



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 212 281.3**
 (22) Anmeldetag: **26.06.2014**
 (43) Offenlegungstag: **31.12.2015**

(51) Int Cl.: **G01S 13/34** (2006.01)
G01S 13/42 (2006.01)
G01S 13/93 (2006.01)
G01S 13/58 (2006.01)
G01S 7/35 (2006.01)

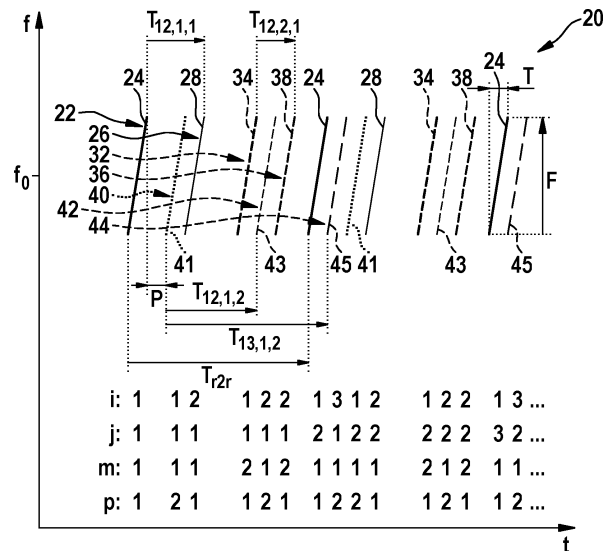
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Loesch, Benedikt, 70376 Stuttgart, DE; Schoor, Michael, 70195 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Radarmessverfahren mit unterschiedlichen Sichtbereichen**

(57) Zusammenfassung: FMCW-Radarsensor und Verfahren zum Orten eines Radarziels (18), bei dem FMCW-Radarmessungen mit Sende-Antennen (12; 15) mit unterschiedlichen Sichtbereichen (p), die sich in einem Öffnungswinkel und/oder 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

STAND DER TECHNIK

[0001] 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.

[0002] 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 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 zum Senden und/oder zum Empfangen verwendeten Antennen erhalten werden.

[0003] Weiter betrifft die Erfindung einen Radarsensor, insbesondere für Kraftfahrzeuge, der zur Durchführung dieses Verfahrens ausgebildet ist.

[0004] 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 Notbremsvorgangs bei akuter Kollisionsgefahr.

[0005] 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 Empfangssignal wird durch Mischen mit dem Sendesignal ein Basisbandsignal erzeugt, welches abgetastet und ausgewertet wird.

[0006] Die Frequenz des Basisbandsignals entspricht dem Frequenzunterschied zwischen dem zu einem gegebenen Zeitpunkt gesendeten Signal und dem zum 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 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.

[0007] 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 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 Zeitversatz zwischen aufeinander folgenden kurzen Rampen kleiner sein als die halbe Periodendauer der Dopplerfrequenz.

[0008] Zumeist weist der Radarsensor mehrere Antennen auf, die in Abstand zueinander auf einer Linie, beispielsweise einer Horizontalen angeordnet sind, so dass unterschiedliche Azimutwinkel der georteten Objekte zu Differenzen in den Lauflängen führen, die die Radarsignale vom Objekt bis zur jeweiligen Antenne zurückzulegen haben. Diese Lauflängendifferenzen führen zu entsprechenden Unterschieden in der Phase der Signale, die von den Antennen empfangen und in den zugehörigen Auswertungskanälen ausgewertet werden. Durch Abgleich der in den verschiedenen Kanälen empfangenen (komplexen) Amplituden mit entsprechenden Amplituden in einem Antennendiagramm lässt sich dann der Einfallswinkel des Radarsignals und damit der Azimutwinkel des georteten Objekts bestimmen.

[0009] Bei einem MIMO-Radar (Multiple Input / Multiple Output) wird ein größeres Winkelauflösungsvermögen dadurch erreicht, dass man nicht nur mit mehreren empfangenden Antennen arbeitet, sondern auch mit mehreren sendenden Antennen, wobei unterschiedliche Kombinationen von sendenden und empfangenden Antennen ausgewertet werden, die zu jeweiligen Laufzeitdifferenzen eines reflektierten Signals führen.

[0010] Bei einem MIMO-Radar müssen die mit verschiedenen Auswahlen der sendenden Antennen gesendeten Signale zueinander orthogonal oder zeitlich trennbar sein. Das lässt sich beispielsweise durch Codemultiplex, 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, dass Relativbewegungen der georteten Objekte in Verbindung mit dem Zeitunterschied zwischen den Messungen mit verschiedenen Schaltzuständen zu Phasenunterschieden führen, die die nachfolgende Winkelschätzung erschweren.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0011] 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.

[0012] 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.

[0013] 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.

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] 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 T_{r2r} 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 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 jeweils von der Relativgeschwindigkeit und dem Zeitversatz zwischen den betreffenden Sequenzen ab.

[0017] Aufgrund der wenigstens zwei Zeitversätze zwischen den Sequenzen, die sich jeweils von dem für alle Sequenzen aller Sichtbereiche gleichen Zeitintervall T_{r2r} 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 ermöglicht, so dass die Messungen für die unterschiedlichen Sichtbereiche zeitlich miteinander verwoben werden können und bei gleichem Hardwareaufwand eine genauere Ortung ermöglicht wird.

[0018] Innerhalb einer Periode des Modulationsmusters, deren Länge dem Zeitintervall T_{r2r} entspricht, sind die Rampen vorzugsweise in ungleichmäßigen Abständen angeordnet, so dass das Modulationsmuster trotz des regelmäßigen Zeitintervalls T_{r2r} möglichst wenig Symmetrie aufweist. Aufgrund des einheitlichen Zeitintervalls T_{r2r} wiederholen sich die Zeitversätze zwischen den Rampen unterschiedlicher Sequenzen von Periode zu Periode.

[0019] 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 dem Zeitabstand T_{r2r} der Rampenmittelpunkte innerhalb einer Sequenz steht:

$$T_{r2r} > c/(4f_0 v_{\max})$$

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 T_{r2r} aufeinanderfolgenden Rampen einer Sequenz. Vorzugsweise beträgt T_{r2r} wenigstens ein Mehrfaches der genannten Größe auf der rechten Seite der Beziehung.

[0020] 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 T_{1i} zwischen Rampen unterschiedlicher Sequenzen steht:

$$T_{1i} > c/(4f_0 v_{\max})$$

[0021] Vorzugsweise beträgt T_{1i} wenigstens ein Mehrfaches der genannten Größe auf der rechten Seite der Beziehung.

[0022] Vorzugsweise weisen die Messungen mit unterschiedlichen Sichtbereichen jeweils ein Modulationsmuster auf, das wenigstens zwei verschiedene, regelmäßig wiederkehrende Zeitversätze zwischen Rampen unterschiedlicher Sequenzen aufweist.

[0023] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0024] 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.

[0025] 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, 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,

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. 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.

[0026] 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 Antennen ausgeführt werden.

[0027] 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 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. Durch Auswertung der Phasenbeziehungen und/oder Auswertung der Amplitudenbeziehungen ist es möglich, die Winkelposition eines georteten Radarobjektes zu bestimmen.

[0028] 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 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.

[0029] 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 kann ein Abgleich von für die Sichtbereiche separat erstellten Listen von georteten Radarzielen oder Objekten, denen die Radarziele zugeordnet werden, erfolgen.

[0030] In Ansprüchen 4 und 5 sind vorteilhafte Verfahrensmerkmale für die Winkelschätzung angegeben.

[0031] Vorzugsweise haben innerhalb einer jeweiligen Sequenz aufeinanderfolgende Rampen eine gleiche Rampensteigung und eine gleiche Differenz ihrer Rampenmittelfrequenzen sowie besonders bevorzugt einen gleichen 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 Rampenmittelfrequenz 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.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] Vorzugsweise wird bei dem Überprüfen der Phasenbeziehung eine Beziehung gemäß der Gleichung

$$\Delta\varphi_{12} = 2\pi\frac{v}{c}f_0T_{12} \quad (2)$$

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.

[0036] Vorzugsweise wird bei dem Überprüfen der Phasenbeziehung ein von der Relativgeschwindigkeit v abhängiger Steuerungsvektor $a(v)$ einer Messung gemäß der Gleichung

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

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 T_{1i} kann allgemein $a(v, m, p)$ bzw. $T_{1i,m,p}$ 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.

[0037] 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.

[0038] 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.

[0039] 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

[0040] Im folgenden werden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung näher erläutert.

[0041] Es zeigen:

[0042] Fig. 1 ein Diagramm eines FMCW-Radarsensors mit zwei Sende-Antennen und vier Empfangs-Antennen für MIMO-Radarmessungen sowie einer weiteren Sendeantenne;

[0043] Fig. 2 ein Modulationsmuster mit sieben Sequenzen gleichartiger Rampen, die wiederholt gesendet werden;

[0044] Fig. 3 ein Geschwindigkeits/Abstands-Diagramm mit mit einem vorbestimmten Intervall periodischen Werten der Relativgeschwindigkeit eines Radarziels; und

[0045] Fig. 4 ein detaillierteres Blockdiagramm einer Auswerteeinrichtung eines FMCW-Radarsensors.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

[0046] 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.

[0047] 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 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.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] 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.

[0051] **Fig. 2** zeigt die Sendefrequenz f des Sendesignals **20** aufgetragen über der Zeit t .

[0052] 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 $T_{12,1,1}$.

[0053] 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.

[0054] 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 $m = 1$.

[0055] 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.

[0056] 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 .

[0057] **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 θ . Zur Vereinfachung der Darstellung ist die Verarbeitung nur für einen Empfangskanal n dargestellt, entsprechend einer jeweiligen Antenne **14**.

[0058] 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 jeweili-

gen Anzahlen der bins (Abtastpunkte oder Stützstellen), vorzugsweise für die erste Dimension einheitlich für alle Spektren, und für die zweite Dimension einheitlich für alle Spektren.

[0059] Aufgrund der Relativgeschwindigkeit v des Radarziels **18** und dem Zeitversatz $T_{1i,m,p}$ 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 $\Delta\varphi_{1i,m,p}$ ist beispielhaft in Gleichung (2) angegeben. Aufgrund des relativ großen Zeitversatzes $T_{1i,m,p}$ erlaubt die Bestimmung des Phasenunterschieds zwischen zwei Teilmessungen mit derselben Sendee-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 .

[0060] 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**.

[0061] 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.

[0062] 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.

[0063] 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.

[0064] 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:

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

[0065] 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.

[0066] Anhand der Messvektoren und Steuerungsvektoren wird eine normierte Likelihood-Funktion in Form eines Relativgeschwindigkeitsspektrums $S(v, p)$ definiert als:

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

[0067] 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 Sendeschaltzustand m bezeichnet.

[0068] 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.

[0069] 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.

[0070] 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.

[0071] 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.

[0072] 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.

[0073] 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.

[0074] Vorzugsweise werden für mehrere, nacheinander ausgeführte Radarmessungen unterschiedlichen Modulationsparameter der Rampen verwendet, beispielsweise unterschiedliche Mittenfrequenzen, Rampensteigungen, Zeitabstände $Tr2r$ und/oder Zeitversätze $T1i,m,p$. Dadurch können zufällige Mehrfachbelegungen von Peakpositionen auf Einzelfälle beschränkt werden.

[0075] 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 .

[0076] 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-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,

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 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 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 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 ($T_{12,m,p}$) aufweisen, wobei bei diesen unterschiedlichen Sende-Schaltzuständen (m) den weiteren Sequenzen (**26**; **36**) unterschiedliche Zeitversätze ($T_{12,1,p}$; $T_{12,2,p}$) 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 (θ) 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 (θ) 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, θ), die aufgrund ihres Abstands (d) und/oder ihrer Winkelposition (θ) 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 (θ) 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 Rampenmittelfrequenzen haben,

wobei die besagte Differenz der Rampenmittelfrequenzen 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 Rampenmittelfrequenz 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

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

verwendet wird, welche eine erwartete Phasendifferenz $\Delta\phi_{12}$ 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 (ρ) 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:

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

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, 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.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

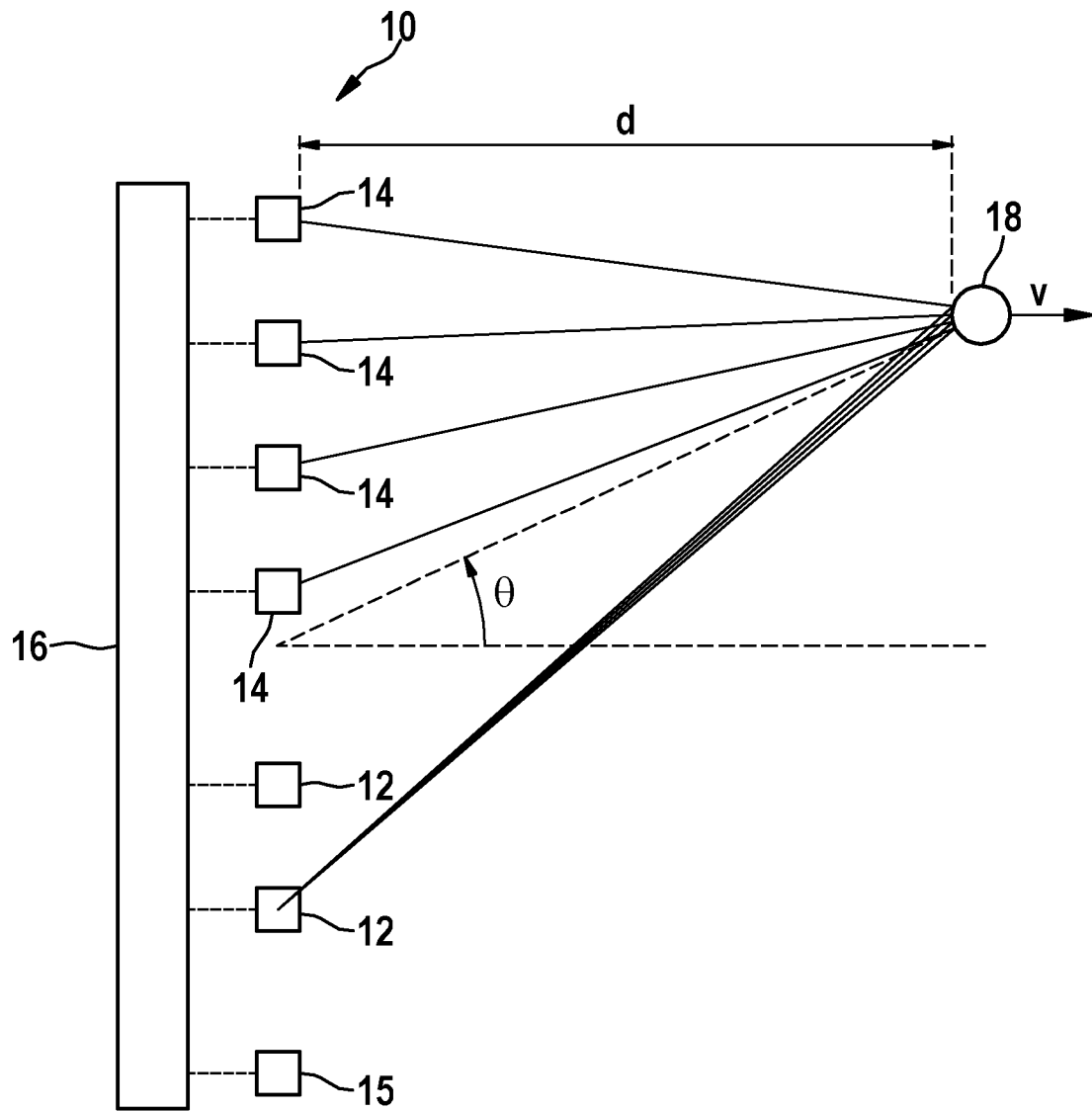


Fig. 1

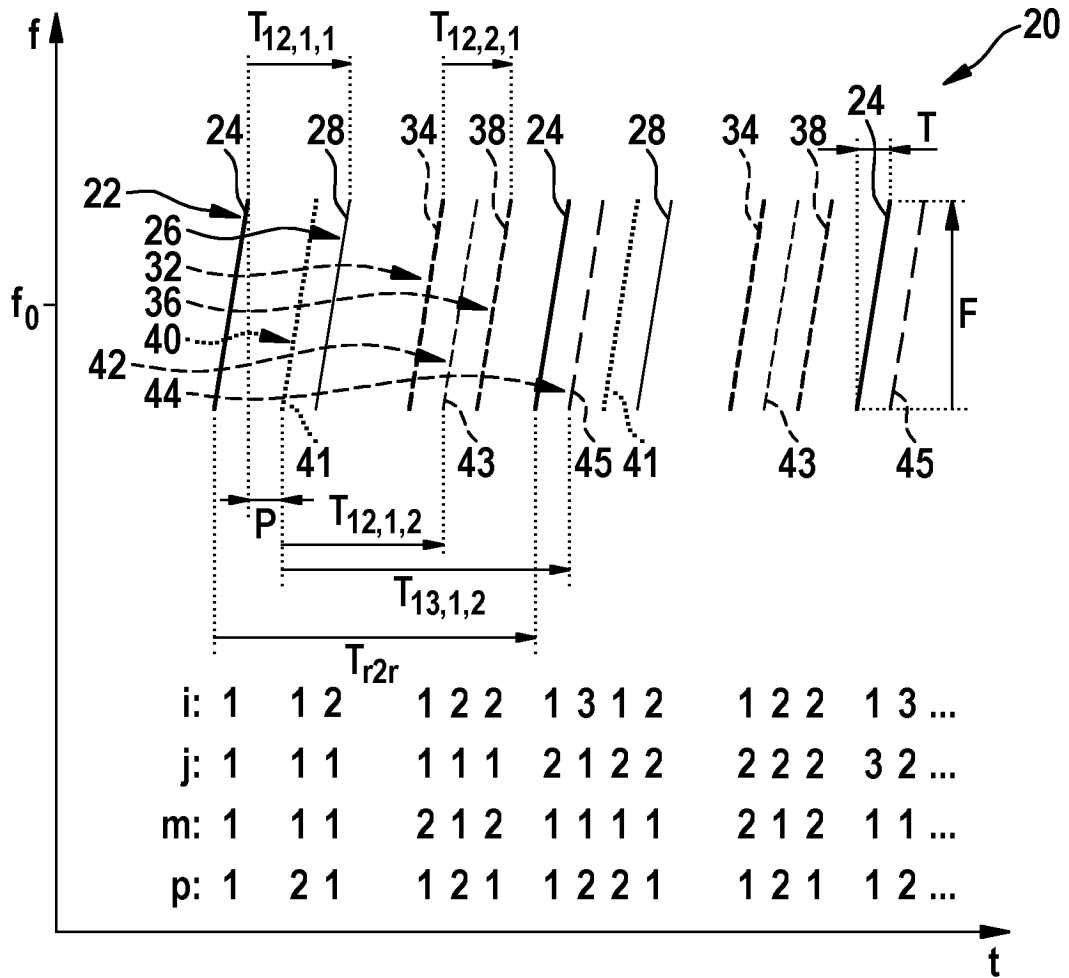


Fig. 2

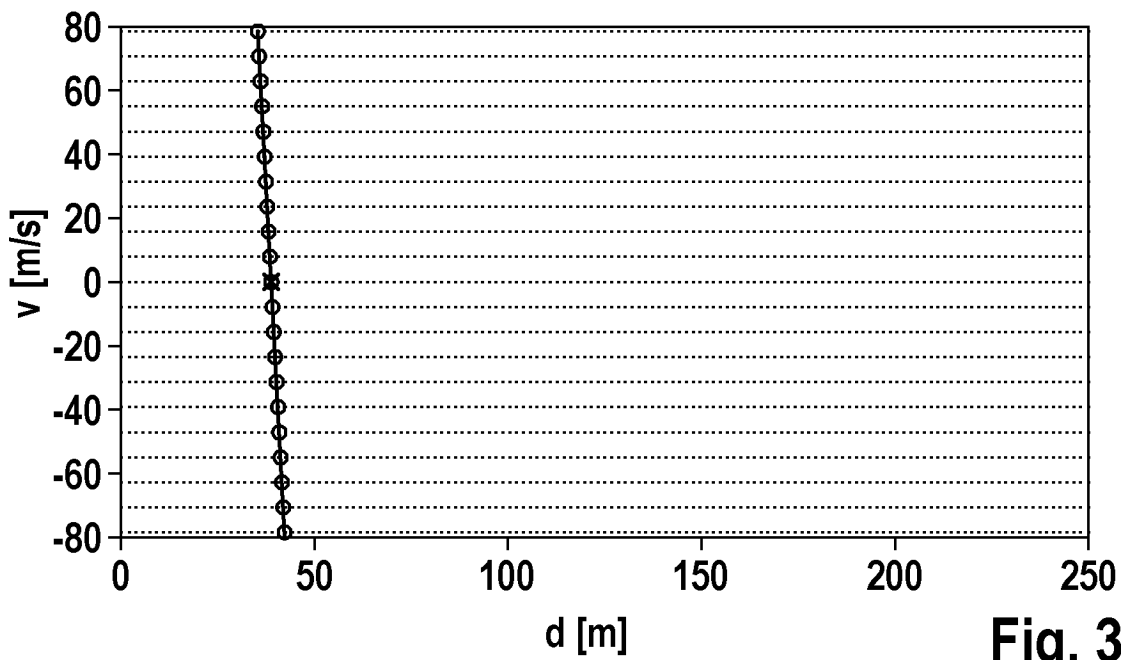


Fig. 3

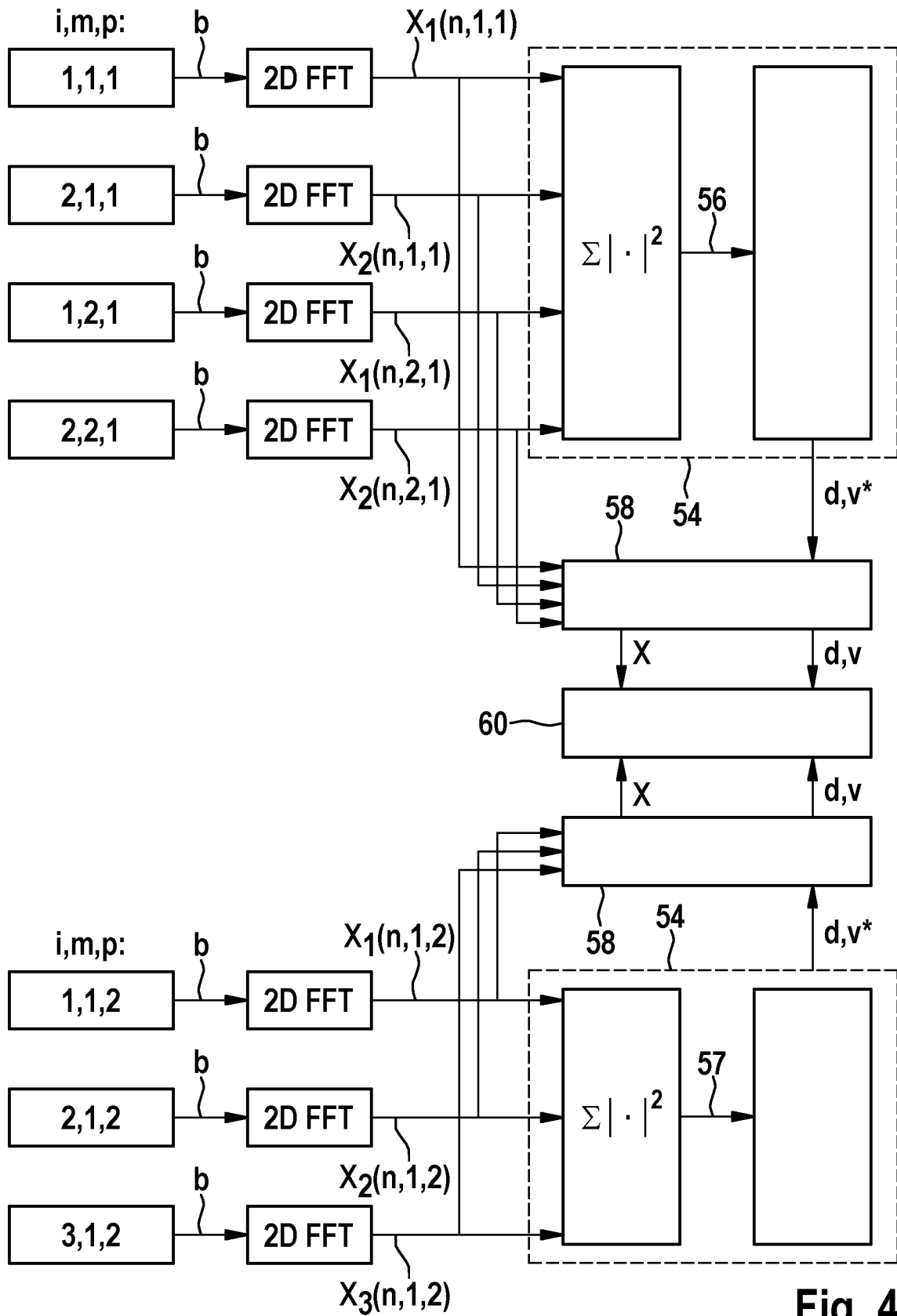


Fig. 4