



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 16 687 T2** 2004.04.15

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 867 731 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 16 687.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 400 681.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **24.03.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **30.09.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **30.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.04.2004**

(51) Int Cl.7: **G01S 13/34**

(30) Unionspriorität:
9703841 28.03.1997 FR

(73) Patentinhaber:
Thales, Paris, FR

(74) Vertreter:
Prinz und Partner GbR, 81241 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:
BE, DE, ES, FR, GB, IT

(72) Erfinder:
**Cornic, Pascal, 94117 Arcueil Cedex, FR; Artis,
Jean-Paul, 94117 Arcueil Cedex, FR**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Entfernungsmehrdeutigkeitsauflösung, insbesondere für Frequenzsprung-Radar**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Beseitigen der Entfernungsmehrdeutigkeit und findet insbesondere auf ein Radar mit kontinuierlichem Signal und Frequenzsprung Anwendung. Sie wird beispielsweise auf Kraftfahrzeugradare und allgemeiner auf Frequenzsprungradare angewendet, die einen hohen Erfassungswirkungsgrad haben sollen, während sie gleichzeitig die Vorgabe einer preiswerten Herstellung erfüllen.

[0002] Ein Radar mit kontinuierlichem Signal und Frequenzsprung kann auf mehreren, beispielsweise vier, Sendefrequenzen senden. Mit einem derartigen Radar kann beispielsweise ein Kraftfahrzeug für eine Funktion vom Typ ACC, nach dem angelsächsischen Begriff "Automotive Cruise Control", ausgerüstet sein. Ein Radar dieses Typs ist dazu vorgesehen, die Geschwindigkeitsregelung von Kraftfahrzeugen zu ermöglichen. Es erfasst und lokalisiert das nächste Fahrzeug, das sich auf der Richtungsfahrbahn des Trägerfahrzeugs befindet. Die Informationen, insbesondere die Entfernungsinformationen, werden beispielsweise an einen Rechner übertragen, der über geeignete Schnittstellen auf die Steuerung des Motors und der Bremsen derart einwirkt, dass der Abstand, der das Trägerfahrzeug vom vorausfahrenden Fahrzeug trennt, reguliert wird.

[0003] Wenn davon ausgegangen wird, dass es für eine gegebene Sendefrequenz erforderlich ist, dass das Radar während dieses Sendens empfängt, besteht ein zu lösendes Problem darin, sicherzustellen, dass ein empfangenes Signal tatsächlich dieser gegebenen Sendefrequenz entspricht. Dieses zu lösende Problem ist mit der Auflösung der Echos der zweiten und einer höheren Spur eines Impulsradars vergleichbar. Im Fall einer Anwendung auf ein Radar für Kraftfahrzeuge ist dieses Problem insofern von hoher Bedeutung, als die potenziellen Ziele des Radars sehr unterschiedliche Radarrückstrahlflächen aufweisen. Es muss nämlich vermieden werden, dass beispielsweise ein Lastkraftwagen, der eine sehr große Radarrückstrahlfläche aufweist, jedoch vom Trägerfahrzeug sehr weit entfernt ist, wie ein sehr naher Kleinwagen mit kleiner Radarrückstrahlfläche gesehen wird.

[0004] Es könnte ein Verfahren benutzt werden, um dieses Problem zu lösen. Dieses Verfahren nutzt die Wiederholungsperiode der Frequenzrahmen.

[0005] Um wirksam zu sein, erfordert dieses Verfahren, die Wiederholungsperiode in erheblichem Maße zu verändern, was automatisch niedrige Formfaktoren der gesendeten Signale nach sich zieht. Nun bedeutet aber ein niedriger Formfaktor bei einer gegebenen mittleren Leistung, dass eine hohe Spitzenleistung ausgestrahlt werden muss. Dies ist insbesondere bei Kraftfahrzeugradarvorrichtungen, die für die Geschwindigkeitsregelung vorgesehen sind, wo beispielsweise einerseits versucht wird, wegen der Interferenzbelastung zwischen Radarvorrichtungen ständig und so lange wie möglich zu senden, und wo andererseits die Anwendungsperspektive selbst der so genannten MMIC-Technologie starken Spitzenleistungen entgegensteht, nicht möglich.

[0006] Das Ziel der Erfindung besteht insbesondere darin, ein Verfahren zum Beseitigen der Entfernungsmehrdeutigkeit zu ermöglichen, das keine Erhöhung der gesendeten Spitzenleistung erfordert, während es gleichzeitig preisgünstig umzusetzen ist, und das folglich für eine Anwendung zur Geschwindigkeitsregelung von Kraftfahrzeugen gut geeignet ist. Dazu hat die Erfindung ein Verfahren zum Beseitigen der Entfernungsmehrdeutigkeit eines Radars, wie im Anspruch 1 definiert, zum Gegenstand.

[0007] Außerdem hat die Erfindung eine Vorrichtung für die Ausführung des vorerwähnten Verfahrens, wie im Anspruch 12 definiert, zum Gegenstand.

[0008] Die wichtigsten Vorteile der Erfindung sind, dass sie eine hohe Zuverlässigkeit der geschätzten Entfernungen ermöglicht, dass sie gut an digitale Empfänger angepasst werden kann, dass sie Entfernungsmessungen ermöglicht, die gegenüber Frequenzdriften des Basisoszillators und gegenüber Rauschen des Empfängers wenig empfindlich sind, dass sie an verschiedene Radartypen angepasst werden kann und dass sie einfach umzusetzen ist.

[0009] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden anhand der nachfolgenden Beschreibung deutlich, die auf die beigefügte Zeichnung Bezug nimmt. Es zeigen:

[0010] **Fig. 1a** und **1b** jeweils Beispiele für Signalformen beim Senden und Empfangen eines Radars, das die Erfindung verwendet;

[0011] **Fig. 2** als Beispiel die Entfernung, die von drei Schätzfunktionen ausgehend ermittelt worden ist;

[0012] **Fig. 3** ein Beispiel für den Verlauf einer Funktion zur Validierung der Entfernung, die ausgehend von den drei vorerwähnten Funktionen geschätzt worden ist;

[0013] **Fig. 4** ein mögliches Ausführungsbeispiel für die Umsetzung des Verfahrens gemäß der Erfindung.

[0014] Die **Fig. 1a** und **1b** zeigen jeweils in Abhängigkeit von der Zeit Beispiele für die Signalform **1** beim Senden und für die Signalform **2** beim Empfangen eines Radars mit kontinuierlichem Signal und Frequenzsprung in einem Fall, in dem vier Frequenzen F_0 , F_1 , F_2 , F_3 Frequenzen benutzt werden, der als Beispiel gegeben ist, um die Erfindung darzulegen. Das Radar sendet für jede Wiederholung der Radarverarbeitung nacheinander während Dauern von beispielweise gleich $2,5 \mu\text{s}$ ein Signal mit der ersten Frequenz F_1 , anschließend ein Signal mit der zweiten Frequenz F_2 , dann ein Signal mit der dritten Frequenz F_3 , dann ein Signal mit der vier-

ten Frequenz F_4 , danach erneut, für die folgende Wiederholung, ein Signal mit der ersten Frequenz F_1 und so fort. Eine Wiederholung, die aus dem Senden der vier aufeinander folgenden Frequenzen F_0, F_1, F_2, F_3 besteht, wird auch Rahmen genannt. Allgemeiner ist ein Rahmen ein Sendemotiv, das periodisch wiederholt wird. Die Erfindung ist zwar für eine Anwendung mit einem Rahmen mit vier Frequenzen beschrieben, jedoch kann sie für eine beliebige Frequenzanzahl größer oder gleich zwei angewendet werden. Beim Empfang ist der Empfänger während des Sendens jeder Frequenz F_0, F_1, F_2, F_3 während einer Totzeit von beispielsweise gleich $1 \mu\text{s}$ zu Beginn des Sendens der Frequenz geschlossen, während er während des folgenden Sendens, beispielsweise während $1,5 \mu\text{s}$, geöffnet ist. Die Totzeit ist insbesondere dazu vorgesehen, die Antwort des Echosignals bei einer Frequenz F_i im Empfangskanal der folgenden Frequenz F_{i+1} innerhalb der Reichweite des Radars von beispielsweise 150 bis 200 m zu minimieren.

[0015] Die vier Frequenzen F_0, F_1, F_2, F_3 können gemäß folgenden Relationen geschrieben werden:

$$F_0 = F + k_{0u} \quad (1)$$

$$F_1 = F + k_{1u} \quad (2)$$

$$F_2 = F + k_{2u} \quad (3)$$

$$F_3 = F + k_{3u} \quad (4)$$

wobei F eine beliebige Frequenz im Nutzband des Radars ist, beispielsweise von 76 bis 77 GHz für ein Kraftfahrzeugradar, die Koeffizienten k_i vier verschiedene ganze Zahlen sind und u eine gegebene Frequenz repräsentiert.

[0016] Solange sich das Radarziel in der Reichweite des Radars, nämlich beispielsweise in einem Umkreis von etwa 150 bis 200 Metern, befindet, gibt es keine oder wenige Modulationsübergriffe oder Kreuzmodulationen, die zwischen den Signalen verschiedener Frequenzen F_i, F_j möglich sind. Daraus können dann die empfangenen Signale r_0, r_1, r_2, r_3 nach der Demodulation in den verschiedenen Empfangskanälen, die jeweils der ersten, zweiten, dritten und vierten Empfangsfrequenz entsprechen, entsprechend den folgenden Relationen abgeleitet werden:

$$r_0 = e^{4\pi j \frac{d}{c} F} \cdot e^{4\pi j \frac{d}{c} k_0 u} \quad (5)$$

$$r_1 = e^{4\pi j \frac{d}{c} F} \cdot e^{4\pi j \frac{d}{c} k_1 u} \quad (6)$$

$$r_2 = e^{4\pi j \frac{d}{c} F} \cdot e^{4\pi j \frac{d}{c} k_2 u} \quad (7)$$

$$r_3 = e^{4\pi j \frac{d}{c} F} \cdot e^{4\pi j \frac{d}{c} k_3 u} \quad (8)$$

wobei die Amplitude auf 1 normiert ist, d die Entfernung zwischen dem Radar und dem Ziel und c die Lichtgeschwindigkeit darstellt.

[0017] Mit

$$\alpha = \frac{4\pi d}{c} F \quad (9)$$

$$\text{und } \beta_i = 4\pi \frac{d}{c} k_i u \quad (10)$$

folgt für i von 0 bis 3: $r_i = e^{j\alpha} \cdot e^{j\beta_i}$ (11)

[0018] Es ist möglich, während einer Radarverarbeitungswiederholung mit Hilfe der vier empfangenen Signale r_i , die verfügbar sind, sechs Differenzsignale r_{ij} zu bilden, derart, dass $r_{ij} = r_i - r_j$ ist, wobei:

$$r_{ij} = e^{j\alpha} \left[e^{j\beta_i} - e^{j\beta_j} \right] = e^{j\alpha} \cdot e^{j\left(\frac{\beta_i - \beta_j}{2}\right)} \cdot \sin\left[\frac{\beta_i - \beta_j}{2}\right] \cdot 2j \quad (12)$$

[0019] Aus den letzteren Signalen r_{ij} kann das Verfahren beispielsweise die folgenden Signale bilden:

$$u_k = r_{ij} r_{mn}^* \quad (13)$$

wobei r_{mn}^* die konjugierte komplexe Zahl des empfangenen Signals r_{mn} ist, wobei nachfolgend das einer Größe zugeordnete Zeichen * bedeutet, dass es sich um ihre komplexe Konjugierte handelt und wobei das Paar (i, j) vom Paar (m, n) verschieden gewählt ist, wodurch theoretisch Zugang zu sechzehn möglichen Werten des Index k der folgenden Größe erhalten wird:

$$u_k = -4e^{j\left[\frac{(\beta_i + \beta_j) - (\beta_m + \beta_n)}{2}\right]} \cdot \sin\left(\frac{\beta_i - \beta_j}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\beta_m - \beta_n}{2}\right) \quad (14)$$

wobei aus der Relation (14) hervorgeht, dass das Argument der Größe u_k durch die folgende Relation gegeben ist:

$$\text{Argument}[u_k] = \left| \frac{(\beta_i + \beta_j) - (\beta_m + \beta_n)}{2} \right| \quad (14')$$

[0020] Aus den Relationen (10) und (14') folgt, wenn die aus dem Zwischenwert u_k geschätzte Entfernung mit \hat{d}_k bezeichnet wird:

$$\text{Argument}[u_k] = \left| \frac{2\pi v \hat{d}_k \left[(k_i + k_j) - (k_m + k_n) \right]}{c} \right| \quad (14'')$$

[0021] Die geschätzte Entfernung \hat{d}_k wird folglich aus der Relation (14') abgeleitet und ist durch die folgende Relation gegeben:

$$\hat{d}_k = \left| \text{Argument}[u_k] \cdot \frac{c}{2\pi v \left[(k_i + k_j) - (k_m + k_n) \right]} \right| \quad (15)$$

wobei \hat{d}_k eine von sechzehn verschiedenen Entfernungsschätzungen ist.

[0022] Wenn sich das Ziel jenseits der Reichweite des Radars befindet, empfängt jeder Empfangskanal von diesem Ziel die Überlagerung von zwei aufeinander folgenden Signalen, die zwei aufeinander folgenden Sendefrequenzen entsprechen. Dies führt zu einer Abweichung, sogar zu einem Fehler der mittleren Phase des empfangenen Signals, wobei diese Abweichung direkt von der Laufzeit der Radarwelle zum Ziel hin und zurück sowie vom Abstand zwischen den beiden betrachteten Frequenzen abhängig ist. In diesem Fall führt die vorhergehende Verarbeitung zu sechzehn Schätzwerten \hat{d}_k , die stark dekorreliert sind, wenn die Werte k_i und k_j geeignet gewählt worden sind. Dies liefert ein wirkungsvolles Kriterium, das ermöglicht, bei der Radarverarbeitung die Echos zu verwerfen, die aus einer Entfernung kommen, die größer als die Arbeitsreichweite ist. In der Praxis genügt beispielsweise die Verwendung von drei Werten von k , um die Mehrdeutigkeit bis zu einer Entfernung von über 1000 m aufzuheben. Folglich wird gemäß der Erfindung die Entfernung der Ziele mit Hilfe mehrerer Schätzfunktionen \hat{d}_k erfasst, derart, dass alle Schätzfunktionen im Wesentlichen das gleiche Resultat ergeben, wenn die Ziele im nicht mehrdeutigen Bereich sind, und voneinander verschiedene Resultate ergeben, sobald sich die Ziele in einem mehrdeutigen Bereich befinden.

[0023] Die Auswahl der Frequenzebene erfolgt beispielsweise in Abhängigkeit von einer bestimmten Anzahl von Bedingungen, die aus den Ausdrücken für u_k und \hat{d}_k folgen. Insbesondere darf das Signal u_k , das für die

Erfassung verwendet wird, nicht innerhalb der Reichweite des Radars, außer für die Entfernung null, abklingen. Dies gebieten insbesondere die folgenden Relationen:

$$\frac{\beta_i - \beta_j}{2} \leq \pi \quad (16)$$

$$\frac{\beta_m - \beta_n}{2} \leq \pi \quad (17)$$

für eine Entfernung d von beispielsweise gleich 200 m, was insbesondere bedeutet, dass alle verwendbaren Terme $(k_i - k_j)u$ kleiner oder gleich 750 kHz sind, d. h.:

$$|k_i - k_j|u \leq 750 \text{ kHz und } |k_m - k_n|u \leq 750 \text{ kHz} \quad (18)$$

[0024] Außerdem muss, um die Zielsetzungen hinsichtlich einer Verminderung des Rauschens und der Störrechos mit geringer Reichweite zu erfüllen, was durch die Differenzbildung der empfangenen Signale der verschiedenen Frequenzen erreicht wird, der Betrag von uk für eine geschätzte Entfernung von weniger als 30 Metern beispielsweise so gering wie möglich sein. Wenn beispielsweise für eine Entfernung d gleich 30 Meter $|u_k| \leq 0,1$ angenommen wird, ergibt sich:

$$|\sin[2 \cdot 10^{-7} \pi u (k_i - k_j)] \sin[2 \cdot 10^{-7} \pi u (k_m - k_n)]| \leq 0,1 \quad (19)$$

oder auch unter Berücksichtigung der vorerwähnten Bedingung hinsichtlich der Terme $(k_i - k_j)u$:

$$(2 \cdot 10^{-7} \pi)^2 u^2 |(k_i - k_j)(k_m - k_n)| \leq 0,1 \quad (20)$$

d. h.:

$$u^2 |(k_i - k_j)(k_m - k_n)| \leq 2,5 \cdot 10^{11} \text{ Hz}^2 \quad (21)$$

[0025] Aus den Relationen (18) und (21) ergibt sich insbesondere:

$$|k_m - k_n|u \leq 333 \text{ kHz} \quad (22)$$

[0026] Um eine Empfindlichkeit nahe des Maximums an der Reichweitengrenze des Radars zu gewährleisten, kann außerdem für einen Abstand d gleich 150 Meter der Betrag von uk beispielsweise nahe 1 sein. Wird beispielsweise für eine Entfernung d gleich 150 Meter $|uk| \geq \sqrt{2}$ festgelegt, wird die folgende Relation erhalten:

$$u^2 |(k_i - k_j)(k_m - k_n)| \geq 7,2 \cdot 10^{10} \text{ Hz}^2 \quad (23)$$

[0027] Aus den Relationen (22) und (23) ergibt sich insbesondere:

$$|k_i - k_j|u \leq 216 \text{ kHz} \quad (24)$$

[0028] Eine Bedingung zur Definition der Frequenzebene kann beispielsweise vorschreiben, dass der Messwert der Phase, der der Entfernung entspricht, bis zur maximalen Reichweite nicht mehrdeutig ist. In diesem Fall muss die folgende Relation für eine Entfernung von beispielsweise gleich 200 Metern verifiziert werden:

$$\frac{(\beta_i + \beta_j) - (\beta_m + \beta_n)}{2} \leq \pi \quad (25)$$

d. h. beispielsweise

$$u[(k_i + k_j) - (k_m + k_n)] \leq 750 \text{ Hz} \quad (26)$$

[0029] Um die Durchführbarkeit der Steuerung des Hochfrequenzoszillators zu gewährleisten ist es schließlich erstrebenswert, nur Signale zu verwenden, deren Frequenzen sich um wenigstens beispielsweise 200 kHz unterscheiden. Diese Bedingung zieht die beiden folgenden Relationen nach sich:

$$|(k_i - k_j)u| > 200 \text{ kHz und } |(k_n - k_m)u| > 200 \text{ kHz} \quad (27)$$

[0030] Beispielsweise ist es möglich, aus den vorhergehenden Bedingungen zu folgern, dass jede Verknüpfung von vier Signalen, die für die Entfernungsschätzung verwendet werden, in Abhängigkeit von den festgesetzten Zielen für alle Paare (i, j) , (m, n) mindestens den Bedingungen genügen muss, die durch die Relationen (18), (22), (24) und (26) definiert sind. Ausgehend von diesen Bedingungen kann beispielsweise eine Frequenzebene definiert werden. Die vier Frequenzen F_0, F_1, F_2, F_3 können insbesondere so gewählt werden, dass die Frequenzen $k_i u$, die durch die Relationen (1), (2), (3), (4) bestimmt sind, zwischen 0 und 750 kHz im Wesentlichen gleichmäßig verteilt sind. Diese Frequenzen können beispielsweise wie folgt bestimmt sein:

$$k_0 u \approx 0 \quad (28)$$

$$k_1 u \approx 250 \text{ kHz} \quad (29)$$

$$k_2 u \approx 500 \text{ kHz} \quad (30)$$

$$k_3 u \approx 750 \text{ kHz} \quad (31)$$

wobei \approx "ungefähr gleich" bedeutet.

[0031] Die Auswahl der genauen Werte kann anhand von Simulationen optimiert werden, die die spezielle Form des Radars, insbesondere die Reihenfolge des Auftretens der verschiedenen Frequenzen, die Dauer jedes Sendefensters und die Einschwingzeit des Hilfsoszillators bei Frequenzänderungen berücksichtigen.

[0032] **Fig. 2** zeigt als Beispiel die anhand von drei Schätzfunktionen $\hat{d}_7, \hat{d}_8, \hat{d}_{13}$ geschätzte Entfernung zwischen 0 und 1500 Metern, wobei die Schätzfunktionen durch die folgenden Relationen definiert sind:

$$\hat{d}_7 = \left| \text{Argument}[(r_0 - r_2)(r_1 - r_2)^*] \cdot \frac{c}{2\pi v[(k_0 + k_2) - (k_1 + k_2)]} \right| \quad (32)$$

$$\hat{d}_8 = \left| \text{Argument}[(r_0 - r_2)(r_1 - r_3)^*] \cdot \frac{c}{2\pi v[(k_0 + k_2) - (k_1 + k_3)]} \right| \quad (33)$$

$$\hat{d}_{13} = \left| \text{Argument}[(r_1 - r_2)(r_1 - r_3)^*] \cdot \frac{c}{2\pi v[(k_1 + k_2) - (k_1 + k_3)]} \right| \quad (34)$$

mit beispielsweise $u = 250 \text{ kHz}$ und $k_0 = 0, k_1 = 1, k_2 = 2, k_3 = 2$.

[0033] **Fig. 2** ist eine Darstellung der vorerwähnten Schätzfunktionen in einem x-y-Achsenystem, wobei die Abszisse x die tatsächlichen Entfernungen und die Ordinate y die geschätzten Entfernungen darstellt. Eine erste Volllinien-Kurve **21** stellt die mittels der Schätzfunktion \hat{d} , geschätzte Entfernung dar, eine zweite, gestrichelte Kurve **22** stellt die Schätzfunktion \hat{d}_{13} dar und eine dritte, punktierte Kurve **23** stellt die Schätzfunktion \hat{d}_8 dar. Diese Kurven zeigen, dass die Ergebnisse der Schätzfunktionen für tatsächliche Entfernungen im Bereich zwischen 0 und 300 m im Wesentlichen gleich sind und dass dann jenseits dieser letzteren Entfernung die drei Schätzwerte dekorreliert werden, was ein Kriterium liefert, das ermöglicht, die Ziele mit einer Entfernungsmehrdeutigkeit zu verwerfen. Es wäre auch möglich, beispielsweise den Betrag der vorher definierten Funktionen r_{ij} oder uk als Kriterium für die Annahme oder das Verwerfen der vom Radar erfassten Ziele zu verwenden, wodurch es insbesondere möglich ist, die Robustheit des Verfahrens zu verbessern.

[0034] Beispielsweise ist es möglich, eine Funktion zur Validierung der Ziele anhand der empfangenen Signale folgendermaßen zu definieren:

[0035] Die Validierungsfunktion ist gleich 1 wenn alle folgenden Relationen (35), (36), (37), (38) verifiziert sind, wobei

$$\hat{d}_{\text{mittel}} = \frac{\hat{d}_7 + \hat{d}_8 + \hat{d}_{13}}{3}$$

$$|\hat{d}_{13} - \hat{d}_7| \leq 0,025 \cdot \hat{d}_{\text{mittel}} \quad (35)$$

$$|\hat{d}_7 - \hat{d}_8| \leq 0,025 \cdot \hat{d}_{\text{mittel}} \quad (36)$$

$$|\hat{d}_8 - \hat{d}_{13}| \leq 0,025 \cdot \hat{d}_{\text{mittel}} \quad (37)$$

$$\text{Vorzeichen von } \hat{d}_{13} = \text{Vorzeichen von } \hat{d}_7 = \text{Vorzeichen von } \hat{d}_8, \quad (38)$$

während die Validierungsfunktion in allen anderen Fällen null ist.

[0036] Die Validierungsfunktion ist dann gleich 1, wenn das erfasste Ziel nicht mehrdeutig ist, während sie im gegenteiligen Fall gleich null ist.

[0037] Die Robustheit dieser Validierungsfunktion kann verbessert werden, indem beispielsweise die folgenden zusätzlichen Bedingungen hinzugefügt werden, mit:

$$K_1 = \frac{r_0 - r_1}{r_1 - r_2}, \quad K_2 = \frac{r_1 - r_2}{r_2 - r_3}, \quad K_3 = \frac{r_0 - r_1}{r_1 - r_3}, \quad K_4 = \frac{r_0 - r_2}{r_1 - r_3}$$

$$\text{und } K_{\text{mittel}} = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}{4}$$

$$|K_1 - K_{\text{mittel}}| \leq 0,5 \quad (39)$$

$$|K_2 - K_{\text{mittel}}| \leq 0,5 \quad (40)$$

$$|K_3 - K_{\text{mittel}}| \leq 0,5 \quad (41)$$

$$|K_4 - K_{\text{mittel}}| \leq 0,5 \quad (42)$$

$$K_{\text{mittel}} \geq 1,1 \quad (43)$$

wobei die Validierungsfunktion gleich 1 ist, wenn alle Relationen (35) bis (43) verifiziert sind, während sie im gegenteiligen Fall null ist.

[0038] **Fig. 3** zeigt ein Beispiel für den Verlauf dieser letzteren Funktion als eine Kurve **31** in einem x-y-Achsensystem, wobei die Abszisse x die erfasste Entfernung repräsentiert und die Ordinate y den Wert der Validierungsfunktion repräsentiert. Diese Kurve **31** zeigt insbesondere, dass das erfasste Ziel zwischen 0 und 300 m als gültig angesehen wird und folglich von der Radarverarbeitung berücksichtigt wird, während jenseits von 300 m das Ziel nie für gültig erklärt wird. In der Tat ermöglicht die Robustheit, die durch die Relationen (39) bis (43) eingeführt worden ist, die falschen Entfernungen auszuschließen, die doch den Fällen entsprechen, in denen die drei Schätzfunktionen in Spannen fallen, die durch die Relationen (35) bis (38) definiert sind. Dies ermöglicht insbesondere, singuläre Werte, wie etwa die isolierten Schnittpunkte **24**, **25** der drei Kurven **21**, **22**, **23**, die die Schätzfunktionen darstellen, auszuschließen. Außerdem ermöglicht dies, Werte auszuschließen, die zwar gut korreliert, jedoch falsch sind, wie beispielsweise jene, die im Fall von **Fig. 2** in einem Geraden-segment **26** mit negativer Steigung ab 300 m enthalten sind. Derartige Werte sind selbstverständlich falsch, da die geschätzten Entfernungen in Abhängigkeit von der tatsächlichen Entfernung zunehmen müssen. Um die Mehrdeutigkeit zu vermeiden, die durch all diese Werte herbeigeführt wird, ohne zusätzliche Robustheitsbedingungen in Anspruch zu nehmen, ist es möglich, eine einfache Sortierung vorzunehmen, wobei nur die Schätzwerten diesseits einer bestimmten Schwelle von beispielsweise 200 Metern zurückbehalten werden.

[0039] Das vorhergehende Ausführungsbeispiel des Verfahrens gemäß der Erfindung verwendet drei Schätzfunktionen. Es ist möglich, davon nur zwei beizubehalten, wenn eine geringere Robustheit akzeptiert wird oder wenn sie beispielsweise durch weitere, zusätzliche Bedingungen kompensiert wird. In diesem Fall kann beispielsweise die vorhergehende Entfernungsschwelle gesenkt werden. Hingegen kann die Zuverlässigkeit des Verfahrens gemäß der Erfindung verbessert werden, indem die Schätzfunktionen in jedem Rahmen geändert werden, wobei die Anzahl der Schätzfunktionen pro Rahmen beispielsweise gleich drei ist und beispielsweise wenigstens eine Schätzfunktion von einem Rahmen zum nächsten geändert wird. Dies ermöglicht in der Tat, die Zuverlässigkeit der Beseitigung der Mehrdeutigkeit von Zielen zu verbessern, indem nur die Schätzungen verifiziert werden, die von einem Rahmen zum nächsten korreliert bleiben, obwohl die Schätzfunktionen verschieden sind.

[0040] Eine weitere mögliche Ausführung des Verfahrens gemäß der Erfindung kann beispielsweise darin be-

stehen, zwar nur eine einzige Schätzfunktion pro Rahmen zu verwenden, die Schätzfunktion aber für jeden Rahmen zu wechseln. Wenn drei Schätzfunktionen nacheinander verwendet werden, erfolgt somit die Beseitigung der Mehrdeutigkeit alle drei Rahmen, also innerhalb der Zeit, die erforderlich ist, um drei geschätzte Entfernungen zu erhalten. Ein Vorteil, den diese letztere Ausführung mit sich bringt, besteht darin, dass sie nicht mehrere Empfangskanäle erfordert, wobei es jedoch von Nachteil sein kann, dass beispielsweise der Ablauf von drei Rahmen abgewartet werden muss, um die Mehrdeutigkeit zu beseitigen.

[0041] **Fig. 4** zeigt anhand einer Übersicht ein mögliches Ausführungsbeispiel für die Umsetzung des Verfahrens gemäß der Erfindung. Der Empfänger kann analog sein, analoge und digitale Technologien nutzen oder vollständig digital sein. Das in **Fig. 4** gezeigte Ausführungsbeispiel umfasst einen vollständig digitalen Empfänger, wodurch sich eine einfache und zuverlässige Ausführung ergibt. Dieser Empfänger ist beispielsweise vom homodyn Typ. Außerdem findet dieses Ausführungsbeispiel auf ein Radar mit kontinuierlichem Signal und Frequenzsprung Anwendung, wobei das Signal gemäß dem in **Fig. 1** gezeigten Beispiel in Form von vier Frequenzen umfassenden Rahmen gesendet wird.

[0042] Die Modulationssteuermittel **41** steuern einen Hilfsoszillator **42** so, dass dieser letztere vier Frequenzen beispielsweise entsprechend den Relationen (1) bis (4) und den Relationen (28) bis (31) abgibt. Dieser Oszillator **42** ist mit einem Zirkulator **43** verbunden, um über diesen Letzteren und nicht gezeigte Verstärkungsmittel die Sendewelle an eine Antenne **44** zu liefern. Ein von dieser Antenne empfangenes Signal wird über den Zirkulator **43** an eine Mischeinrichtung **45** geliefert, die außerdem über einen Koppler **46** das Ausgangssignal des Oszillators **42** empfängt. Das Ausgangssignal der Mischeinrichtung **45** wird beispielsweise von einem Verstärker **47** verstärkt, dessen Ausgang mit dem Eingang eines angepassten Filters **48** verbunden ist. Der Ausgang dieses Letzteren ist mit dem Eingang eines Analog/Digital-Umsetzers **49** verbunden. Dieser Letztere tastet das empfangene, verstärkte und gefilterte Empfangssignal ab und setzt es dann wertediskret um. Die Abtastung erfolgt beispielsweise mit einer Frequenz von 400 kHz, derart, dass vier digitale Signal mit einer Frequenz von 100 kHz erzeugt werden, die in dem Fall, in dem jedes Sendefenster eine Dauer von 2,5 μ s hat, den vier Sendefrequenzen des Radars entsprechen. Es erfolgt dann eine Abtastung pro Sendefenster. Dem Umsetzer folgen vier Empfangswege, wobei jeder Sendefrequenz ein Weg zugeordnet ist. Falls der Analog/Digital-Umsetzer nicht schnell genug ist, kann dieser Letztere durch vier Umsetzer ersetzt werden, die jeweils einem Empfangsweg oder -kanal zugeordnet sind. Jeder Empfangsweg umfasst als Eingang einen Direktzugriffsspeicher oder RAM **50**, der dazu bestimmt ist, das abgetastete Signal zu speichern, das der Frequenz seines Kanals entspricht. Der Ausgang eines RAM **50** ist mit Mitteln **51** zur Interpolation und Filterung des abgetasteten Signals verbunden. Diese Mittel führen beispielsweise eine lineare Interpolation aus, um für ein erfasstes Ziel die eventuellen Doppler-Phasenverschiebungsunterschiede von einem Kanal zum anderen zu kompensieren, wobei diese Phasenverschiebungen mit der Tatsache in Beziehung stehen, dass das Senden und das Empfangen nicht über allen Kanälen zum gleichen Zeitpunkt erfolgt.

[0043] Die Signale werden dann in einem Tiefpassfilter gefiltert, dessen Grenzfrequenz für eine maximale Relativgeschwindigkeit von beispielsweise 160 km/h der maximalen Doppler-Phasenverschiebung entspricht.

[0044] Den Mitteln zur Interpolation und Filterung **51** folgen Mittel **52** zur Bildung der Differenzsignale. Die Mittel **53** zur Berechnung der schnellen Fouriertransformierten ermöglichen, die Phasenverschiebungen zwischen den Phasenverschiebungen der Differenzsignale zu definieren und folglich die Argumente zu definieren, die für die gemäß der Relation (15) definierte Entfernungsschätzfunktion notwendig sind. Folglich liefern bei einer Anwendung des Ausführungsbeispiels des Verfahrens gemäß der Erfindung entsprechend **Fig. 2** und den Relationen (32), (33) und (34) die Mittel zur Bildung der Differenzsignale die Signale $r_0 - r_2$, $r_1 - r_2$ und $r_1 - r_3$. Die Mittel **53** zur Berechnung der schnellen Fouriertransformierten werden auf jedes dieser Differenzsignale angewendet, die die berechneten Phasenverschiebungen an die Berechnungsmittel **54** liefern. Diese Letzteren haben beispielsweise die Werte der Frequenzen k_u , die beispielsweise gemäß den Relationen (28) bis (31) definiert sind, sowie die Konstanten n und c im Speicher. Sie berechnen dann die geschätzten Entfernungen gemäß den Relationen (32) bis (34) und wenden anschließend die mittels der Relationen (35) bis (38) oder (35) bis (43) definierte Validierungsfunktion an, wobei die verschiedenen Koeffizienten oder Konstanten gespeichert sind. Die Berechnungsmittel **54** sind beispielsweise in einem Signalverarbeitungsrechner mit erweitertem Funktionsumfang enthalten, der insbesondere die Geschwindigkeitserfassung einschließt. Die Berechnungen gemäß den vorhergehenden Relationen erfordern keine besonderen zusätzlichen Schaltungen innerhalb des Signalverarbeitungsrechners.

[0045] Das Verfahren gemäß der Erfindung erfordert keine Erhöhung der gesendeten Spitzenleistung, wobei einer ihrer Hauptvorteile der hohe Wirkungsgrad der verwendeten Wellenform ist, wobei der Wirkungsgrad durch das Verhältnis der Dauer der Öffnung eines Empfangskanals zur Sendedauer seiner entsprechenden Frequenz bestimmt ist. Es kann beispielsweise ein Wirkungsgrad von 60% erhalten werden. Das Verfahren gemäß der Erfindung ist außerdem insofern wirtschaftlich, als es die Schaltungen nicht wesentlich komplizierter macht und gut an einen Empfänger vom homodyn Typ angepasst werden kann, der preiswert ist. Es lässt sich außerdem besonders gut an einen Empfänger anpassen, der in digitaler Technologie verwirklicht ist, was weiterhin dazu beitragen kann, seine Anwendung wirtschaftlich zu machen. Der überwiegende Teil der erfor-

derlichen digitalen Schaltungen, insbesondere was die Verarbeitung des Signals anbelangt, ist außerdem bereits verfügbar. Dies ist insbesondere für die Mittel zur Berechnung der schnellen Fouriertransformierten, die Mittel zur Bildung der Differenzsignale und die Interpolations- und Filtermittel sowie die Speicher der Fall. Eine digitale Technologie ermöglicht außerdem, die Zuverlässigkeit der Erfassung zu erhöhen, da sie keine besonderen Einstellungen benötigt und keine Gefahr besteht, dass sie mit der Zeit Driften erfährt. Außerdem haben verschiedene Simulationen, die vom Anmelder ausgeführt worden sind, gezeigt, dass das Verfahren gemäß der Erfindung gegenüber Driften der Oszillatorfrequenz, Rauschen des Empfängers und einer differentiellen Verstärkung zwischen den Empfangswegen wenig empfindlich ist. Die in **Fig. 4** gezeigte Vorrichtung zur Ausführung ist in einem Radar mit kontinuierlichem Signal enthalten, sie könnte jedoch auch so vervollständigt werden, dass sie für ein Einzelimpuls-Signal geeignet ist, wobei dann die verschiedenen Empfangskanäle auf dem Summenkanal liegen können.

[0046] Schließlich kann die Erfindung auf Radarvorrichtung ohne Frequenzsprung angewendet werden. Beispielsweise kann sie auf Radarvorrichtungen angewendet werden, bei denen zwar die Frequenz konstant bleibt, sich aber die Phase ändert, wobei dann die Entfernungsschätzfunktion von jener, die in dieser Beschreibung dargestellt worden ist, verschieden ist. Wie für ein Radar mit Frequenzsprung berechnet dann das Verfahren gemäß der Erfindung die Entfernung der erfassten Ziele mit Hilfe mehrerer Schätzfunktionen, derart, dass alle Schätzfunktionen im Wesentlichen das gleiche Resultat ergeben, wenn die Ziele im nicht mehrdeutigen Bereich sind, und voneinander verschiedene Resultate ergeben, sobald sich die Ziele im mehrdeutigen Bereich befinden.

[0047] Die Erfindung ist unter Verwendung einer Sendesignalform mit vier Frequenzen dargestellt worden. Sie kann jedoch auch auf eine andere Anzahl von Frequenzen, beispielsweise Fünf angewendet werden, wobei die fünf Sendefrequenzen durch die folgenden Relationen gegeben sind:

$$F_0 = F$$

$$F_1 = F + k_0 u \quad (45)$$

$$F_2 = F + k_1 u \quad (46)$$

$$F_3 = F + k_2 u \quad (47)$$

$$F_4 = F + k_3 u \quad (48)$$

[0048] Diese Frequenzen können etwa folgende Werte haben:

$$F_0 = 76 \text{ GHz}$$

$$F_1 = F_0 + 250 \text{ kHz}$$

$$F_2 = F_0 + 500 \text{ kHz}$$

$$F_3 = F_0 + 750 \text{ kHz}$$

$$F_4 = F_0 + 1000 \text{ kHz}$$

[0049] In diesem Fall sind die Frequenzen, die für die Berechnung der Entfernung verwendet werden, beispielsweise die Frequenzen F_1 , F_2 , F_3 und F_4 entsprechend den Relationen (5) bis (43).

[0050] In den dargestellten Beispielen ist der Schritt zwischen den Frequenzen konstant, was jedoch nicht vorgeschrieben ist; mit anderen Worten: Der Wert u ist nicht von einer Frequenz zur nächsten gleich, sondern nimmt bei jeder Frequenz einen Wert u_i an. In diesem Fall wird der Koeffizient β_i der Relation (10):

$$\beta_i = 4\pi \frac{d}{c} k_i u_i$$

[0051] Die übrigen Relationen können dann in gleicher Weise für die Berechnung der Entfernung verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Beseitigen der Entfernungsmehrdeutigkeit eines Radars, **dadurch gekennzeichnet**,

daß die Entfernung von von dem Radar erfaßten Zielen mittels mehrerer Schätzfunktionen (21, 22, 23) berechnet wird, wobei die Ziele als in einem nicht mehrdeutigen Entfernungsbereich befindlich definiert werden, wenn die Schätzfunktionen im wesentlichen das gleiche Resultat ergeben, und wobei die Ziele als in einem mehrdeutigen Entfernungsbereich befindlich definiert werden, wenn die Schätzfunktionen unterschiedliche Resultate ergeben, wobei die Schätzfunktion für die Entfernung durch die folgende Beziehung definiert ist:

$$\hat{d}_k = \left| \text{Argument}[u_k] \frac{c}{2\pi v [(k_i + k_j)(k_m + k_n)]} \right|$$

wobei

- \hat{d}_k die geschätzte Entfernung ist;
- c die Lichtgeschwindigkeit ist;
- $u_k = (r_i - r_j)(r_m - r_n)^*$, wobei r_i , r_j , r_m und r_n die Signale sind, die in bezug auf die Frequenz mit Rang i , j , m bzw. n eines Senderrahmens empfangen werden;
- k_i , k_j , k_m und k_n Koeffizienten sind, die die Sendefrequenzen F_i , F_j , F_m und F_n des Rahmens in der folgenden Weise definieren:

$$F_i = F + k_i v_i$$

$$F_j = F + k_j v_j$$

$$F_m = F + k_m v_m$$

$$F_n = F + k_n v_n$$

wobei F eine gegebene Grundfrequenz ist und v_i , v_j , v_m und v_n gegebene komplementäre Frequenzen sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die komplementären Frequenzen v_i , v_j , v_m , v_n im wesentlichen gleich einer gegebenen Frequenz v sind.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Schätzfunktion von einem Senderrahmen (F_0 , F_1 , F_2 , F_3 , F_4) zum nächsten modifiziert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß pro Senderrahmen (F_0 , F_1 , F_2 , F_3 , F_4) nur eine Schätzung ausgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß von einem Senderrahmen (F_0 , F_1 , F_2 , F_3 , F_4) zum nächsten dieselben Schätzfunktionen verwendet werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schätzfunktionen dann, wenn das Radar ein Frequenzsprung-Radar ist und jeder Rahmen eine gegebene Anzahl aufeinanderfolgender Sendefrequenzen besitzt, auf der Phasendifferenz zwischen den Differenzsignalen basiert, die anhand von Paaren empfangener Signale erhalten werden, wobei jedes Signal einer Frequenz des Rahmens entspricht.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundfrequenz F im Band von 76–77 GHz enthalten ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizienten k_i , k_j , k_m , und k_n dann, wenn ein Rahmen vier Frequenzen (F_0 , F_1 , F_2 , F_3) enthält, im wesentlichen gleich 0, 1, 2 bzw. 3 sind und die komplementäre Frequenz v im wesentlichen gleich 250 kHz ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizienten k_i , k_j , k_m und k_n dann, wenn ein Rahmen fünf Frequenzen (F_0 , F_1 , F_2 , F_3 , F_4) enthält und die erste Frequenz (F_0) gleich der Grundfrequenz F ist, im wesentlichen gleich 0, 1, 2 bzw. 3 sind und die komplementäre Frequenz v im wesentlichen gleich 250 kHz ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der verwendeten Schätzfunktionen pro Frequenzrahmen gleich drei ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die drei Schätzfunktionen \hat{d}_7 , \hat{d}_8 , \hat{d}_{13} durch die folgenden Beziehungen definiert sind:

$$\hat{d}_7 = \left| \frac{\text{Argument}[(r_0 - r_2)(r_1 - r_2)^*]}{2\pi v[(k_0 + k_2) - (k_1 + k_2)]} \right|$$

$$\hat{d}_8 = \left| \frac{\text{Argument}[(r_0 - r_2)(r_1 - r_3)^*]}{2\pi v[(k_0 + k_2) - (k_1 + k_3)]} \right|$$

$$\hat{d}_{13} = \left| \frac{\text{Argument}[(r_1 - r_2)(r_1 - r_3)^*]}{2\pi v[(k_1 + k_2) - (k_1 + k_3)]} \right|$$

12. Vorrichtung für die Ausführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sie, wenn das Radar ein Frequenzsprungradar ist, wenigstens umfaßt:

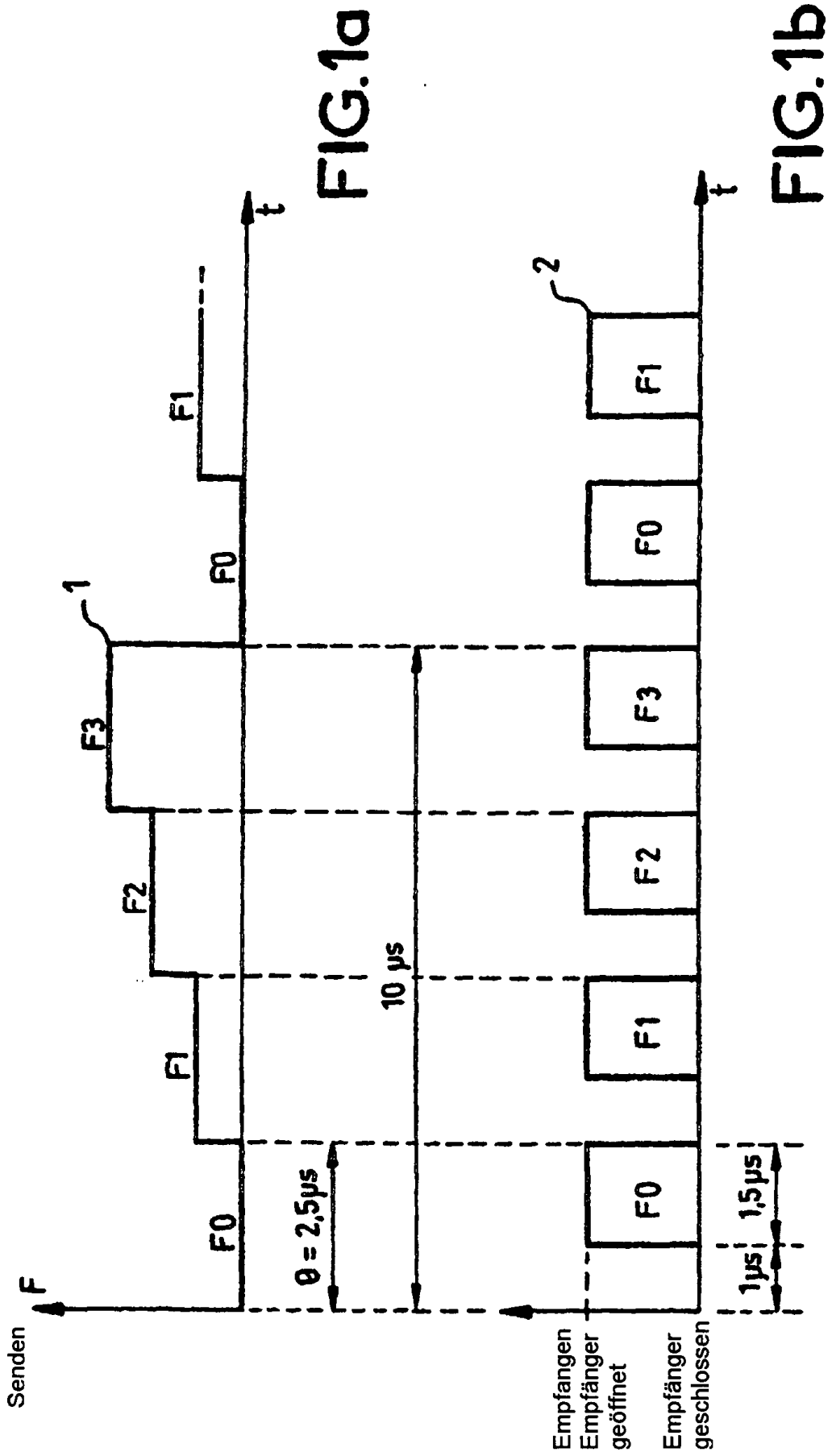
- Empfangswege, die jeweils einer Sendefrequenz (F0, F1, F2, F3) zugeordnet sind, wobei jeder Weg wenigstens einen Analog/Digital-Umsetzer (49), der das empfangene Signal abtastet, einen Speicher (50) zum Speichern des abgetasteten Signals und Mittel (51) für die Interpolation und Filterung des abgetasteten Signals umfaßt;
- Mittel (52) für die Bildung der Differenzsignale, wobei jeder Weg am Ausgang mit diesen Mitteln (52) verbunden ist, die die Differenz von Signalen bilden, die in einem anderen Weg jeweils paarweise abgegriffen werden;
- Mittel (53) für die Berechnung der schnellen Fourier-Transformation, die dazu bestimmt sind, die Phasenverschiebung zwischen den Differenzsignalen zu definieren;
- Mittel (54) für die Berechnung der Entfernungsschätzungen anhand der obengenannten Phasenverschiebungen.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel (51) zur Interpolation und Filterung eine lineare Interpolation ausführen, um für ein erfaßtes Ziel die eventuellen Doppler-Phasenverschiebungsunterschiede von einem Weg zum nächsten zu kompensieren, wobei diese Phasenverschiebungen mit der Tatsache in Beziehung stehen, daß das Senden und Empfangen nicht in allen Kanälen zum gleichen Zeitpunkt stattfindet.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel (51) zur Interpolation und Filterung eine Tiefpaßfilterung ausführen, deren Kappungsfrequenz der maximalen Doppler-Phasenverschiebung entspricht.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß ihre Schaltungen in digitaler Technik ausgeführt sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen



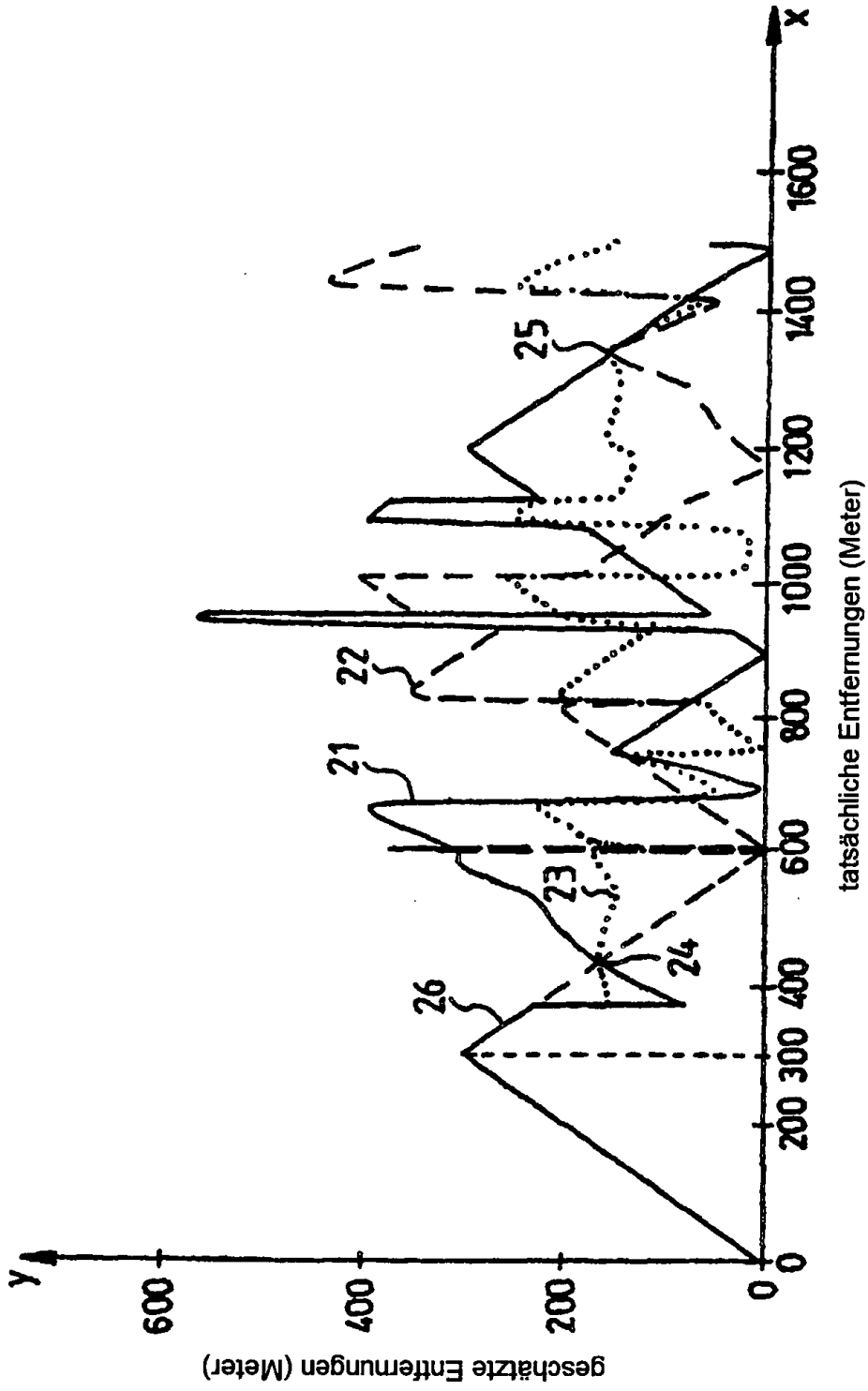


FIG.2

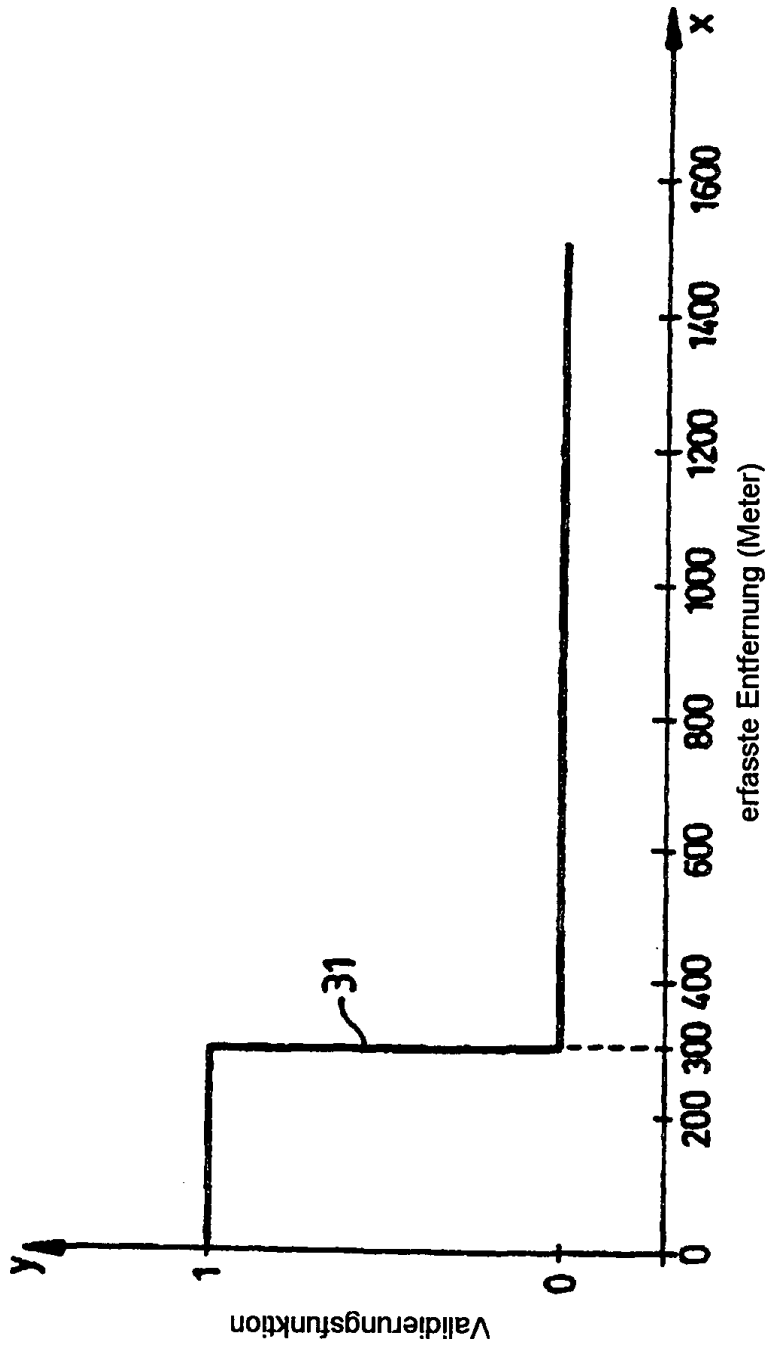


FIG.3

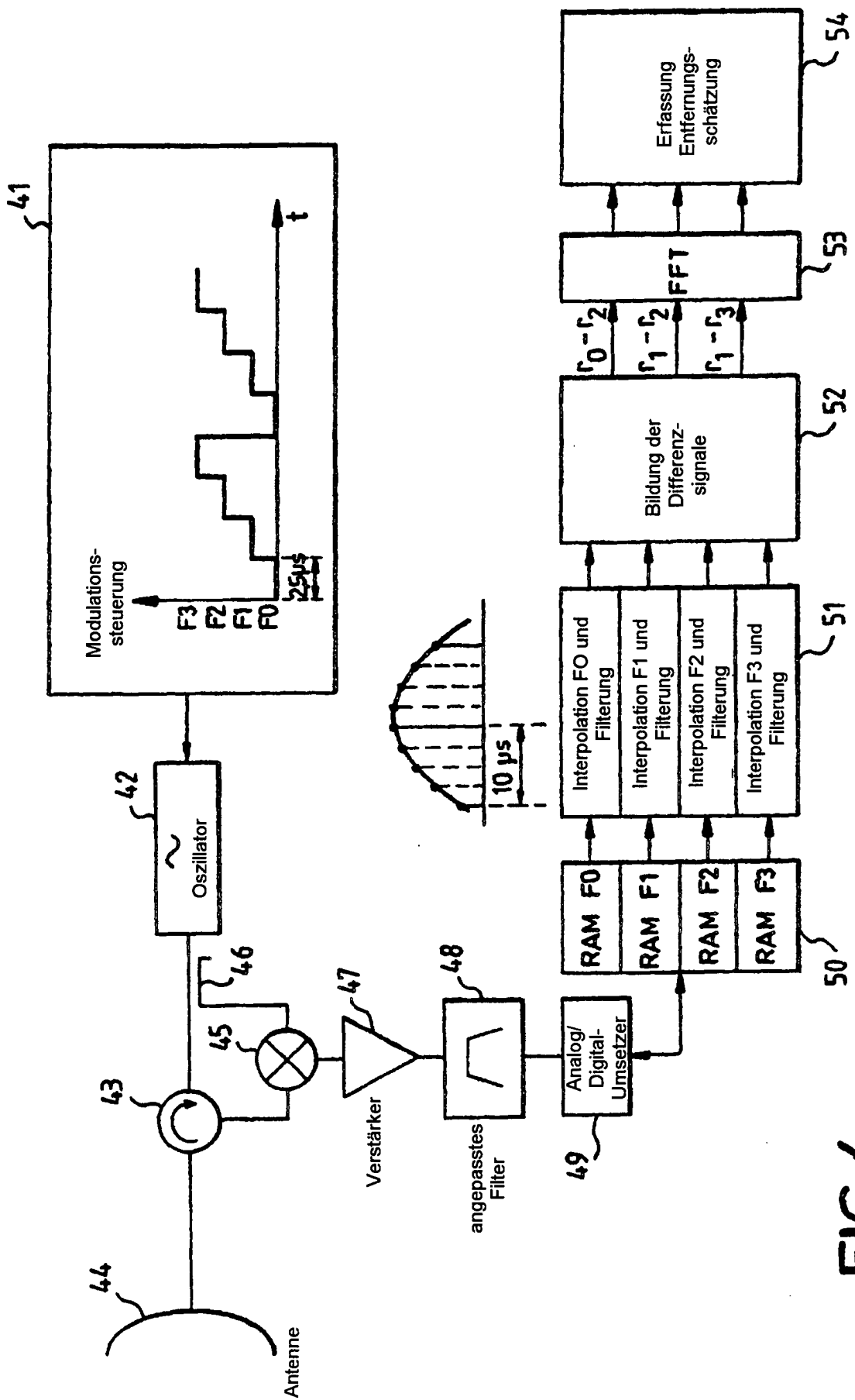


FIG. 4