADD. G01S13/536 G01S13/93 G01S13/02

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	US 5 652 589 A (ONO HIDEAKI [JP] ET AL) 29 July 1997 (1997-07-29) column 1, line 5 - line 19 column 2, line 20 - line 54 column 3, line 16 - line 35 column 4, line 16 - column 5, line 10 column 6, line 59 - line 65 figures 1,2,3,5	1-12
Y	EP 0 730 166 A1 (SIEMENS AG [DE]) 4 September 1996 (1996-09-04) page 3, line 41 - page 7, line 7 figures 4,5 ----- -/--	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 July 2015

Date of mailing of the international search report

31/07/2015

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

Köppe, Maro

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2015/058753

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2010/115418 A2 (CONTI TEMIC MICROELECTRONIC [DE]; WINTERMANTEL MARKUS [DE]) 14 October 2010 (2010-10-14) page 7, line 17 - page 8, line 24; figures 1,2,7,10 -----	4
Y	DE 10 2012 008350 A1 (S M S SMART MICROWAVE SENSORS GMBH [DE]) 24 October 2013 (2013-10-24) Equations (1) and (9) -----	9
Y	JP 2009 288223 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 10 December 2009 (2009-12-10) the whole document -----	10,11
A	US 2012/235857 A1 (KIM CHEON SOO [KR] ET AL) 20 September 2012 (2012-09-20) the whole document -----	1-12
A	EP 2 060 929 A1 (MURATA MANUFACTURING CO [JP]) 20 May 2009 (2009-05-20) page 15, line 38 - line 44 figure 16 -----	1-12
Y	US 2011/122013 A1 (TAKEYA SHINICHI [JP] ET AL) 26 May 2011 (2011-05-26) paragraph [0097] - paragraph [0146] paragraph [0178] - paragraph [0185] paragraph [0233] - paragraph [0254] figures 1, 21-30, 34-41 -----	1-12

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/058753

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5652589	A	29-07-1997	JP 2768439 B2 25-06-1998
		JP H08136647 A 31-05-1996	
		US 5652589 A 29-07-1997	
EP 0730166	A1	04-09-1996	AT 202635 T 15-07-2001
		DE 59509365 D1 02-08-2001	
		EP 0730166 A1 04-09-1996	
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 5726852 B2 03-06-2015	
		JP 2012522972 A 27-09-2012	
		KR 20110139765 A 29-12-2011	
		US 2012001791 A1 05-01-2012	
		WO 2010115418 A2 14-10-2010	
DE 102012008350	A1	24-10-2013	CA 2867062 A1 24-10-2013
		CN 104246534 A 24-12-2014	
		DE 102012008350 A1 24-10-2013	
		EP 2841961 A1 04-03-2015	
		JP 2015517104 A 18-06-2015	
		KR 20150003330 A 08-01-2015	
		US 2015084806 A1 26-03-2015	
		WO 2013156012 A1 24-10-2013	
JP 2009288223	A	10-12-2009	NONE
US 2012235857	A1	20-09-2012	CN 102680963 A 19-09-2012
		DE 102012102185 A1 27-09-2012	
		US 2012235857 A1 20-09-2012	
EP 2060929	A1	20-05-2009	EP 2060929 A1 20-05-2009
		JP 4905457 B2 28-03-2012	
		US 2009224960 A1 10-09-2009	
		WO 2008053685 A1 08-05-2008	
US 2011122013	A1	26-05-2011	CN 101971050 A 09-02-2011
		EP 2434309 A1 28-03-2012	
		JP 5468304 B2 09-04-2014	
		JP 2010271115 A 02-12-2010	
		US 2011122013 A1 26-05-2011	
		WO 2010134381 A1 25-11-2010	

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01S13/34 G01S7/35 G01S13/58 G01S13/42  
 ADD. G01S13/536 G01S13/93 G01S13/02

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	US 5 652 589 A (ONO HIDEAKI [JP] ET AL) 29. Juli 1997 (1997-07-29) Spalte 1, Zeile 5 - Zeile 19 Spalte 2, Zeile 20 - Zeile 54 Spalte 3, Zeile 16 - Zeile 35 Spalte 4, Zeile 16 - Spalte 5, Zeile 10 Spalte 6, Zeile 59 - Zeile 65 Abbildungen 1,2,3,5 -----	1-12
Y	EP 0 730 166 A1 (SIEMENS AG [DE]) 4. September 1996 (1996-09-04) Seite 3, Zeile 41 - Seite 7, Zeile 7 Abbildungen 4,5 ----- -/-	1-12



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. Juli 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

31/07/2015

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

Köppe, Maro

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 2010/115418 A2 (CONTI TEMIC MICROELECTRONIC [DE]; WINTERMANTEL MARKUS [DE]) 14. Oktober 2010 (2010-10-14) Seite 7, Zeile 17 - Seite 8, Zeile 24; Abbildungen 1,2,7,10 -----	4
Y	DE 10 2012 008350 A1 (S M S SMART MICROWAVE SENSORS GMBH [DE]) 24. Oktober 2013 (2013-10-24) Equations (1) and (9) -----	9
Y	JP 2009 288223 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 10. Dezember 2009 (2009-12-10) das ganze Dokument -----	10,11
A	US 2012/235857 A1 (KIM CHEON SOO [KR] ET AL) 20. September 2012 (2012-09-20) das ganze Dokument -----	1-12
A	EP 2 060 929 A1 (MURATA MANUFACTURING CO [JP]) 20. Mai 2009 (2009-05-20) Seite 15, Zeile 38 - Zeile 44 Abbildung 16 -----	1-12
Y	US 2011/122013 A1 (TAKEYA SHINICHI [JP] ET AL) 26. Mai 2011 (2011-05-26) Absatz [0097] - Absatz [0146] Absatz [0178] - Absatz [0185] Absatz [0233] - Absatz [0254] Abbildungen 1, 21-30, 34-41 -----	1-12

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/058753

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5652589	A	29-07-1997	JP 2768439 B2 25-06-1998
		JP H08136647 A 31-05-1996	
		US 5652589 A 29-07-1997	
EP 0730166	A1	04-09-1996	AT 202635 T 15-07-2001
		DE 59509365 D1 02-08-2001	
		EP 0730166 A1 04-09-1996	
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 5726852 B2 03-06-2015	
		JP 2012522972 A 27-09-2012	
		KR 20110139765 A 29-12-2011	
		US 2012001791 A1 05-01-2012	
		WO 2010115418 A2 14-10-2010	
DE 102012008350	A1	24-10-2013	CA 2867062 A1 24-10-2013
		CN 104246534 A 24-12-2014	
		DE 102012008350 A1 24-10-2013	
		EP 2841961 A1 04-03-2015	
		JP 2015517104 A 18-06-2015	
		KR 20150003330 A 08-01-2015	
		US 2015084806 A1 26-03-2015	
		WO 2013156012 A1 24-10-2013	
JP 2009288223	A	10-12-2009	KEINE
US 2012235857	A1	20-09-2012	CN 102680963 A 19-09-2012
		DE 102012102185 A1 27-09-2012	
		US 2012235857 A1 20-09-2012	
EP 2060929	A1	20-05-2009	EP 2060929 A1 20-05-2009
		JP 4905457 B2 28-03-2012	
		US 2009224960 A1 10-09-2009	
		WO 2008053685 A1 08-05-2008	
US 2011122013	A1	26-05-2011	CN 101971050 A 09-02-2011
		EP 2434309 A1 28-03-2012	
		JP 5468304 B2 09-04-2014	
		JP 2010271115 A 02-12-2010	
		US 2011122013 A1 26-05-2011	
		WO 2010134381 A1 25-11-2010	