



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 120 685.2**  
(22) Anmeldetag: **23.08.2018**  
(43) Offenlegungstag: **28.02.2019**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **13.06.2024**

(51) Int Cl.: **G01S 7/295** (2006.01)  
**G01S 13/58** (2006.01)  
**G01S 7/41** (2006.01)  
**G01S 7/292** (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität: <b>15/687,966</b> <b>28.08.2017</b> <b>US</b>	(72) Erfinder: <b>Bialer, Oded, Herzliya Pituach, IL; Bilik, Igal, Herzliya Pituach, IL</b>
(73) Patentinhaber: <b>GM Global Technology Operations, LLC, Detroit, Mich., US</b>	(56) Ermittelter Stand der Technik: <b>US</b> <b>2012 / 0 306 684</b> <b>A1</b>
(74) Vertreter: <b>Manitz Finsterwald Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft mbB, 80336 München, DE</b>	

(54) Bezeichnung: **MEHRFACHAUFLÖSUNGS-DOPPLERVERARBEITUNG**

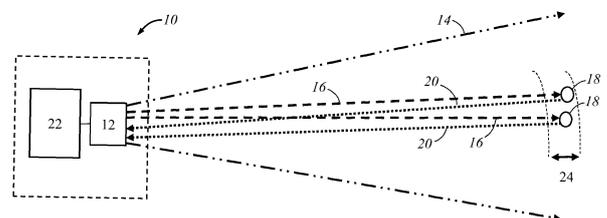
(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Verarbeiten von Echosignalen (20), die von einem oder mehreren Zielen (18) in einem Radarsichtfeld (14) reflektiert werden, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Empfangen von Echosignalen (20), die von einem oder mehreren Zielen (18) in dem Radarsichtfeld (14) als Reaktion auf eine Sequenz von Sendeimpulsen reflektiert werden;

Erzeugen eines empfangenen Signalvektors, der Abtastwerte von den empfangenen Echosignalen (20) enthält;  
Anlegen des empfangenen Signalvektors an einen Satz von Filtern, die für die Berechnung des Doppler-Spektrums für einen Satz von Doppler-Frequenzen konfiguriert sind, wobei eine Integrationsverarbeitungszeit für jeden Filter relativ zu der Doppler-Frequenz jedes Filters variiert; dadurch gekennzeichnet, dass

die Integrationsverarbeitungszeit für jeden Filter umgekehrt proportional zu der Doppler-Frequenz des Filters ist; und/oder dass

die Integrationsverarbeitungszeit zunimmt, wenn die jedem Filter zugeordnete Doppler-Frequenz abnimmt.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf Radarsysteme und insbesondere auf ein Verfahren zum Implementieren einer Mehrfachauflösungs-Dopplerverarbeitung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, wie es der Art nach im Wesentlichen aus der US 2012 / 0 306 684 A1 bekannt ist.

## HINTERGRUND

**[0002]** Viele moderne Fahrzeuge sind mit fortschrittlichen Sicherheits- und Fahrassistenzsystemen ausgestattet, die robuste und präzise Systeme zur Objekterkennung und Verfolgung zur Steuerung des Trägerfahrzeugs benötigen. Diese Systeme nutzen periodische oder kontinuierliche Erfassung von Objekten und Steueralgorithmen zur Einschätzung verschiedener Objektparameter, wie z. B. die relative Objektentfernung, die Geschwindigkeit, Bewegungsrichtung und Größe. Beispielsweise erfassen und lokalisieren Radarvorrichtungen Objekte (d. h. Ziele) durch die Übermittlung elektromagnetischer Signale, die von Zielen innerhalb des Sensorsichtfelds reflektiert werden. Das reflektierte Signal kehrt zum Radargerät als Echo zurück und wird dort zur Gewinnung von Informationen ausgewertet, z. B. die Signallaufzeit der übertragenen/empfangenen Energie. Wenn jedoch mehrere Ziele vorhanden sind, fehlt es bestimmten Radarvorrichtungen an der notwendigen Winkel- und räumlichen Auflösung, um zwischen mehreren nahe beieinanderliegenden Zielen zu unterscheiden (d. h. keine Punktzielannahme). In diesen Fällen, in denen zwei nahe beieinander gelegene Ziele nicht durch Entfernung oder Winkel getrennt werden können, können die Ziele weiterhin durch eine Doppler-Frequenz getrennt sein, wenn die Doppler-Auflösung der Radarvorrichtung ausreichend hoch ist.

**[0003]** Der Doppler-Effekt manifestiert sich, wenn eine relative Entfernrungsrate oder Radialgeschwindigkeit zwischen dem Radar und dem Ziel vorliegt. Wenn das Sendesignal des Radars von einem solchen Ziel reflektiert wird, wird die Trägerfrequenz des Rücksignals verschoben. Unter der Annahme eines kollozierten Senders und Empfängers ist die resultierende Doppler-Frequenzverschiebung eine Funktion der Trägerwellenlänge und der relativen Radialgeschwindigkeit (Entfernrungsrate) zwischen dem Radar und dem Ziel. Wenn sich das Ziel von dem Radar wegbewegt, wird die relative Radialgeschwindigkeit oder Entfernrungsrate als positiv definiert und führt zu einer negativen Doppler-Verschiebung.

**[0004]** Radarsysteme, die eine Doppler-Verarbeitung verwenden, können entweder kontinuierliche

Wellen (CW) oder gepulst sein. CW-Radargeräte beobachten einfach die Doppler-Verschiebung zwischen der Trägerfrequenz des Rücksignals relativ zu dem Sendesignal. Puls-Doppler-Radargeräte verwenden eine kohärente Folge von Impulsen, bei denen eine feste oder deterministische Phasenbeziehung der Trägerfrequenz zwischen jedem aufeinanderfolgenden Hochfrequenz-Impuls (HF-Impuls) vorliegt. Kohärenz konzentriert die Energie im Frequenzspektrum der Impulsfolge um bestimmte Spektrallinien herum, die durch die Pulswiederholungsfrequenz (IWF) getrennt sind. Diese Trennung in Spektrallinien ermöglicht die Unterscheidung von Doppler-Verschiebungen.

**[0005]** Die gepulste Natur des gesendeten Signals erlaubt eine Zeittaktung des Empfängers, was das Ausblenden von direktem Sendeenergieverlust in den Empfänger ermöglicht. Dies erlaubt die Verwendung einer einzigen Antenne zum Senden und Empfangen, was ansonsten nicht möglich wäre. Puls-Doppler-Radargeräte können auch Entfernungstaktung verwenden, was die Interpulsperiode in Zellen oder Entfernungsfenster unterteilt. Die Dauer jeder Entfernungstakts ist typischerweise kleiner oder gleich der Umkehrung der Sendeimpulsbandbreite. Entfernungstaktung kann dazu beitragen, zu verhindern, dass überschüssiges Empfängerrauschen störende Ziel-Rückimpulse beeinträchtigt, und eine Entfernungsmessung mit einer Impulsverzögerungsentfernung (d. h. Messen der Zeit zwischen der Übertragung eines Impulses und dem Empfang des Zielechos) ermöglichen.

**[0006]** Die Doppler-Auflösung eines Radars ist proportional zu der Doppler-Verarbeitungsintegrationszeit, welche die Doppler-Filterdauer ist. Die Doppler-Verarbeitungsintegrationszeit wird typischerweise durch die Dauer bestimmt, in der ein Reflexionspunkt (d. h. ein Ziel) in einer Entfernungsauflösungszelle verbleibt. Herkömmlicherweise ist die Doppler-Verarbeitungsintegrationszeit in Radaren über das Doppler-Frequenzspektrum gemäß der höchsten bekannten Zielgeschwindigkeit für eine bestimmte Radaranwendung festgelegt. Folglich ist die Doppler-Auflösung für diese Radare in Bezug auf langsamere Ziele begrenzt.

## KURZDARSTELLUNG

**[0007]** Erfindungsgemäß wird ein Verfahren für die Verarbeitung von Echosignalen bereitgestellt, die von einem oder mehreren Zielen in einem Radarsichtfeld reflektiert werden, wobei sich das Verfahren durch die Merkmale des Anspruchs 1 auszeichnet.

**[0008]** Das Verfahren beinhaltet das Empfangen von Echosignalen, die von einem oder mehreren Zielen in dem Radarsichtfeld als Reaktion auf eine Sequenz von Sendeimpulsen reflektiert werden,

das Erzeugen eines empfangenen Signalvektors, der Abtastwerte von den empfangenen Echosignalen enthält, und das Anlegen des empfangenen Signalvektors an einen Satz von Filtern, die für die Berechnung des Doppler-Spektrums für einen Satz von Doppler-Frequenzen konfiguriert sind, wobei eine Integrationsverarbeitungszeit für jeden Filter relativ zu der Doppler-Frequenz jedes Filters variiert. In einem Beispiel ist der Filtersatz konfiguriert, um einen Filter mit endlicher Impulsantwort (FIR und/oder diskrete Fourier-Transformation (DFT)) anzuwenden. Die Doppler-Frequenz jedes Filters entspricht einer relativen Geschwindigkeit eines ermittelten Ziels. Der empfangene Signalvektor repräsentiert Echosignale, die über ein kohärentes Pulsintervall (KPI) von Sendeimpulsen empfangen werden, die mit einer Pulswiederholungsfrequenz (PWF) gesendet werden. Erfindungsgemäß ist die Integrationsverarbeitungszeit für jeden Filter umgekehrt proportional zu der Doppler-Frequenz des Filters, sodass die Integrationsverarbeitungszeit zunimmt, wenn die jedem Filter zugeordnete Doppler-Frequenz abnimmt.

**[0009]** In einem anderen Beispiel repräsentiert die Integrationsverarbeitungszeit eine Anzahl von Integrationsabtastwerten aus dem empfangenen Signalvektor, die zur Berechnung des Doppler-Spektrums für eine gegebene Doppler-Frequenz eines Filters verwendet werden, wobei  $f_i$  der Satz von Doppler-Frequenzen ist und  $N_i$  ist die Anzahl von Integrationsabtastwerten, die zur Berechnung des Doppler-Spektrums für jeden Filter verwendet werden, wobei  $i$  von 0 bis  $K-1$  reicht, wobei  $K$  die Anzahl von Filtern in dem Satz von Filtern ist, und wobei  $f_0 < f_{K-1}$  und  $N_0 > N_{K-1}$  ist.

**[0010]** Gemäß einer anderen Ausführungsform wird ein Verfahren für die Verarbeitung von Echosignalen bereitgestellt, die von einem oder mehreren Zielen in einem Radarsichtfeld reflektiert werden. Das Verfahren beinhaltet das Senden einer Folge von Sendeimpulsen gemäß einer Pulswiederholungsfrequenz (PWF), das Empfangen von Echosignalen, die von einem oder mehreren Zielen in dem Radarsichtfeld als Reaktion auf eine Sequenz von Sendeimpulsen reflektiert werden, Erzeugen eines empfangenen Signalvektors, der Abtastwerte von den empfangenen Echosignalen enthält, wobei die Abtastwerte in dem empfangenen Signalvektor einer Entfernungsauflösungszelle in dem Sichtfeld entsprechen, die ein oder mehrere Ziele enthält, und Erzeugen eines Doppler-Spektrums für einen Satz von Doppler-Frequenzen bei einem bestimmten Entfernungstakt, wobei die Doppler-Spektren unter Verwendung einer vordefinierten Anzahl von Integrationsabtastwerten aus dem empfangenen Signalvektor berechnet werden, wobei die vordefinierte Anzahl von Integrationsabtastwerten relativ zu jeder Doppler-

Frequenz in dem Satz von Doppler-Frequenzen variiert.

**[0011]** Ferner wird ein System für die Verarbeitung von Echosignalen beschrieben, die von einem oder mehreren Zielen in einem Radarsichtfeld reflektiert werden. Das System beinhaltet mindestens einen Radarsensor, der konfiguriert ist zum Empfangen von Echosignalen, die von einem oder mehreren Zielen im Radarsichtfeld in Reaktion auf eine Sequenz von Sendeimpulsen reflektiert werden, und mindestens ein Signalverarbeitungsmodul, das zum Erzeugen eines empfangenen Signalvektors konfiguriert ist, der Abtastwerte von den empfangenen Echosignalen enthält, und Anlegen des empfangenen Signalvektors an einen Satz von Filtern, die für die Berechnung des Doppler-Spektrums für einen Satz von Doppler-Frequenzen konfiguriert sind, wobei eine Integrationsverarbeitungszeit für jeden Filter relativ zu der Doppler-Frequenz jedes Filters variiert.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0012]** Eine oder mehrere Ausführungsformen der Erfindung werden im Folgenden in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen beschrieben, wobei gleiche Bezeichnungen gleiche Elemente bezeichnen, und wobei gilt:

**Fig. 1** veranschaulicht eine Übersicht eines exemplarischen Radarerfassungssystems gemäß einer exemplarischen Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung; und

**Fig. 2** veranschaulicht ein Ablaufdiagramm, das ein exemplarisches Verfahren zum Implementieren einer Mehrfachauflösungs-Dopplerverarbeitung gemäß einer exemplarischen Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung darstellt.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0013]** Je nach Bedarf werden Ausführungsformen hier umfassend offenbart. Es versteht sich jedoch, dass die offenbarten Ausführungsformen lediglich als Beispiele verschiedener und alternativer Formen und Kombinationen aus diesen dienen. In seiner Verwendung hier deutet der Begriff „exemplarisch“ auf eine expansive Nutzung von Ausführungsbeispielen als Darstellungen, Exemplare, Modelle oder Muster hin. Die Figuren sind nicht unbedingt maßstabsgerecht und einige Merkmale können größer oder kleiner dargestellt sein, um die Einzelheiten bestimmter Komponenten zu veranschaulichen. In anderen Fällen werden Komponenten, Systeme, Materialien oder Verfahren nicht im Detail beschrieben, um die vorliegende Offenbarung nicht undeutlich erscheinen zu lassen. Folglich sind die hier offenbarten spezifischen Details in Bezug auf Konstruktion und Funktion nicht als Einschränkung zu verstehen, sondern

lediglich als Basis für die Ansprüche sowie als repräsentative Grundlage, um Fachleute zu schulen. Während der Ansatz und die Methodik in einigen Fällen im Folgenden in Bezug auf Fahrzeuge beschrieben sind, versteht sich für Experten, dass die Anwendung in der Fahrzeugindustrie lediglich exemplarisch ist und dass die hierin offenbarten Konzepte auch auf alle anderen geeigneten Radarerfassungssysteme angewendet werden können, wie beispielsweise Flugsicherung, nautische Navigation und Waffenführungssysteme, um nur einige zu nennen. Die Verwendung des Begriffs „Fahrzeug“ ist auch weit auszulegen, und beinhaltet nicht nur Pkw, sondern alle anderen Fahrzeuge, unter anderem auch Motorräder, Lkw, SUV, Wohnmobile, Wasserfahrzeuge und Flugzeuge.

**[0014]** Es ist bekannt, dass ein Radar Doppler-Frequenzen von mehreren Zielen trennt, um ihre relativen Geschwindigkeiten unter Verwendung von Doppler-Verarbeitung (d. h. Filtern) zu bestimmen. Die Fähigkeit eines Radars, nahe gelegene Ziele in Bezug auf die Geschwindigkeit aufzulösen, hängt von der Doppler-Auflösung des Radars (d. h. der Auflösung der Doppler-Filter) ab, die proportional zu der Verarbeitungsintegrationszeit des Doppler-Filters (d. h. der Doppler-Filter-Zeitdauer) ist. Die Integrationszeit wird basierend auf einer Zielkohärenzzeit bestimmt, die teilweise von der Zeit abhängt, die ein Ziel in einer Entfernungsauflösungszelle verbleibt. Herkömmlicherweise wird die Doppler-Verarbeitung unter Verwendung einer festen Integrationszeit für jeden der Doppler-Filter ausgeführt. Mit anderen Worten, während jeder der Doppler-Filter in einer Filterbank auf eine andere Doppler-Frequenz abgestimmt ist, verwendet jeder der Filter die gleiche Verarbeitungsintegrationszeit und filtert somit die gleiche Anzahl von Abtastungen. Als ein Ergebnis hat jeder der Filter die gleiche Doppler-Auflösung, die oft gemäß dem für eine bestimmte Anwendung vorkalkulierten höchsten Geschwindigkeitsziel eingestellt wird, was die Fähigkeit des Radars beschränkt, die Geschwindigkeit von Zielen mit niedrigerer Geschwindigkeit innerhalb der gleichen Entfernungsauflösungszelle zu bestimmen.

**[0015]** Dementsprechend sind das unten beschriebene System und das Verfahren auf die Bestimmung der Radialgeschwindigkeit eines oder mehrerer Ziele in einem Radarsichtfeld gerichtet, und insbesondere auf eine Radarvorrichtung, die zur Unterscheidung zwischen mehreren Zielen konfiguriert ist, die sich mit unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten innerhalb des Radarsichtfelds in derselben Entfernungsauflösungszelle bewegen, unter Verwendung eines Verfahrens für Mehrfachauflösungs-Doppler-Verarbeitung. Wie nachstehend im Detail beschrieben, beinhaltet das offenbarte Radar eine Doppler-Filterbank mit einer Vielzahl von Filtern, die auf unterschiedliche Doppler-Frequenzen abgestimmt sind,

wobei jeder der Filter eine vordefinierte variable Doppler-Verarbeitungsintegrationszeit aufweist, die proportional zu der Doppler-Frequenz ist. Das heißt, die Doppler-Verarbeitungsintegrationszeit jedes Filters variiert relativ zu der Doppler-Frequenz des Filters. Genauer gesagt ist die Doppler-Verarbeitungsintegrationszeit jedes Filters in einer Ausführungsform umgekehrt proportional zur Doppler-Frequenz jedes Filters. Auf diese Weise sind für ein gegebenes Doppler-Ausgangsspektrum eines Radars (d. h. Doppler-Profil) die auf Doppler-Frequenzen am unteren Ende des Spektrums abgestimmten Filter (die Zielen mit niedrigerer Geschwindigkeit entsprechen) so konfiguriert, dass sie relativ zu den Filter, die auf Doppler-Frequenzen am oberen Ende des Spektrums abgestimmt (entsprechend den Zielen mit höherer Geschwindigkeit) sind, längere Verarbeitungsintegrationszeiten haben. Damit wird eine Erhöhung der Doppler-Auflösung in Bezug auf alle erfassten Ziele innerhalb eines bestimmten Beobachtungsvolumens eines Radars erreicht.

**[0016]** Fig. 1 veranschaulicht ein Radarerfassungssystem 10, das zur Implementierung des offenbarten Verfahrens verwendet werden kann. Während der hierin beschriebene Ansatz und die hierin beschriebene Methodik sich auf die in Fig. 1 gezeigte Radar-konfiguration beziehen, erkennt der Fachmann, dass das Radarerfassungssystem 10 lediglich beispielhaft und in vielerlei Hinsicht zur Vereinfachung der Erläuterung vereinfacht ist. Es ist ferner anzumerken, dass die hierin offenbarten Konzepte und Verfahren bei jedem geeigneten Radarerfassungssystem mit einer beliebigen geometrischen Konfiguration angewendet werden können, einschließlich, aber nicht beschränkt auf, Radarsysteme mit synthetischen und/oder physikalischen Antennenelementen, die gleichmäßig oder ungleichmäßig voneinander beabstandet und als lineare Anordnungen, planare Anordnungen und/oder konforme Anordnungen angeordnet sind. Darüber hinaus versteht der Durchschnittsfachmann, dass das in Fig. 1 gezeigte Signalverarbeitungsmodul zur Vereinfachung der Erläuterung übermäßig vereinfacht ist. In der Praxis kann das Signalverarbeitungsmodul in Abhängigkeit von der spezifischen Anwendung und den Entwurfskriterien für das Radarerfassungssystem 10 hinsichtlich Struktur und Komplexität variieren. Während zu Erläuterungszwecken Fig. 1 ein einzelnes Signalverarbeitungsmodul darstellt, erkennt ein Durchschnittsfachmann, dass das Radarsystem 10 so konfiguriert sein kann, dass es separate Module und/oder Vorrichtungen enthält, die zum Ausführen einer Radarfunktionalität wie beispielsweise, aber nicht beschränkt auf, Signalerzeugung und Übertragung; Empfangen und Verarbeiten von Echosignalen; und Parametererkennung und -schätzung konfiguriert sind.

**[0017]** Das in **Fig. 1** gezeigte Radarerfassungssystem 10 beinhaltet einen oder mehrere Radarsensoren 12, die konfiguriert sind, um ein Sensorsichtfeld 14 zu erzeugen, das eine bestimmte Zone von Interesse überwacht. Die Radarsensoren 12 sind so konfiguriert, um elektromagnetische Signale 16 auszusenden, die von anderen Objekten oder Zielen 18 innerhalb des Sensorsichtfelds 14 reflektiert werden. Die reflektierten Signale 20 kehren als Echo zurück und werden von einem Signalverarbeitungsmodul 22 verarbeitet, das für das Extrahieren von Informationen über das erkannte Objekt aus dem Echo konfiguriert ist, wie beispielsweise Entfernung, Azimutwinkel und Entfernungsratedaten einschließlich Dopplermessungen. Das Signalverarbeitungsmodul 22 kann ein unitäres Modul sein oder kann eine Vielzahl von anderen Modulen oder Untermodulen beinhalten, die für den Empfang und die Verarbeitung von Radarechosignalen gemäß dem hierin offenbarten Verfahren und den Algorithmen konfiguriert sind.

**[0018]** In einer Ausführungsform beinhaltet das Signalverarbeitungsmodul 22, ohne Einschränkung, Verstärker, Mischer, Oszillatoren, Kombinerer, Filter und Wandler. Die Funktionen des Radar-Signalverarbeitungsmoduls 22 können variieren, beinhalten allgemein aber die Durchführung verschiedener Filterungs-, Verstärkungs-, Umwandlungs- und Digitalisierungsfunktionen, sowie die Analyse verschiedener Merkmale des Signals zur Bestimmung der Signalcharakteristiken wie Phase, Frequenz und Amplitude. Wie von Fachleuten verstanden wird, können die eingesetzten Techniken zur Gewinnung dieser Informationen aus den Signalen variieren, dazu können ohne Einschränkung phasengleiche-, Quadraturanalysen und Frequenzbereichsanalysen mittels Fourier-Transformation gehören. In einer Ausführungsform kann das Signalverarbeitungsmodul 22 ohne Einschränkung auch Komponenten zur Impulskompression und Störunterdrückung (z. B. Doppler-Filterung) enthalten. Wie nachstehend im Detail beschrieben, ist gemäß den hierin offenbarten Verfahren das Signalverarbeitungsmodul 22 konfiguriert, um ein Doppler-Profil zu erzeugen und die Radialgeschwindigkeit von einem oder mehreren Zielen 18 im Radarsichtfeld 14 zu bestimmen, und insbesondere, um zwischen mehreren Zielen 18 zu unterscheiden, die sich mit unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten innerhalb derselben Entfernungsauflösungszelle 24 bewegen.

**[0019]** In einer bestimmten Ausführungsform ist das Radarerfassungssystem 10 in einem Fahrzeug implementiert, wobei das Signalverarbeitungsmodul 22 als ein Fahrzeugsteuermodul implementiert sein kann, das für den Empfang des Ausgangssignals der Radarsensoren 24 konfiguriert ist. Das Steuermodul kann jede Vielzahl von elektronischen Verarbeitungsvorrichtungen, Speichervorrichtungen, Eingabe-/Ausgabe-Vorrichtungen (I/O-) und/oder

anderen bekannten Komponenten beinhalten und kann verschiedene steuerungs- und/oder kommunikationsbezogene Funktionen ausführen. Je nach Ausführungsform kann das Steuermodul ein eigenständiges Fahrzeugelektronikmodul (z. B. Objekterfassungscontroller, Sicherheitscontroller usw.) sein, es kann in ein anderes Fahrzeugelektronikmodul integriert oder eingebaut sein (z. B. Parkassistentenmodul, Bremssteuermodul usw.), oder es kann Bestandteil eines größeren Netzwerks oder Systems sein (z. B. Traktionskontrolle [TCS], elektronische Stabilitätskontrolle [ESC], Antiblockiersystem [ABS], Fahrerassistenzsystem, adaptives Geschwindigkeitsregelungssystem, Spurhaltewarnsystem usw.), um nur einige Möglichkeiten aufzuzählen. Das Steuermodul beschränkt sich nicht auf eine bestimmte Ausführungsform oder Anordnung.

**[0020]** **Fig. 2** veranschaulicht ein Ablaufdiagramm, das ein exemplarisches Verfahren 100 zum Implementieren einer Mehrfachauflösungs-Dopplerverarbeitung unter Verwendung des oben mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Radarerfassungssystems 10 darstellt. Es ist zu beachten, dass Operationen des Verfahrens 100 nicht notwendigerweise in einer bestimmten Reihenfolge dargestellt werden müssen und dass die Durchführung einiger oder aller Operationen auch in einer anderen Reihenfolge möglich und vorgesehen ist. Das Verfahren 100 beginnt bei Schritt 102 durch Erzeugen und Senden elektromagnetische Signale unter Verwendung von Radarsensoren 12 gemäß bekannten Techniken. In einer Ausführungsform werden die Signale als eine Sequenz von Impulsen übertragen, die eine Impulsbreite und eine Pulswiederholungsfrequenz (PWF) aufweisen.

**[0021]** In Schritt 104 werden Echosignale, die von einem oder mehreren Zielen in dem Radarsichtfeld 14 reflektiert werden, an dem Signalverarbeitungsmodul 22 empfangen. In einer Ausführungsform werden die Echosignale mit einer Abtastfrequenz  $F_s$  abgetastet und gemäß bekannten Techniken verarbeitet, um einen empfangenen Signalvektor  $x$  zu erzeugen, der die empfangenen Signalabtastwerte für jede Entfernungszelle, die auch als Entfernungsbins oder -takte bezeichnet werden können, darstellt. In einem nicht einschränkenden Beispiel  $x = [x_0, x_1, \dots, x_{L-1}]$ , wobei  $L$  die Anzahl der Sendeimpulse in einem kohärenten Verarbeitungsintervall (KVI) ist. Anders ausgedrückt,  $x$  stellt die Abtastwerte des empfangenen Echosignals als Reaktion auf  $L$  Sendeimpulse dar, wobei die Abtastwerte in  $x$  einer bestimmten Entfernungszelle (d. h. einer bestimmten Entfernungsposition) in der Entfernungsauflösungszelle 24 entsprechen. Wie für den Fachmann ersichtlich, hängt die Anzahl der Entfernungszellen oder -takte für eine bestimmte Entfernungsauflösungszelle zum Teil von der Entfernungsauflösung des Radars, der Impulsbreite und der Pulswiederholungsfrequenz (PWF) ab.

**[0022]** In Schritt 106 wird ein Doppler-Spektrum für einen Satz von Doppler-Frequenzen (d. h. Filterfrequenzen) an einem bestimmten Entfernungstakt berechnet. In einer Ausführungsform werden die Doppler-Spektren unter Verwendung einer vordefinierten Anzahl von Integrationsabstastwerten aus dem empfangenen Signalvektor berechnet, wobei die vordefinierte Anzahl von Integrationsabstastwerten relativ zu jeder Doppler-Frequenz in dem Satz von Doppler-Frequenzen variiert. Die Doppler-Spektren können gemäß einer beliebigen Doppler-Verarbeitungstechnik berechnet werden, die für das offenbarte Verfahren geeignet ist, einschließlich, aber nicht beschränkt auf eine Verarbeitung eines Filters mit endlicher Impulsantwort (finite impulse response (FIR)), eines Filters mit unendlicher Impulsantwort (infinite impulse response (IIR)) und einer diskrete Fourier-Transformation (DFT).

**[0023]** In einer Ausführungsform wird der empfangene Signalvektor an einen Satz von Filtern angelegt, die für die Berechnung des Doppler-Spektrums für den Satz von Doppler-Frequenzen konfiguriert ist, auf den jeder Filter abgestimmt ist, wobei eine Integrationsverarbeitungszeit für jeden Filter relativ zu der Doppler-Frequenz jedes Filters variiert. Die Integrationsverarbeitungszeit für jeden Filter ist umgekehrt proportional zu der Doppler-Frequenz des Filters, sodass die Integrationsverarbeitungszeit zunimmt, wenn die jedem Filter zugeordnete Doppler-Frequenz abnimmt. Die Integrationsverarbeitungszeit repräsentiert eine Anzahl von Integrationsabstastwerten von dem empfangenen Signalvektor, die verwendet werden, um das Doppler-Spektrum für eine gegebene Doppler-Frequenz eines Filters zu berechnen. Die Doppler-Frequenz jedes Filters entspricht einer relativen Geschwindigkeit eines ermittelten Ziels. In einer Ausführungsform ist der Filtersatz konfiguriert, um eine diskrete Fourier-Transformation (DFT) anzuwenden.

**[0024]** Gemäß einer bestimmten Ausführungsform wird das Doppler-Spektrum für einen Satz von Doppler-Frequenzen  $f_i = \{f_0, f_1, \dots, f_{K-1}\}$  durch Filtern des empfangenen Signalvektors unter Verwendung der Funktion  $g(x, f_i, N_i)$  berechnet, wobei  $N_i$  die Dauer von Abstastwerten des empfangenen Signalvektors  $x$  ist, die für die Berechnung des Doppler-Spektrums in  $f_i$  verwendet werden, und  $K$  ist die Anzahl der Filter in einem Satz von Filtern, über die das Doppler-Spektrum berechnet wird. In einem Beispiel,

$$g(x, f_i, N_i) = \sum_{n=0}^{N_i-1} x_n e^{j2\pi \frac{f_i}{F_s} n}$$

wobei  $x_n$  die empfangene Sequenz von Abstastwerten mit der Abtastfrequenz  $F_s$  ist,  $f_i$  der Satz von Doppler-Frequenzen,  $N_i$  ist die Dauer oder Anzahl von Integrationsabstastwerten, die verwendet werden,

um das Doppler-Spektrum für jeden Filter zu berechnen, und wobei  $f_0 < f_{K-1}$  und  $N_0 > N_{K-1}$ .

**[0025]** Auf diese Weise verwendet die Funktion  $g$  bei der Berechnung der niedrigeren Dopplerfrequenzen im Spektrum eine größere Integrations-/Beobachtungszeit und bei der Berechnung der höheren Doppler-Frequenzen im Spektrum eine kleinere Integrations-/Beobachtungszeit. Die Begründung für diesen Ansatz ist, dass das Doppler-Spektrum unter der Annahme berechnet wird, dass das Ziel in der gleichen Entfernungsauflosungszelle verbleibt, d. h., dass die Zielbewegung derart ist, dass das Ziel in derselben Auflösungszelle ist.

**[0026]** In einem nicht einschränkenden Beispiel wird für die Beziehung zwischen der Doppler-Filterfrequenz,  $f_i$ , und der Anzahl der für diese Filterung verwendeten Integrationsabstastwerte,  $N_i$  eben durch:

$$N_i = \frac{\Delta 2F_c F_s}{c f_i}$$

wobei  $\Delta$  der Entfernungsauflosungszellenabstand ist (der typischerweise umgekehrt proportional zu der Signalbandbreite ist);  $F_c$  ist die Signalträgerfrequenz;  $F_s$  ist die Abtastfrequenz (wie oben definiert); und  $c$  ist die Lichtgeschwindigkeit. Die obige Formel zeigt, dass die Integrationszeit (realisiert durch die Anzahl der Integrationsabstastwerte) umgekehrt proportional zur Doppler-Frequenz ist. Die Herleitung der Formel ist wie folgt gegeben. Bezeichnen  $\tau_i$  als die Doppler-Integrationszeit, die gegeben ist durch:

$$\tau_i = \frac{N_i}{F_s}$$

**[0027]** Die Beziehung zwischen der Doppler-Frequenz und der Zielrelativgeschwindigkeit,  $v$ , gegeben durch:  $f_i = 2f_c \frac{v}{c}$ , die geschrieben werden kann als

$v = \frac{c f_i}{2 f_c}$ . Indem die Integrationszeit so eingestellt wird, dass sie dem Entfernungsauflosungszellenabstand  $\Delta$ , entspricht  $\tau_i = \frac{N_i}{F_s} = \frac{\Delta}{v}$ , und durch Substitution  $v = \frac{c f_i}{2 f_c}$  in letzteres,  $N_i = \frac{\Delta 2 f_c F_s}{c f_i}$ .

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Verarbeiten von Echosignalen (20), die von einem oder mehreren Zielen (18) in einem Radarsichtfeld (14) reflektiert werden, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Empfangen von Echosignalen (20), die von einem oder mehreren Zielen (18) in dem Radarsichtfeld (14) als Reaktion auf eine Sequenz von Sendeimpulsen reflektiert werden;

Erzeugen eines empfangenen Signalvektors, der Abtastwerte von den empfangenen Echosignalen (20) enthält; Anlegen des empfangenen Signalvektors an einen Satz von Filtern, die für die Berechnung des Doppler-Spektrums für einen Satz von Doppler-Frequenzen konfiguriert sind, wobei eine Integrationsverarbeitungszeit für jeden Filter relativ zu der Doppler-Frequenz jedes Filters variiert;

**dadurch gekennzeichnet**, dass die Integrationsverarbeitungszeit für jeden Filter umgekehrt proportional zu der Doppler-Frequenz des Filters ist; und/oder dass die Integrationsverarbeitungszeit zunimmt, wenn die jedem Filter zugeordnete Doppler-Frequenz abnimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Integrationsverarbeitungszeit eine Anzahl von Integrationsabtastwerten aus dem empfangenen Signalvektor darstellt, die verwendet werden, um das Doppler-Spektrum für eine gegebene Doppler-Frequenz eines Filters zu berechnen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Anzahl von Integrationsabtastwerten aus dem empfangenen Signalvektor, die zum Berechnen des Doppler-Spektrums verwendet werden, zunimmt, wenn die jedem Filter zugeordnete Doppler-Frequenz abnimmt.

4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei eine Beziehung zwischen den Integrationsabtastwerten und der Doppler-Frequenz  $N_i = \frac{\Delta 2F_c F_s}{c f_i}$  ist, wobei  $\Delta$  eine Entfernungsauflösungszellenabstand ist,  $F_c$  ist eine Signalträgerfrequenz;  $F_s$  ist eine Abtastfrequenz,  $c$  ist die Lichtgeschwindigkeit,  $f_i$  ist eine Menge von Doppler-Frequenzen und  $N_i$  ist eine Anzahl von Integrationsabtastwerten.

5. Verfahren nach Anspruch 2, wobei  $f_i$  der Satz von Doppler-Frequenzen ist und  $N_i$  ist die Anzahl von Integrationsabtastwerten, die zur Berechnung des Doppler-Spektrums für jeden Filter verwendet werden, wobei  $i$  von 0 bis  $K-1$  reicht, wobei  $K$  die Anzahl von Filtern in dem Satz von Filtern ist, und wobei  $f_0 < f_{K-1}$  und  $N_0 > N_{K-1}$ .

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Filtersatz konfiguriert ist, um mindestens eines aus einem Filter mit endlicher Impulsantwort (FIR) und einer diskreten Fourier-Transformation (DFT) anzuwenden.

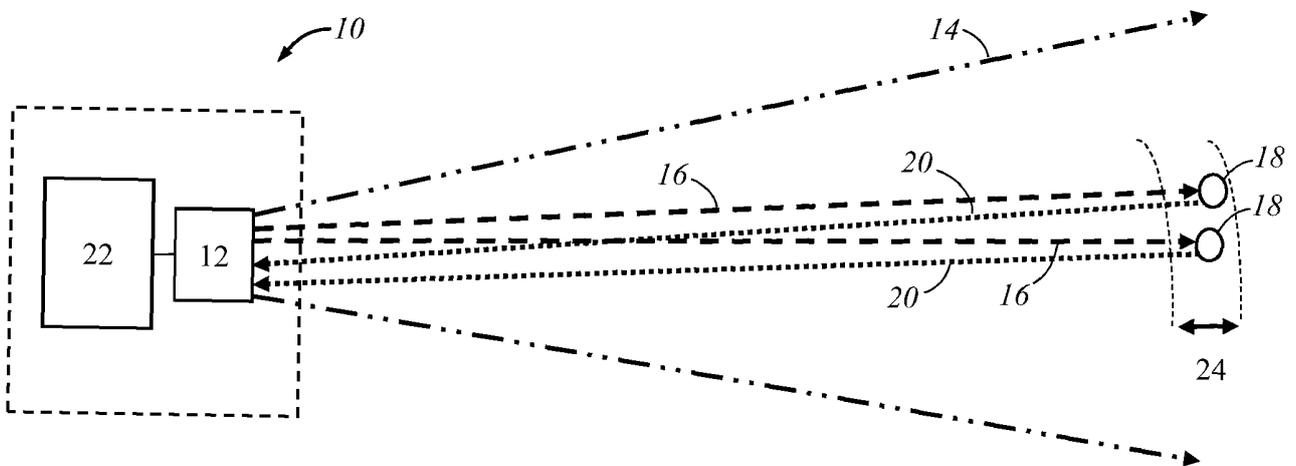
7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Doppler-Frequenz jedes Filters einer relativen Geschwindigkeit eines erfassten Ziels (18) entspricht

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der empfangene Signalvektor Echosignale (20) repräsentiert,

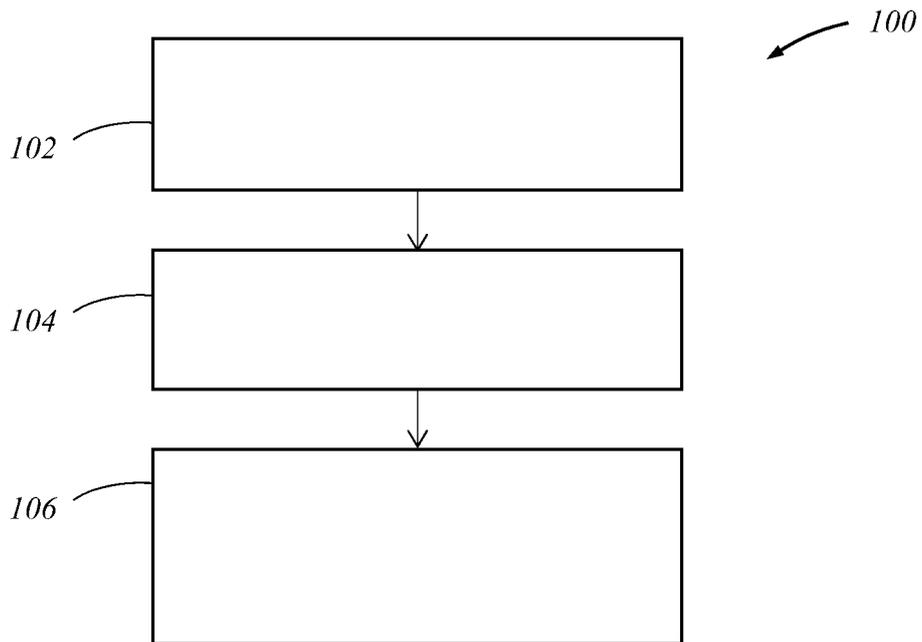
die über ein kohärentes Pulsintervall (KPI) von Sendeimpulsen empfangen werden, die mit einer Pulswiederholungsfrequenz (PWF) gesendet werden.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



**FIGUR 1**



**FIGUR 2**