



(10) **DE 10 2014 208 518 A1** 2015.11.12

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 208 518.7**

(22) Anmeldetag: **07.05.2014**

(43) Offenlegungstag: **12.11.2015**

(51) Int Cl.: **G01S 7/40 (2006.01)**

**G01S 13/34 (2006.01)**

**G01S 7/35 (2006.01)**

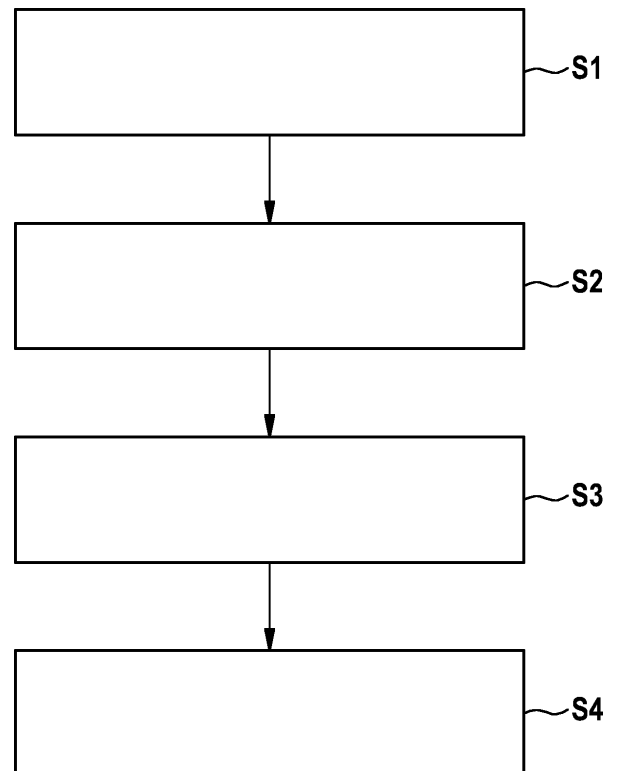
(71) Anmelder:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Gross, Volker, 71254 Ditzingen, DE; Kuehnle,  
Goetz, 71282 Hemmingen, DE; Bi, Jungying,  
71229 Leonberg, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Erkennung von Radarsensorblindheit eines Radarsensors und Radarsystem**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung offenbart ein Verfahren zur Erkennung von Radarsensorblindheit, mit den Schritten Aussenden mindestens eines Radarsignals, Erfassen des reflektierten ausgesendeten Radarsignals, Filtern des erfassten Radarsignals mit einem Optimalfilter, wobei der Optimalfilter ausgebildet ist, sich an die spektrale Leistungsdichte der Empfangsleistungen anzupassen, und hohe Empfangsleistungen in dem erfassten Radarsignal stark und niedrige Empfangsleistungen in dem erfassten Radarsignal schwach zu gewichten, Detektieren einer Abschattung des Radarsensors basierend auf dem gefilterten Radarsignal und mindestens einem für das gefilterte Radarsignal vorgegebenen Schwellwert. Ferner offenbart die vorliegende Erfindung ein Radarsystem.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Verfahren zum Betrieb eines Radarsensors und ein Radarsystem, in welchem ein erfindungsgemäßes Verfahren durchgeführt wird.

### Stand der Technik

**[0002]** Radarsensoren werden heute in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Beispielsweise werden Radarsensoren heute in Fahrzeugen eingesetzt, um eine Umfelderkennung durchzuführen. Dabei werden von einem Fahrzeug über einen Radarsensor Radarstrahlen ausgesendet und die von vor dem Fahrzeug befindlichen Objekten reflektierten Radarstrahlen empfangen und ausgewertet.

**[0003]** So kann in einem Fahrzeug eine Modell der Fahrzeugumgebung erstellt werden, die z.B. von Fahrerassistenzsystemen, wie z.B. automatischen Bremsassistenten oder Tempomaten, genutzt werden kann, um das Fahrzeug zu beschleunigen oder abzubremesen.

**[0004]** Eine genaue Erfassung der Fahrzeugumgebung ist für eine zufriedenstellende Funktion solcher Fahrerassistenzsysteme wichtig.

**[0005]** Allerdings kann ein Radarsensor seine Leistungsfähigkeit beispielsweise durch Schmutz oder durch Sensor- bzw. Radombeläge wie Wasser oder Schneematsch, in dieser Patentanmeldung auch Abschattung genannt, verlieren.

**[0006]** Um eine solche Abschattung des Radarsensors zu detektieren sind Mechanismen zur Blindheitserkennung von Radarsensoren bekannt. Wird eine Abschattung erkannt, kann z.B. ein Fahrerassistenzsystem abgeschaltet werden, welches zu seinem Betrieb die Informationen des Radarsensors benötigt.

**[0007]** Ein kostengünstiger Mechanismus nutzt die Idee, dass mit steigender Blindheit des Radarsensors die von außen aufgenommene Leistung absinkt. Dieses Verfahren funktioniert soweit gut, wenn sich Ziele mit starkem Rückstreuquerschnitt wie PKWs und LKWs in der Umgebung des Radarsensors befinden. In solchen Fällen wird genügend Leistung zurück reflektiert und es kann sicher erkannt werden, dass ein Radarsensor sicherlich nicht-blind ist.

**[0008]** Um jedoch den blinden Zustand eines Radarsensors zu verifizieren, reicht allein die Stärke des empfangenden Signals nicht aus. Der oben-erwähnte Mechanismus hat dann Schwächen, wenn die empfangenen Signalstärken sowieso gering sind. Probleme können dabei z.B. im „Freiraum“ auftauchen, wenn wenige Ziele in der Umgebung des Fahrzeugs vorhanden sind, die die Radarsignale reflektie-

ren können. Das gleiche Problem kann sich ergeben, wenn ein Radarsensor ungünstig eingebaut ist, z.B. hinter einem Radom oder einem Stoßfänger mit absorbierender Eigenschaft. Ein Radom bezeichnet dabei einen Dom oder eine Kuppel, die zum Schutz des Radarsensors über diesem angeordnet wird.

**[0009]** In solchen Fällen ist die Leistung des empfangenen Radarsignals so gering, dass sie kaum von Rauschleistung zu unterscheiden ist. Der Radarsensor kann infolgedessen als blind eingestuft werden, auch, wenn dies nicht der Fall ist. Dies führt letztendlich zur unbeabsichtigten Abschaltung von Fahrerassistenzsystemen.

**[0010]** Die US2013/0015999 A1 offenbart ein Verfahren, bei welchem ein Radarsensor eine zusätzliche Antenne, die auf die Fahrbahnoberfläche gerichtet ist, aufweist. Dieses Verfahren ist jedoch mit zusätzlichen Hardwarekosten und erhöhter Komplexität bei der Signalverarbeitung verbunden und kann sich daher im Automobilbereich schwer durchsetzen.

### Offenbarung der Erfindung

**[0011]** Die vorliegende Erfindung offenbart ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Radarsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 9.

### Demgemäß ist vorgesehen:

**[0012]** Ein Verfahren zur Erkennung von Radarsensorblindheit, mit den Schritten Aussenden mindestens eines Radarsignals, Erfassen des reflektierten ausgesendeten Radarsignals, Filtern des erfassten Radarsignals mit einem Optimalfilter, wobei der Optimalfilter ausgebildet ist, sich an die spektrale Leistungsdichte der Empfangsleistungen anzupassen und hohe Empfangsleistungen in dem erfassten Radarsignal stark zu gewichten und niedrige Empfangsleistungen in dem erfassten Radarsignal schwach zu gewichten, Detektieren einer Abschattung des Radarsensors basierend auf dem gefilterten Radarsignal und mindestens einem für das gefilterte Radarsignal vorgegebenen Schwellwert.

### Ferner ist vorgesehen:

**[0013]** Ein Radarsystem mit einem Radarsensor und mit einer Steuereinrichtung, die dazu ausgebildet ist, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

### Vorteile der Erfindung

**[0014]** Die der vorliegenden Erfindung zu Grunde liegende Erkenntnisse bestehen darin, dass ein Rauschen, welches ein abgeschatteter oder blinder Radarsensor empfängt, eine in etwa konstante spektrale Leistungsdichte aufweist. Jedes andere empfangene Signal, welches durch eine Reflektion des ausge-

sendeten Radarsignals an einem Radarziel hervorgerufen wird, hat eine spektrale Leistungsdichte, die sich von der konstanten spektralen Leistungsdichte des Rauschens unterscheidet. Dies gilt sowohl für Fahrsituationen mit Vorhandensein von starken Radarzielen, als auch für ziel-arme Situationen, wobei die Empfangsleistungen Bodenreflex enthalten.

**[0015]** Die der vorliegenden Erfindung zu Grunde liegende Idee besteht nun darin, dieser Erkenntnis Rechnung zu tragen und einen Optimalfilter vorzusehen, der an der Form der spektralen Leistungsdichte angepasst ist. Durch die Signal-Anpassung wird die Empfangsleistung von einem Radarsignal nach der Filterung verstärkt und so ist der Sicherheitsabstand zur Unterscheidung zwischen einem empfangenen Rauschen und einem empfangenen reflektierten Radarsignal erhöht. Dabei nutzt der Optimalfilter die Erkenntnisse, dass die spektrale Leistungsdichte eines blinden Radarsensors sich in Form von der eines nicht-blinden Radarsensors unterscheidet. Der Optimalfilter ist somit ausgebildet, sich an der spektralen Leistungsdichte der Empfangsleistungen anzupassen, und hohe Empfangsleistungen in dem erfassten Radarsignal stark und niedrige Empfangsleistungen in dem erfassten Radarsignal schwach zu gewichten. Der Optimalfilter kann besonders gewinnbringend eingesetzt werden, wenn das empfangene Radarsignal sowieso gering ist. Es ist der Fall, wenn z.B. wenige Zielen wie Autos oder Fußgängern sich in der Umgebung des Fahrzeugs befinden und/oder der Radarsensor ungünstig hinter Radom oder Stoßfänger eingebaut ist.

**[0016]** Die Empfangsleistungen können beispielsweise nach der Filterung mit einem Schwellwert verglichen werden. Liegt die Empfangsleistungen des gefilterten empfangenen Radarsignals unterhalb von diesem vorgegebenen Schwellwert, kann davon ausgegangen werden, dass der Radarsensor tatsächlich blind ist und daher eine Abschaltung der Fahrerassistenzsysteme notwendig ist.

**[0017]** Der erfindungsgemäße Optimalfilter erhöht den Sicherheitsabstand zur Unterscheidung zwischen den blinden und den nicht-blinden Zustand eines Radarsensors. Somit wird eine vorgegebene Konfidenzschwelle für die Erkennung einer Abschattung des Radarsensors selbst in kritischen Fahrszenarien mit gegebenenfalls ungünstigem Einbau des Radarsensors, eingehalten und die Verlässlichkeit der Detektion einer Abschattung erhöht.

**[0018]** Die vorliegende Erfindung ermöglicht folglich eine automatische und kostengünstige Blindheitserkennung von Radarsensoren ohne weitere Hardware-Komponenten einsetzen zu müssen.

**[0019]** Das vorgestellte Verfahren hat einen sehr geringen Aufwand an Rechenoperationen und Speicher

und ist somit in Steuergeräten, z.B. in einem Automobil, sehr leicht einzusetzen.

**[0020]** Insgesamt führt die vorliegende Erfindung zu einer verbesserten Serientauglichkeit und Robustheit der Radarsysteme.

**[0021]** Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren.

**[0022]** In einer Ausführungsform wird beim Filtern der Optimalfilter auf einen Frequenzbereich des erfassten Radarsignals angewendet, der einem für Bodenclutter relevanten Frequenzbereich entspricht. Da Bodenclutter bei in einem Fahrzeug eingebauten Radarsensoren üblicherweise immer empfangen wird, kann basierend auf Bodenclutter eine sehr zuverlässige Erkennung einer Abschattung des Radarsensors erfolgen. Das vorgestellte Verfahren kommt dabei ferner allein mit einer horizontal gerichteten Antenne aus. Es besteht also kein Bedarf an einer zusätzlichen Elevationsantenne zur Bodencluttererkennung. Der vorgestellte Optimalfilter kann in diesem Fall besonders gewinnbringend eingesetzt werden, weil die Empfangsleistungen von Bodenclutter meistens aufgrund der starken Antennenbündelung den Rauschpegel geringfügig überschreiten. Der Optimalfilter erhöht dabei die Empfangsleistungen von Bodenclutter und begünstigt somit eine gute Trennung von Rauschen.

**[0023]** In einer Ausführungsform wird der für Bodenclutter relevante Frequenzbereich basierend auf dem Antennendiagramm und/oder der Einbauposition des Radarsensors bestimmt. Dadurch kann sehr einfach der relevante Frequenzbereich bestimmt werden. Dies wird in Zusammenhang mit **Fig. 3** näher erläutert.

**[0024]** In einer Ausführungsform werden ein erstes Radarsignal und ein zweites Radarsignal ausgesendet. Ferner weist das zweite Radarsignal eine abgesenkte Sendeleistung auf, welche nach der Zwei-Wege-Ausbreitung annähernd einer von dem Radarsensor empfangenen Rauschleistung entspricht, wobei das erste Radarsignal eine Sendeleistung wie in einem normalen Messbetrieb aufweist, welche deutlich über der Leistung des zweiten Radarsignals liegt. Durch die Verwendung von zwei Radarsignalen unterschiedlicher Leistung kann eine relative Sendeleistung berechnet werden. Dadurch wird es möglich, Schwankungen der absoluten Sendeleistung des Radarsensors auszugleichen.

**[0025]** In einer Ausführungsform wird beim Filtern des erfassten Radarsignals ein Indikatorwert aus dem Verhältnis der Summe der mit den entsprechenden Filterkoeffizienten multiplizierten Empfangsleis-

tungen des ersten Radarsignals und der mit den entsprechenden Filterkoeffizienten multiplizierten Empfangsleistungen des zweiten Radarsignals berechnet. Dies kann z.B. basierend auf folgender Formel erfolgen:

$$Ind = \frac{\sum_{i_{min}}^{i_{max}} w_i \cdot P_{1,i}^2}{\sum_{i_{min}}^{i_{max}} w_i \cdot P_{2,i}^2}$$

Formel (1)

**[0026]** Dabei kennzeichnet  $i$  die normierte Frequenz (der sogenannte Frequenz-Bin),  $w_i$  einen Filterkoeffizienten für eine vorgegebene Frequenz  $i$  und  $P_{1,i}$  die Empfangsleistung in dem empfangenen ersten Radarsignal bei der vorgegebenen Frequenz  $i$ , sowie  $P_{2,i}$  die Empfangsleistung in dem empfangenen zweiten Radarsignal bei der vorgegebenen Frequenz  $i$ .

**[0027]** Der für Bodenclutter relevante Frequenzbereich  $[i_{min}; i_{max}]$  wird aus der FMCW-Gleichung berechnet und anschließend in Zusammenhang mit Einbau-Anordnung vom Radarsensor dargestellt.

$$i = \frac{2}{c} \cdot (F \cdot r - f_0 \cdot T \cdot v_r)$$

$$= \frac{2}{c} \cdot \left( \frac{F \cdot h}{\sin \alpha} + f_0 \cdot T \cdot v_{ego} \cdot \cos \alpha \right)$$

Formel (2)

**[0028]** Dabei steht  $F$  für den Frequenzhub der Modulationsrampe,  $r$  für den radialen Abstand zum Objekt,  $f_0$  steht für die Mittenfrequenz der Modulationsrampe,  $v_r$  für die Relativgeschwindigkeit zwischen Objekt und Sensor. Ferner steht  $T$  für die Modulationsrampendauer und  $h$  für eine Einbauhöhe des Radarsensors. Schließlich steht  $\alpha$  für den Aspekt

**[0029]** Winkel zum Bodenclutter und  $v_{ego}$  für die Ego-geschwindigkeit.

**[0030]** Der Zusammenhang von Bodenclutter mit Einbau-Anordnung vom Radarsensor wird in **Fig. 3** näher erläutert.

**[0031]** Die normierten Filterkoeffizienten in Formel (1) entsprechen dabei der spektralen Leistungsdichte des empfangenen ersten Radarsignals gemäß folgender Formel:

$$w_i = \frac{B_{1,i}}{\sum_{i_{min}}^{i_{max}} B_{1,i}}$$

Formel (3)

**[0032]** Koeffizienten des Optimalfilters werden in einer Ausführungsform basierend auf dem erfassten Radarsignal berechnet. Wird der Optimalfilter anhand von Messdaten entworfen hat dies den Vorteil, dass z.B. eine Sensor-Dejustage oder einen Gierwinkel z.B. des Fahrzeugs, auf welchem der Radarsensor montiert ist, toleriert bzw. ausgeglichen werden kann. Dabei wird entweder die gemittelte spektrale Leistungsdichte aus den vorherigen Messzyklen oder die spektrale Leistungsdichte aus dem aktuellen Messzyklus herangezogen.

**[0033]** In einer anderen Ausführungsform werden Koeffizienten des Optimalfilters basierend auf einem Modell des Radarsensors und/oder empirischen Messwerten der spektralen Leistungsdichte des Radarsensors berechnet. Dies ermöglicht es, die Filterkoeffizienten vorzuberechnen und reduziert den Rechenaufwand für die Durchführung des Verfahrens.

**[0034]** In einer Ausführungsform wird beim Detektieren einer Abschattung der Indikatorwert mit dem vorgegebenen Schwellwert verglichen. Ferner wird eine Abschattung des Radarsensors detektiert, wenn der Indikatorwert kleiner ist, als der vorgegebene Schwellwert. Dies ermöglicht eine sehr einfache Erkennung einer Abschattung des Radarsensors.

**[0035]** In einer Ausführungsform ist die Steuereinrichtung dazu ausgebildet, den Radarsensor derart anzusteuern, dass dieser ein FMCW-Radarsignal aussendet. FMCW steht im Rahmen dieser Anmeldung für ein frequenzmoduliertes Dauerstrichradar.

**[0036]** Die obigen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich, sofern sinnvoll, beliebig miteinander kombinieren. Weitere mögliche Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmalen der Erfindung. Insbesondere wird dabei der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der vorliegenden Erfindung hinzufügen.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0037]** Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnungen angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen dabei:

**[0038]** **Fig. 1** ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

**[0039]** **Fig. 2** ein Blockschaltbild einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Radarsystems;

**[0040]** Fig. 3 eine Diagramm zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Einbau-Anordnung von einem Radarsensor und Bodenclutter;

**[0041]** Fig. 4a ein vertikales Antennendiagramm eines Radarsensors;

**[0042]** Fig. 4b einen Ausschnitt des vertikalen Antennendiagramms der Fig. 4a;

**[0043]** Fig. 5 ein Diagramm zur Veranschaulichung der Leistungsdichte von Bodenclutter basierend auf einem Modell eines Radarsensors;

**[0044]** Fig. 6 ein Diagramm zur Veranschaulichung der Leistungsdichte von Rauschen und Bodenclutter basierend auf Messdaten;

**[0045]** Fig. 7 ein Diagramm zur Darstellung des Leistungsverhältnisses eines ungefilterten Radarsignals; und

**[0046]** Fig. 8 ein Diagramm zur Darstellung des Leistungsverhältnisses eines gefilterten Radarsignals gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0047]** In allen Figuren sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente und Vorrichtungen – sofern nichts anderes angegeben ist – mit denselben Bezugszeichen versehen worden.

#### Ausführungsformen der Erfindung

**[0048]** Fig. 1 zeigt ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betrieb eines Radarsensors **1**.

**[0049]** In einem ersten Schritt S1 wird mindestens ein Radarsignal **2-1**, **2-2** ausgesendet. Das reflektierte Radarsignal **3-1**, **3-2** wird in einem Schritt S2 erfasst.

**[0050]** Ein dritter Schritt S3 sieht das Filtern des erfassten Radarsignals **3-1**, **3-2** mit einem Optimalfilter **5** vor.

**[0051]** Der Optimalfilter **5** gewichtet dabei hohe Empfangsleistungen in dem erfassten Radarsignal **3-1**, **3-2** stärker als niedrige Empfangsleistungen in dem erfassten Radarsignal **3-1**, **3-2**.

**[0052]** Schließlich wird in Schritt S4 eine Abschätzung des Radarsensors **1** basierend auf dem gefilterten Radarsignal **4** und mindestens einem für das gefilterte Radarsignal **4** vorgegebenen Schwellwert **6** detektiert.

**[0053]** Wird eine Abschätzung bzw. Blindheit des Radarsensors **1** detektiert, kann diese Information **12** z.B. an elektrische Systeme weitergeleitet werden,

die die Daten des Radarsensors **1** für ihre Funktion benötigen. Solche Systeme können daraufhin ihre Funktion in eine Rückfallebene schalten, welche ohne die Daten des Radarsensors **1** betrieben werden kann, oder ihre Funktion deaktivieren.

**[0054]** In einer Ausführungsform wird der Optimalfilter **5** auf einen Frequenzbereich des erfassten Radarsignals **3-1**, **3-2** angewendet, der einem für Bodenclutter relevanten Frequenzbereich entspricht. Der für Bodenclutter relevante Frequenzbereich kann z.B. anhand des Antennendiagramms und der Einbauposition des Radarsensors **1** berechnet werden.

**[0055]** In einer weiteren Ausführungsform werden ein erstes Radarsignal **2-1** und ein zweites Radarsignal **2-2** ausgesendet. Das Verfahren wird daraufhin mit zwei empfangenen Radarsignalen **3-1**, **3-2** weitergeführt.

**[0056]** Dabei weist das zweite Radarsignal **2-2** eine abgesenkte Sendeleistung auf, welche nach der Zwei-Wege-Ausbreitung annähernd einer von dem Radarsensor empfangenen Rauschleistung entspricht. Das erste Radarsignal **2-1** weist eine Sendeleistung wie in einem normalen Messbetrieb auf, welche deutlich über der Leistung des zweiten Radarsignals **2-2** liegt. Dies ermöglicht es, Schwankungen der absoluten Leistung des Radarsensors **1** auszugleichen, wenn beim Filtern der erfassten Radarsignale **3-1**, **3-2** ein Indikatorwert **8** aus dem Verhältnis der Summe der mit den entsprechenden Filterkoeffizienten  $w_i$  multiplizierten Empfangsleistungen des ersten Radarsignals **3-1** und der mit den entsprechenden Filterkoeffizienten  $w_i$  multiplizierten Empfangsleistungen des zweiten Radarsignals **3-2** berechnet wird.

**[0057]** Zum Detektieren einer Abschattung kann dann der Indikatorwert **8** mit dem vorgegebenen Schwellwert **6** verglichen werden. Dabei wird eine Abschattung des Radarsensors **1** detektiert, wenn der Indikatorwert **8** kleiner ist, als der vorgegebene Schwellwert **6**. Der vorgegebene Schwellwert **6** kann z.B. empirisch bestimmt werden.

**[0058]** In einer Ausführungsform können die Koeffizienten  $w_i$  des Optimalfilters **5** basierend auf dem erfassten Radarsignal **3-1**, **3-2**, sozusagen „on-line“ berechnet werden. Alternativ können die Koeffizienten  $w_i$  des Optimalfilters **5** basierend auf einem Modell des Radarsensors **1** und/oder empirischen Messwerten berechnet werden. Zur Berechnung der Koeffizienten  $w_i$  kann z.B. das empfangene Radarsignal **3-1** vom Zeitbereich mittels einer Fast-Fourier-Transformation in den Frequenzbereich überführt werden. Aus dem Frequenzspektrum des im Frequenzbereich dargestellten Signals können dann die Filterkoeffizienten bestimmt werden.

**[0059]** Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Radarsystems **11**.

**[0060]** Das Radarsystem **11** weist einen Radarsensor **1** auf, der ein oder zwei Radarsignale **2-1**, **2-2** ausstrahlt und ein oder zwei reflektierte Radarsignale **3-1**, **3-2** empfängt. In Fig. 2 dargestellt ist, dass der Radarsensor **1** zwei Radarsignale **2-1** und **2-2** aussendet. Die Radarsignale **2-1**, **2-2** können dabei z.B. von einem vorausfahrenden Fahrzeug **F** reflektiert werden, wenn das Radarsystem **11** in einem Fahrzeug eingebaut ist. Der Radarsensor **1** ist mit einer Steuereinrichtung **10** verbunden, welcher er die zwei empfangenen reflektierten Radarsignale **3-1**, **3-2** übermittelt.

**[0061]** Die Steuereinrichtung **10** weist eine Koeffizientenberechnungseinrichtung **10-1** auf, die dazu ausgebildet ist, aus den empfangenen Radarsignalen **3-1**, **3-2** die Filterkoeffizienten  $w_i$  für den Optimalfilter **5** zu berechnen. In dem Optimalfilter **5** werden die Radarsignale **3-1**, **3-2** in einer Multiplikationseinheit **5-1** mit den bestimmten Filterkoeffizienten  $w_i$  multipliziert, also gefiltert und als gefilterte Radarsignale **4-1**, **4-2** an eine Summationseinheit **10-2** ausgegeben.

**[0062]** Die Summationseinheit **10-1** summiert jeweils getrennt die gefilterten Radarsignale **4-1**, **4-2** auf und bildet aus dem Verhältnis der summierten Radarsignale **4-1**, **4-2** einen Indikatorwert **8**, der daraufhin in einer Vergleichseinheit **10-3** mit einem Schwellwert **6** verglichen wird. Ist der Indikatorwert **8** kleiner, als der Schwellwert, wird eine Information **12** ausgegeben, die anzeigt, dass der Radarsensor **1** blind ist.

**[0063]** Fig. 3 zeigt, wie Bodenclutter durch Abstrahlen eines im Fahrzeug eingebauten Radarsensors entsteht. Hierbei wird der geometrische Zusammenhang zwischen Sensoreinbauhöhe  $h$ , Aspekt-Winkel von der Bodenoberfläche  $\alpha$ , unter welchem Bodenclutter zu dem Radarsensor **1** zurückreflektiert wird, und radialem Abstand  $r$  verdeutlicht. Da die Einbauhöhe des Radarsensors bekannt ist, kann der Winkel  $\alpha$  basierend auf der Höhe  $h$  und der Entfernung  $r$  berechnet werden.

**[0064]** Bodenclutter kommt dadurch zustande, dass die Leistung durch den Radarsensor **1** in Richtung Boden abgestrahlt wird. Dabei genügt bereits eine normale (horizontal gerichtete) Antenne, um Bodenclutter hervorzurufen. Hiermit wird die Sendeleistung durch das vertikale Antennendiagramm bestimmt. Dies wird in Zusammenhang mit Fig. 4 näher erläutert.

**[0065]** Fig. 4a zeigt ein vertikales Antennendiagramm des Radarsignals **2-1** vom Radarsensor **1**. Die Antenne ist horizontal gerichtet und der negative

Winkelbereich entspricht den nach unten abgestrahlten Signalbestandteilen in Fig. 3. Das Antennendiagramm weist eine Hauptkeule bei einem Winkel von  $0^\circ$  und rechts und links davon jeweils eine Nebenkeule auf. Für Bodenclutter sind dabei aber nur die im negativen Winkelbereich, also nach unten abgestrahlten Signalbestandteile relevant.

**[0066]** Fig. 4b stellt neben dem eigentlichen Antennendiagramm ein vergrößerter Ausschnitt des Antennendiagramms dar. Dabei sind die Hauptkeule und die erste Nebenkeule in dem negativen Winkelbereich eingezeichnet. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Sendeleistungen sind die Hauptkeule und gegebenenfalls die erste Nebenkeule für Bodenclutter verantwortlich. In diesem schmalen Winkelbereich gilt die Reflektivität des Bodens als konstant.

**[0067]** Die Empfangsleistung  $P$  von Bodenclutter kann nach der Radargleichung aus Sendeleistung  $S$ , Einbauhöhe  $h$  und Aspekt-Winkel  $\alpha$  berechnet werden. Die Empfangsleistung wird in einer Ausführungsform nach FMCW-Gleichung auf die Frequenz bezogen. Die resultierte spektrale Leistungsdichte ist in Fig. 5 demonstriert.

**[0068]** Der für Bodenclutter relevante Frequenzbereich, wo das Modell die Messdaten gut annähert, ist in Fig. 5 gekennzeichnet. Das von Bodenclutter zurückgestrahlte Radarsignal **3-1**, **3-2** weist in etwa einen Verlauf gemäß dem gekennzeichneten Ausschnitt der Fig. 5 auf. Dies wird in Zusammenhang mit Fig. 6 näher erläutert.

**[0069]** Fig. 6 zeigt die Leistungsdichte von Rauschen und Bodenclutter basierend auf Messsignalen. In Fig. 6 oben ist der Frequenzverlauf eines empfangenen Radarsignals **3-1** in einem Messzyklus demonstrativ dargestellt. Der Frequenzverlauf eines durch Bodenclutter reflektiertes Radarsignals **3-1** rechts wird gegenüber den Frequenzverlauf von Rauschen links dargestellt. Es ist bereits aus Messdaten in einem Messzyklus zu erkennen, dass Rauschen ein über den Frequenzbereich in etwa gleichverteiltes Spektrum aufweist. Das Spektrum des empfangenen durch Bodenclutter reflektierten Radarsignals **3-1**, **3-2** weist dagegen eine Anhebung in dem gekennzeichneten Bereich nach Formel (2) auf. Der Verlauf in diesem Bereich entspricht annähernd dem Verlauf mittels des theoretischen Modells in Fig. 5.

**[0070]** Der charakteristische Unterschied zwischen Rauschen und Bodenclutter wird in Fig. 6 unten noch deutlicher dargestellt. Hier ist jeweils die gemittelte spektrale Leistungsdichte über mehrere Messzyklen eingezeichnet. Dabei wird noch deutlicher, dass das Spektrum des empfangenen durch Bodenclutter reflektierten Radarsignals **3-1**, **3-2** sich durch eine Anhebung in dem gekennzeichneten Frequenzbereich

(Formel (2)) von dem gleichverteilten Signal des Rauschens unterscheidet.

**[0071]** Bodenclutter kann also z.B. in einem Fahrzeug als geeigneter Indikator dafür genutzt werden, dass der Radarsensor **1** funktionsfähig (nicht-blind) ist, auch, wenn sich vor dem Radarsensor **1** bzw. dem jeweiligen Fahrzeug kaum reflektierendes Objekt befindet.

**[0072]** Fig. 7 zeigt ein Diagramm zur Darstellung der Leistungsdichte eines ungefilterten Radarsignals in Form eines Histogramms.

**[0073]** Für die Aufnahme der in Fig. 7 und Fig. 8 dargestellten Werte wurde ein Radarsensor **1** in einem Fahrzeug verbaut. Der Sensor wird bewusst ungünstig (d.h. mit einer hohen Einbauhöhe und hinter einem lackierten Radom) verbaut. Die Messungen wurden auf einer kritischen Testfläche durchgeführt, auf welcher es keine Radar-Ziele außer dem Boden gab.

**[0074]** Schraffiert dargestellt in Fig. 7 ist das Histogramm eines blinden bzw. abgeschatteten Radarsensors **1**. Durch nicht-schraffierte Balken dargestellt ist das Histogramm eines nicht abgeschatteten Radarsensors **1**. Dabei ist das Verhältnis von integrierter Empfangsleistung des reflektierten Radarsignals **3-1** und **3-2** ohne eine Behandlung des Signals gemäß dem vorliegenden Verfahren eingezeichnet.

**[0075]** In Fig. 7 ist zu erkennen, dass der Mittelwert des Histogramms des blinden Radarsensors **1** und der Mittelwert des Histogramms des nicht blinden Radarsensors **1** sehr nahe beieinander liegen.

**[0076]** In Fig. 7 ist zu erkennen, dass sich das Histogramm des nicht-blinden Radarsensors **1** und des blinden Radarsensors **1** überschneiden. Ohne eine Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann also keine sichere Trennung zwischen dem nicht-blinden und dem blinden Radarsensor **1** durchgeführt werden.

**[0077]** Wird das erfindungsgemäße Verfahren angewandt, ergibt sich das Diagramm der Fig. 8. Es ist zu erkennen, dass das Histogramm des nicht-blinden Radarsensors **1** durch die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens nach rechts verschoben wurde. Das Histogramm des nicht-blinden Radarsensors **1** weist nun einen Mittelwert bei 8,3dB auf. Dieser ist 1,5dB höher als in Fig. 7. Das vorliegende Verfahren ermöglicht folglich, eine klare Trennung zwischen einem blinden Radarsensors **1** und einem nicht-blinden Radarsensor **1** durchzuführen.

**ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 2013/0015999 A1 [0010]



### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung von Radarsensorblindheit eines Radarsensors (1), mit den Schritten:

Aussenden (S1) mindestens eines Radarsignals (2-1, 2-2);

Erfassen (S2) des reflektierten ausgesendeten Radarsignals (3-1, 3-2);

Filtern (S3) des erfassten Radarsignals (3-1, 3-2) mit einem Optimalfilter (5), wobei der Optimalfilter (5) ausgebildet ist, sich an die spektrale Leistungsdichte der Empfangsleistungen anzupassen und hohe Empfangsleistungen in dem erfassten Radarsignal (3-1, 3-2) stark zu gewichten und niedrige Empfangsleistungen in dem erfassten Radarsignal (3-1, 3-2) schwach zu gewichten;

Detektieren (S4) einer Abschattung des Radarsensors (1) basierend auf dem gefilterten Radarsignal (4-1, 4-2) und mindestens einem für das gefilterte Radarsignal (4-1, 4-2) vorgegebenen Schwellwert (6).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei beim Filtern der Optimalfilter (5) auf einen Frequenzbereich des erfassten Radarsignals (3-1, 3-2) angewendet wird, der einem für Bodenclutter relevanten Frequenzbereich entspricht.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der für Bodenclutter relevanten Frequenzbereich basierend auf dem Antennendiagramm und/oder der Einbauposition des Radarsensors (1) bestimmt wird.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 1 und 2, wobei ein erstes Radarsignal (2-1) und ein zweites Radarsignal (2-2) ausgesendet werden; und wobei das zweite Radarsignal (2-2) eine abgesenkte Leistung aufweist, welche nach der Zwei-Wege-Ausbreitung annähernd einer von dem Radarsensor (1) empfangenen Rauschleistung entspricht, wobei das erste Radarsignal (2-1) eine Leistung wie in einem normalen Messbetrieb aufweist, welche über der Leistung des zweiten Radarsignals (2-2) liegt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei beim Filtern des erfassten Radarsignals (3-1, 3-2) ein Indikatorwert (8) aus dem Verhältnis der Summe der mit den entsprechenden Filterkoeffizienten multiplizierten Empfangsleistungen des ersten Radarsignals (2-1) und der mit den entsprechenden Filterkoeffizienten multiplizierten Empfangsleistungen des zweiten Radarsignals (2-2) berechnet wird.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Koeffizienten des Optimalfilters (5) basierend auf dem erfassten Radarsignal (3-1, 3-2) berechnet werden; und/oder

wobei die Koeffizienten des Optimalfilters (5) basierend auf einem Modell des Radarsensors (1) und/oder empirischen Messwerten berechnet werden.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das ausgesendete Radarsignal (2) als FMCW-Radarsignal ausgesendet wird.

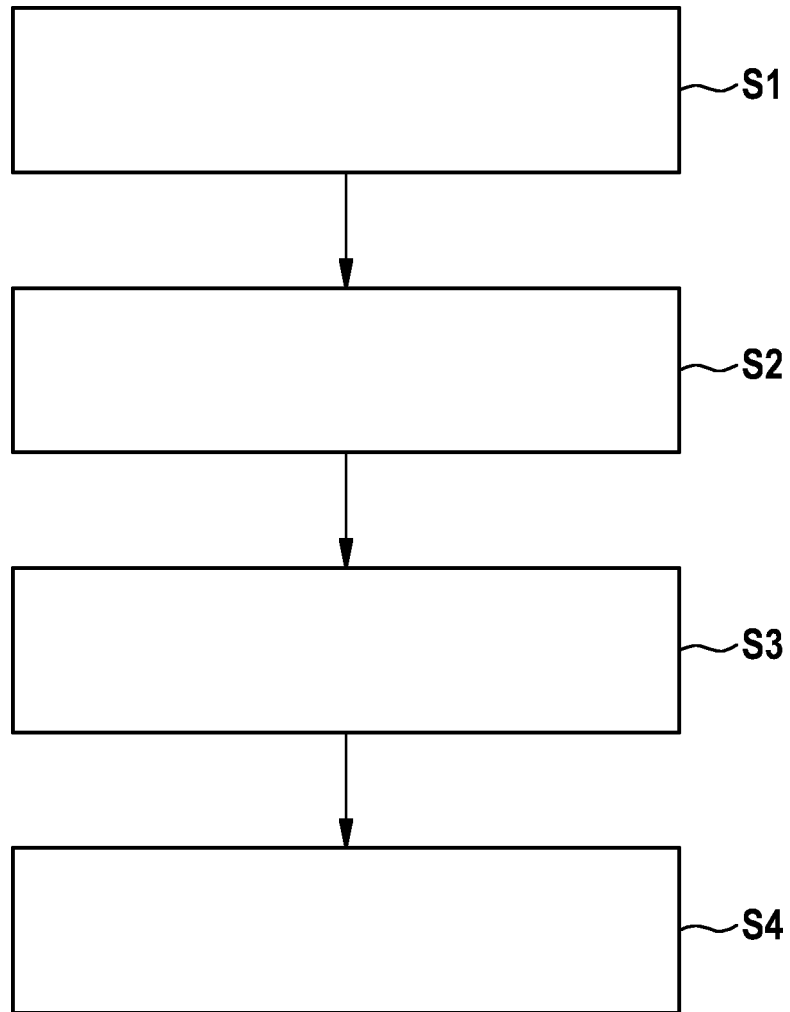
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei ein Frequenzbereich, auf den der Optimalfilter (5) angewendet wird, basierend auf der FMCW-Gleichung berechnet wird; und wobei die Koeffizienten des Optimalfilters (5) basierend auf einem Modell des Radarsensors (1) und/oder empirischen Messwerten berechnet werden.

9. Radarsystem (11) mit einem Radarsensor (1); und mit einer Steuereinrichtung (10), die dazu ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 durchzuführen.

10. Radarsystem nach Anspruch 9 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (10) dazu ausgebildet ist, den Radarsensor (1) derart anzusteuern, dass dieser ein FMCW-Radarsignal (2) aussendet.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



**Fig. 1**



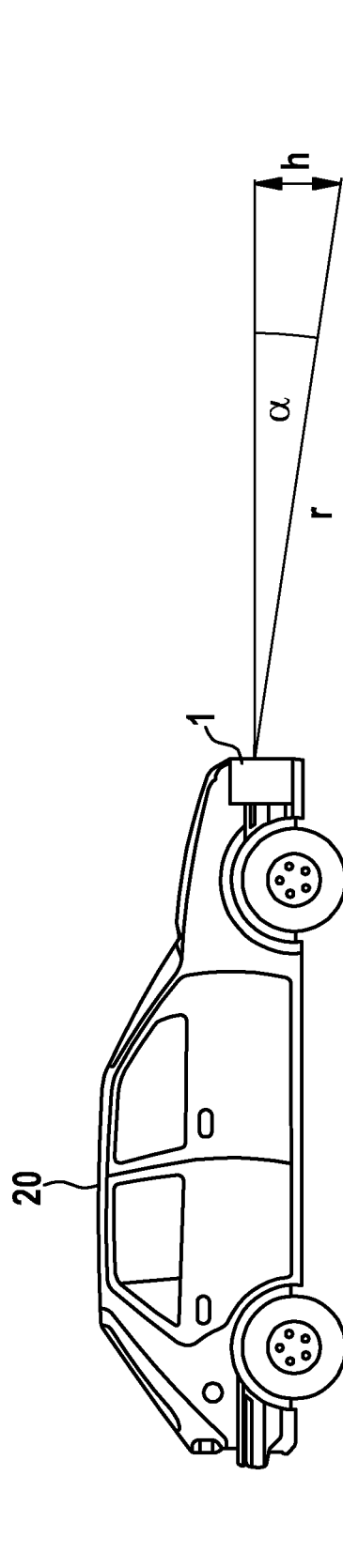


Fig. 3

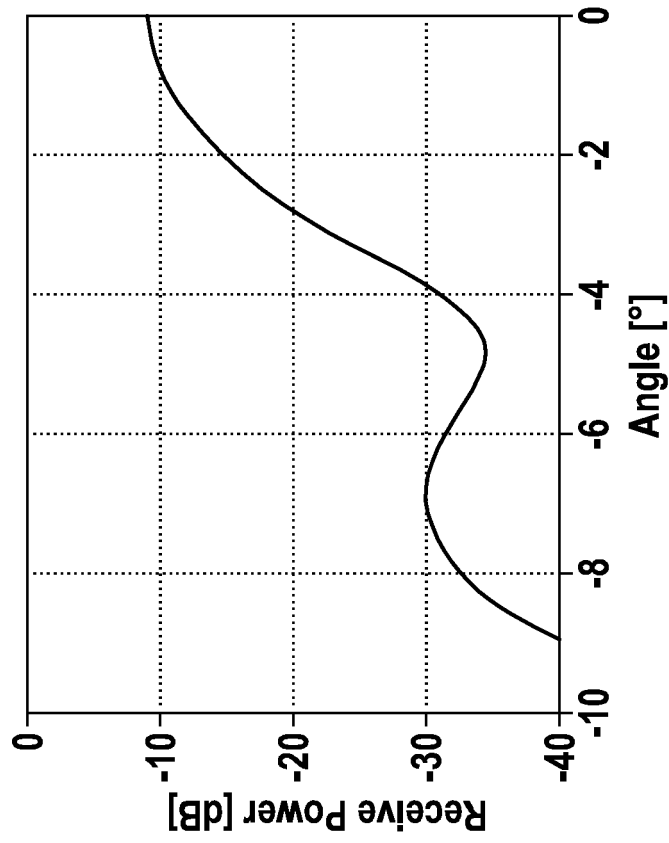


Fig. 4b

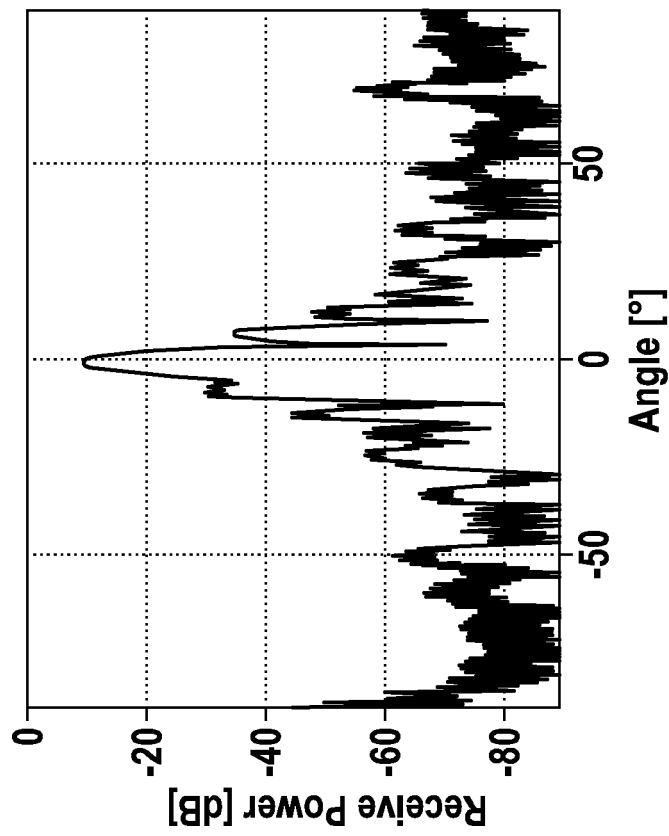


Fig. 4a

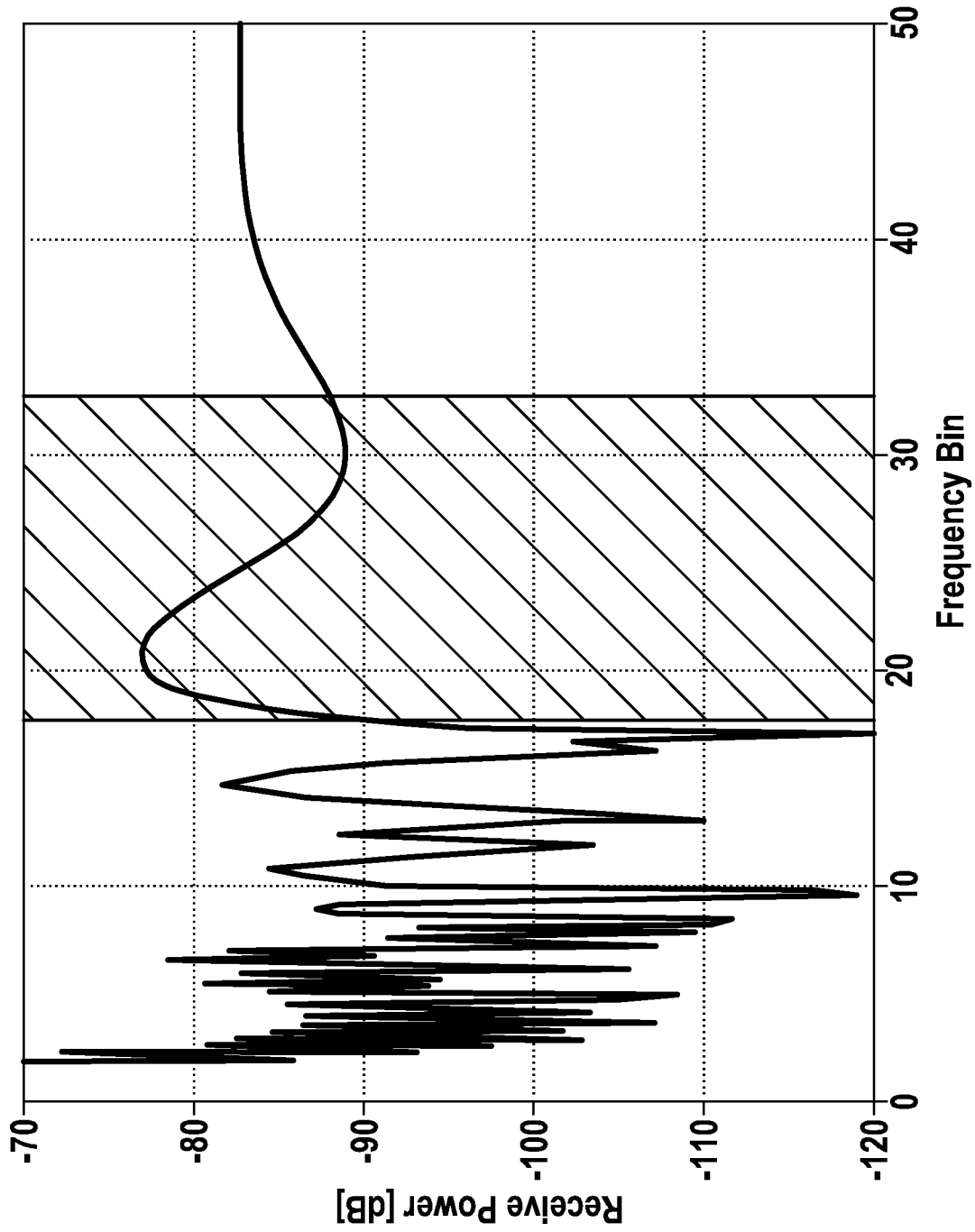


Fig. 5

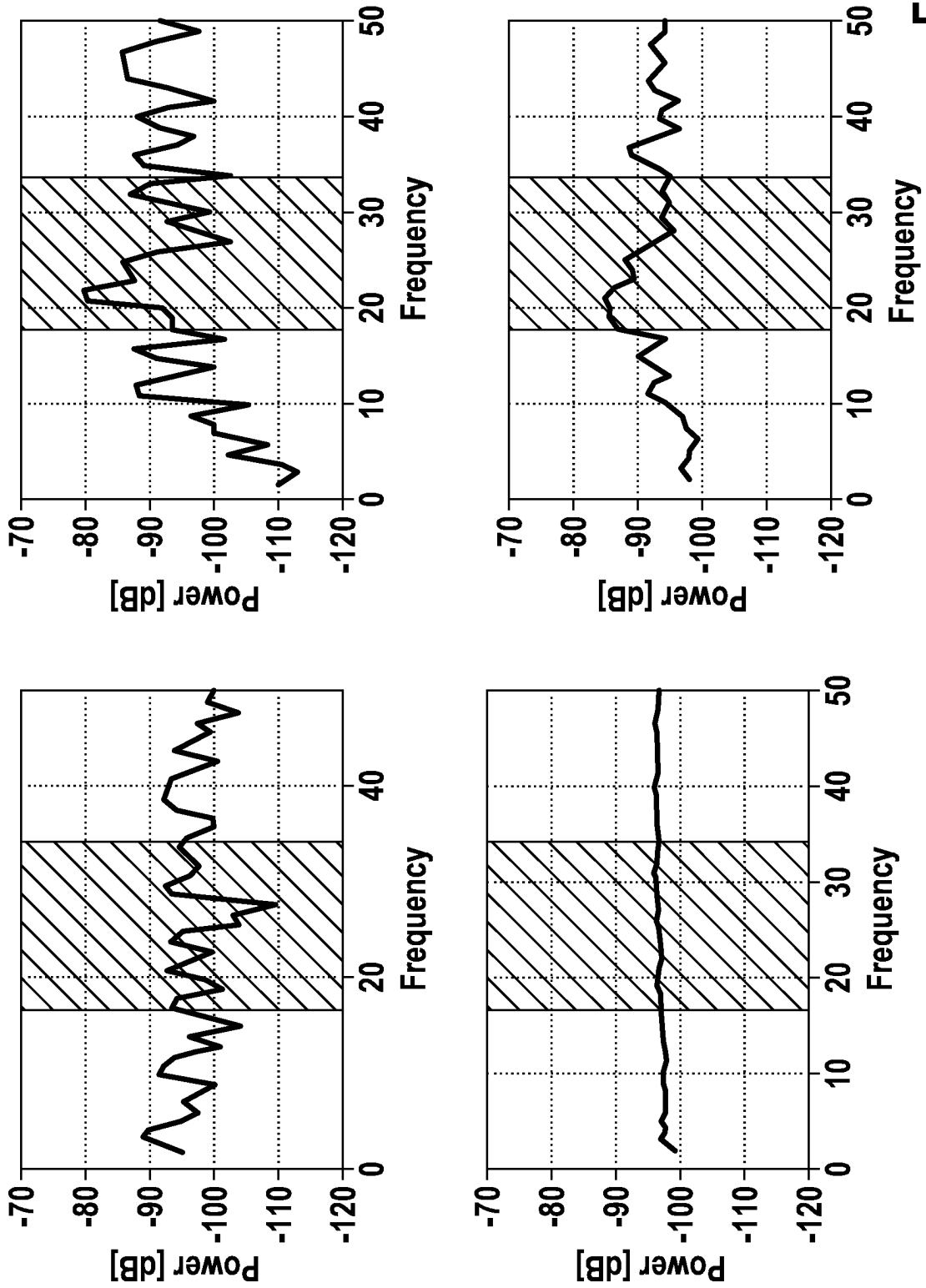
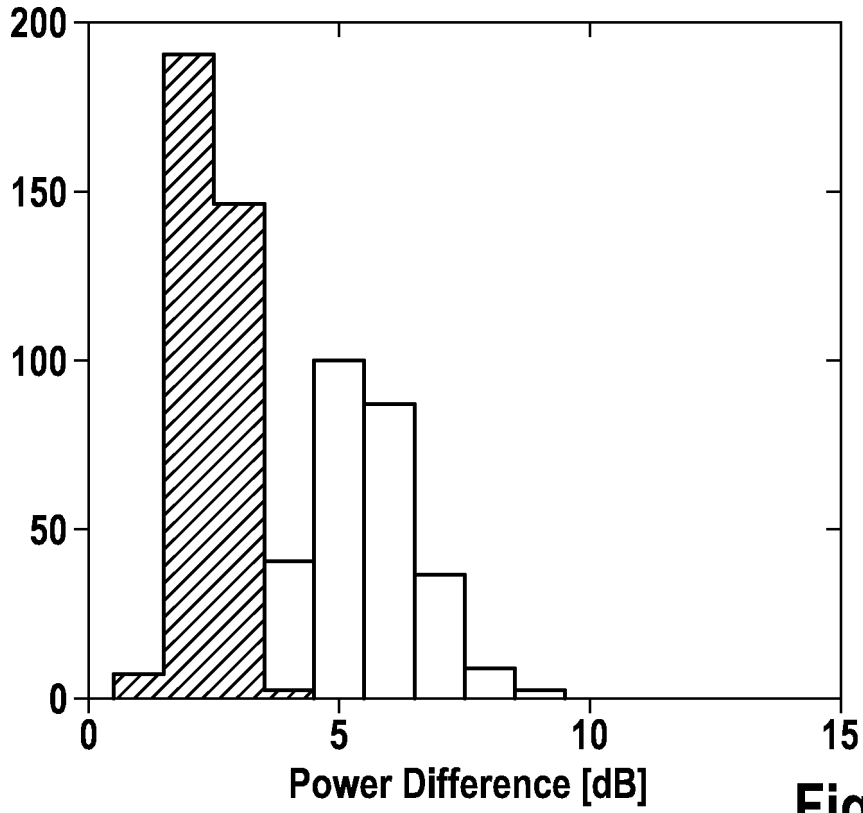
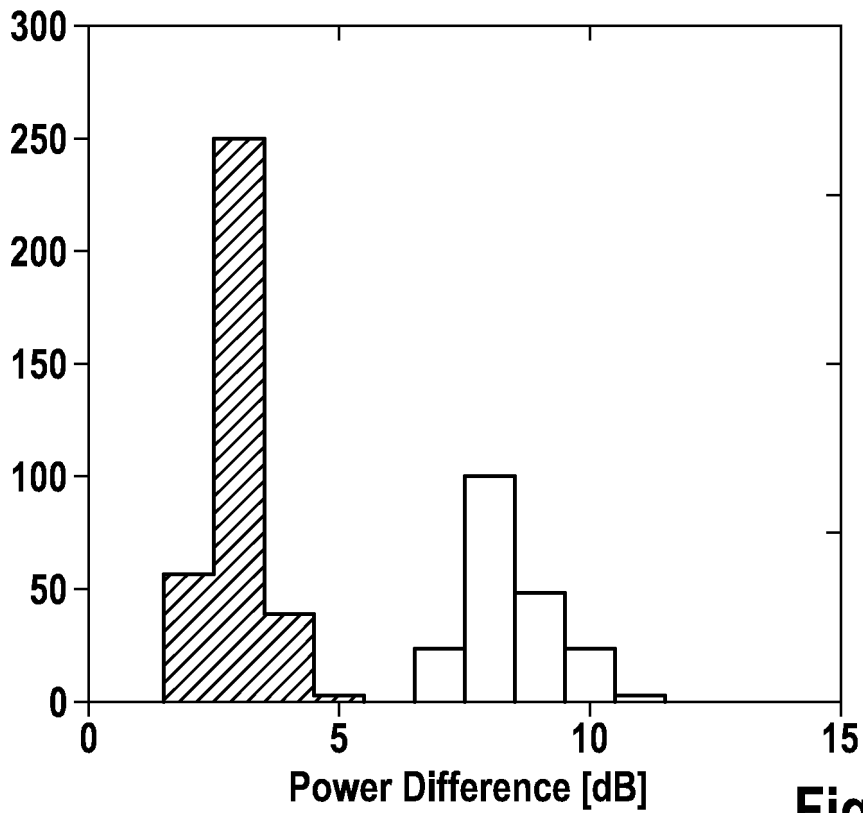


Fig. 6



**Fig. 7**



**Fig. 8**