

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Juni 2006 (29.06.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/066781 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01S 13/93 (2006.01) G01S 13/44 (2006.01)
G01S 13/42 (2006.01) G01S 7/03 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/013463

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. Dezember 2005 (14.12.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2004 062 792.4
20. Dezember 2004 (20.12.2004) DE
10 2005 007 917.2
10. Februar 2005 (10.02.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): VALEO SCHALTER UND SENSOREN GMBH [DE/DE]; Laiernstrasse 12, 74321 Bietigheim-Bissingen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HABERLAND, Udo [DE/DE]; Kniebisstrasse 8, 71088 Holzgerlingen (DE). KÜNZLER, Frank [DE/DE]; Dr. Becher Str. 21, 76703 Kraichtal (DE). BIEHLMAN, Bernd [DE/DE]; Friedrichstr. 132, 71638 Ludwigsburg (DE).

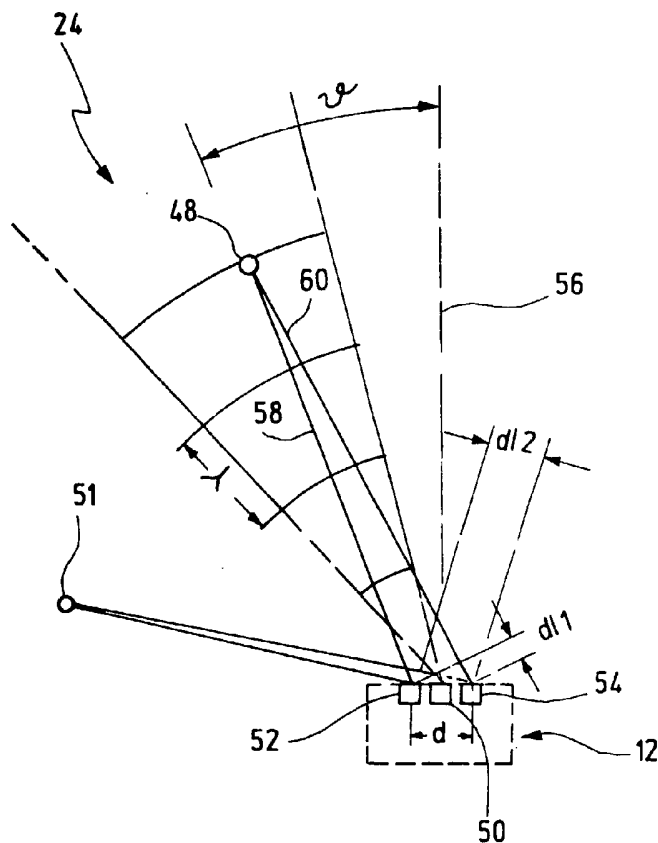
(74) Anwalt: MEIER, Christof; Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, Postfach 10 37 62, 70032 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: AUTOMOTIVE RADAR SYSTEM AND EVALUATION METHOD

(54) Bezeichnung: KRAFTFAHRZEUG-RADARSYSTEM UND AUSWERTEVERFAHREN



(57) Abstract: The invention relates to an automotive radar system (12) which detects distances and angular positions of objects (48) in relation to a motor vehicle (10) by sequentially directing an overlap (16, ..., 30; 66, 70, 78) of an antenna lobe (62, 68, 74) and of an angle of reception range (64, 72, 76) in different spatial directions (32, ..., 46), determining for every spatial direction (32, ..., 46) the angular position of an object (48) present within the overlap (16, ..., 30; 66, 70, 78), and combining results from different overlaps (16, ..., 30; 66, 70, 78) to give an overall result which is differentiated in terms of spatial directions (32, ..., 46). The inventive radar system is characterized by determining the angular position of an object (48) detected in an overlap (16, ..., 30; 66, 70, 78) by a phase difference method. The invention also relates to a method for determining distances and angular positions using said radar system (12).

(57) Zusammenfassung: Vorgestellt wird ein Kraftfahrzeug-Radarsystem (12), das Entfernungen und Winkellagen von Objekten (48) relativ zu einem Kraftfahrzeug (10) erfasst und dabei eine Überdeckung (16, ..., 30; 66, 70, 78) einer Sendekule (62, 68, 74) und eines Empfangswinkelbereichs (64, 72, 76) sequentiell in verschiedene Raumrichtungen (32, ..., 46) richtet, für jede Raumrichtung (32, ..., 46) die

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2006/066781 A2



AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Winkellage eines innerhalb der Überdeckung (16, ..., 30; 66, 70, 78) erfassten Objektes (48) bestimmt, und Ergebnisse aus verschiedenen Überdeckungen (16, ..., 30; 66, 70, 78) zu einem nach Raumrichtungen (32, ..., 46) differenzierten Gesamtergebnis zusammenfügt. Das Radarsystem zeichnet sich dadurch aus, dass es eine Winkellage eines in einer Überdeckung (16, ..., 30; 66, 70, 78) erfassten Objektes (48) nach einer Phasendifferenzmethode bestimmt. Ferner wird ein Verfahren zur Bestimmung von Entfernungen und Winkellagen mit einem solchen Radarsystem (12) vorgestellt.

Titel: Kraftfahrzeug-Radarsystem und Auswerteverfahren

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Kraftfahrzeug-Radarsystem, das Entfernungen und Winkellagen von Objekten relativ zu dem Kraftfahrzeug bestimmt, dabei eine Überdeckung einer Sendekeule und eines Empfangswinkelbereichs sequentiell in verschiedene Raumrichtungen richtet, für jede Raumrichtung die Winkellage eines innerhalb der Überdeckung erfassten Objektes bestimmt, und Ergebnisse aus verschiedenen Überdeckungen zu einem nach Raumrichtungen differenzierten Gesamtergebnis zusammenfügt.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Bestimmung von Entfernungen und Winkellagen von Objekten relativ zu einem Kraftfahrzeug mit den Schritten: sequentiell in verschiedene Raumrichtungen erfolgendes Richten einer Überdeckung einer Sendekeule und eines Empfangswinkelbereichs, für jede der Raumrichtungen erfolgendes Bestimmen der Winkellage eines innerhalb der Überdeckung erfassten Objektes und Zusammenfügen von aus verschiedenen Überdeckungen erhaltenen Ergebnissen zu einem nach Raumrichtungen differenzierten Gesamtergebnis.

Bei Kraftfahrzeugen werden Radarsensoren zur Überwachung der Fahrzeugumgebung eingesetzt, wobei Anwendungen wie Einparkhilfe, Totwinkelüberwachung, Spurwechselassistentz, Türöffnungsassistentz, eine Unfall-Antizipierung (pre-crash-sensing) für eine Airbag-Auslösung, Gurtstraffung, Überrollbügel-Aktivierung, Start/Stopp-Betrieb oder Fahrbetrieb mit Abstandsüberwachung und/oder Abstandsregelung (Cruise Control Unterstützung) in Frage kommen.

Im Umfeld der Fahrzeuge sind typischerweise mehrere Objekte und räumlich ausgedehnte Objekte (Fahrzeuge, Leitplanken, Brücken) vorhanden, sodass in der Regel mehrere Reflexionsstellen in der gleichen Entfernungszelle auftreten. Um dem Fahrer oder einem Fahrerassistenzsystem eine Einschätzung der Situation zu ermöglichen, muss zusätzlich zur Entfernung auch die Winkelposition reflektierender oder streuender Objekte bestimmt werden. Eine Unterdrückung von Infrastruktur, also zum Beispiel von ortsfesten Objekten wie Leitplanken an Fahrbahnrandern, stellt eine weitere wichtige Anforderung an ein Kraftfahrzeug-Radarsystem dar.

Das eingangs genannte Kraftfahrzeug-Radarsystem erfüllt die Anforderung an eine Bestimmung von Winkelpositionen in einem gewissen Ausmaß durch eine Segmentierung eines Überwachungsbereichs oder Erfassungsgebietes durch die sequentiell erfolgende Überdeckung mit mehreren Radarstrahlen oder Radarkeulen, denen jeweils ein Winkel-Ausschnitt aus dem Erfassungsbereich zugeordnet ist. Wird ein reflektierendes Objekt in einer der Keulen erfasst, kann dem Objekt ein mittlerer Winkel aus dem zugehörigen Winkelbereich zugeordnet werden. Die Breite der möglichen Winkelauflösung entspricht dann ungefähr der Breite der einzelnen Sendekeulen.

Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Genauigkeit der Winkelpositionsbestimmung besteht in einer Verringerung der Breite der Sendekeulen. Da die Breite aber mit steigender Zahl von Antennenelementen sinkt, erfordert eine Verringerung der Keulenbreite eine Vergrößerung der Zahl der Antennenelemente und damit in der Regel eine Vergrößerung der Fläche und des Einbauvolumens eines Radarsensors. Die zur Verfügung stehende Fläche und das zur Verfügung stehende Einbauvolumen sind jedoch insbesondere bei Kraftfahrzeuganwendungen, bei denen die Radarsensoren typischerweise in Hohlräumen zwischen Stoßfängern und der Fahrzeugkarosserie untergebracht sind, beschränkt.

Auf Radarbasis arbeitende Umfelderkennungssensoren im Kraftfahrzeugbereich arbeiten aus Kostengründen und Performance-Gründen bei ca. 24 GHz. Bei dieser Frequenz ergibt sich eine minimale Keulenbreite, die einem Winkel von etwa 10° bis 20° entspricht. Im Gegensatz zu den Wünschen nach einer kleinen Keulenbreite steht der Wunsch nach einem möglichst großen Winkelerfassungsbereich pro Sensor, um die Zahl der Sensoren pro Kraftfahrzeug klein zu halten.

Aus anderen technischen Bereichen, in denen die Unterdrückung von Infrastruktur nicht eine so große Rolle spielt wie bei den Kraftfahrzeug-Radarsystemen, sind auch andere Methoden der Winkelmessung bekannt. Zum Beispiel nennt das „Radar Handbook“ von Skolnik, zweite Auflage, Seite 1.12 unter der Überschrift „Angular Direction“ eine Winkelpositionsbestimmung durch Erfassen des Winkels, unter dem eine reflektierte Wellenfront am Radargerät eintrifft. Als Realisierungsmöglichkeit wird eine gerichtete Antenne angegeben, wobei unter einer gerichteten Antenne eine Antenne mit einem schmalen Strahlungsfeld verstanden wird. In einem solchen Fall wird die Winkelposition zum Beispiel durch eine Ausrichtung der Antenne definiert. Als Alternative zu einer Ausrichtung der Antenne kann bei sogenannten phased array Antennen die Richtung des Strahlungsfeldes elektronisch eingestellt werden.

Als weitere Möglichkeit wird bei Skolnik die Erfassung einer Phasendifferenz in voneinander entfernten Empfängern, wie bei einem Interferometer, genannt. Das letztgenannte Verfahren ist auch als Monopulse-Phasendifferenzverfahren bekannt.

Grundsätzlich funktioniert die Winkelbestimmung mit Hilfe der Phasendifferenz nur bei einer einzelnen Reflexion pro Entfernungszelle, was bei Kraftfahrzeug-Anwendungen in der Regel nicht gegeben ist.

Für die Entfernungsbestimmung sind viele Verfahren bekannt (z.B. FMCW = Frequency modulated continuous wave).

Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der Erfindung in der Angabe eines Kraftfahrzeug-Radarsystems und eines Verfahrens der eingangs genannten Art, das jeweils eine weiter verbesserte Winkelauflösung unter Erhaltung der Kosten- und Performance-Vorteile des bekannten Kraftfahrzeug-Mehrstrahl-Radars erzeugt.

Diese Aufgabe wird bei einem Radarsystem der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass das Radarsystem eine Winkellage eines in einer Überdeckung erfassten Objekts nach einer Phasendifferenzmethode bestimmt.

Ferner wird diese Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass die Bestimmung der Winkellage eines in einer Überdeckung erfassten Objekts nach einer Phasendifferenzmethode erfolgt.

Durch diese Merkmale wird die Aufgabe der Erfindung vollkommen gelöst. Die bekannte Segmentierung des Winkelerfassungsbereichs wird beibehalten, was die Kostenvorteile und Performance-Vorteile des bekannten Mehrstrahl-Kraftfahrzeug-Radarsystems und der damit verbundenen Auswertung erhält. Die Segmentierung liefert eine erste, verhältnismäßig grobe Winkelbestimmung und erlaubt eine Ausblendung anderer Objekte, die sich in der gleichen Entfernungszelle, aber in einem anderen Segment befinden. Erfindungsgemäß erfolgt für jedes Segment zusätzlich eine präzise Winkelmessung nach der Phasendifferenzmethode. Objekte, die in anderen Segmenten bei gleicher Entfernung vorhanden sind, beeinflussen die Winkelbestimmung nicht. Die Ergebnisse der Winkel und Entfernungsbestimmung der Teilbereiche werden dann zum Gesamtbereich zusammengefügt. In der Summe ergibt sich dadurch eine präzise Winkel-

Positionsbestimmung, auch wenn mehrere Objekte und/oder ausgedehnte Objekte sich in der gleichen Entfernung befinden.

Mit Blick auf Ausgestaltungen des Radarsystems ist bevorzugt, dass die Überdeckungen für verschiedene Raumrichtungen durch Kombinationen schmaler Sendekeulen mit wenigstens einem breiten Empfangswinkelbereich realisiert werden.

Alternativ ist bevorzugt, dass die Überdeckungen für verschiedene Raumrichtungen durch Kombination schmaler Empfangswinkelbereiche mit schmalen Sendekeulen realisiert werden.

Im Prinzip liefern diese Ausgestaltungen vergleichbare Ergebnisse, wobei die Kombination „schmal-schmal“ eine besonders gute Ausblendung von außerhalb der Überdeckung liegenden Objekten gewährleistet. Außerdem liefert die Ausgestaltung „schmal-schmal“ noch die Möglichkeit, Überdeckungen einzustellen, die schmaler als ein einzelnes Empfangswinkelsegment und/oder eine einzelne Sendekeule sind. Die Ausgestaltung „schmal-breit“ und die weiter unten erwähnte Ausgestaltung „breit-schmal“ für die Sendekeulen und Empfangswinkelbereiche zeichnen sich dagegen durch einen verringerten apparativen Aufwand und Auswertungs- und Steuerungsaufwand aus.

Eine weitere bevorzugte Alternative zeichnet sich durch mehrere Sendeantennen aus, die in verschiedene Raumrichtungen strahlen und sequentiell aktiviert werden.

Diese Ausgestaltung zeichnet sich durch eine besonders einfache Steuerbarkeit und Auswertbarkeit aus, da die Antennen durch einfaches Einschalten und Ausschalten aktiviert, respektive deaktiviert werden können.

Eine alternative Ausgestaltung zeichnet sich durch eine Sendeantenne mit elektronisch verstellbarer Strahlrichtung aus.

Diese Ausgestaltung besitzt den Vorteil, dass nur wenige Antennenelemente nötig sind. Dies ist möglich, weil die Geschwindigkeit der elektronischen Richtungsänderung der Sendekeulen so hoch ist, dass sich das abzutastende Umfeld, also zum Beispiel die Position von Kraftfahrzeugen auf einer Autobahn innerhalb einer in jeweils mehreren Schritten periodisch wiederholenden Abtastung nur unwesentlich ändert, so dass die Abtastung eine schnelle Folge von Momentaufnahmen liefert. Vorteilhaft ist auch, dass sich die Strahlcharakteristik an verschiedene Einbauorte in einem Kraftfahrzeug ohne Änderungen der Antennenstruktur durch Änderungen der Ansteuerung anpassen lässt.

Eine alternative Ausgestaltung sieht vor, dass die Überdeckungen für verschiedene Raumrichtungen durch Kombination schmale Empfangswinkelbereiche mit wenigstens einer breiten Sendekeule realisiert werden.

Diese Ausgestaltung entspricht der weiter oben genannten Kombination „breit-schmal“, deren Vorteile bereits erwähnt wurden.

Bevorzugt ist auch, dass das Radarsystem wenigstens zwei Empfangsantennen aufweist, die räumlich getrennt in einem Abstand angeordnet sind.

Der Abstand wird durch die Anwendung bestimmt und kann zum Beispiel der einer halben mittleren Wellenlänge abgestrahlter Signale entsprechen. Diese Ausgestaltung vereinigt die Vorteile einer guten Winkelauflösung mit den Vorteilen eines geringen Einbauraumbedarfs. Für eine Radarfrequenz von 24 GHz

ergibt sich zum Beispiel ein Abstand in der Größenordnung eines Zentimeters.

Bevorzugt ist auch, dass der Abstand der wenigstens zwei Empfangsantennen so auf eine Winkelbreite der Sendekeulen abgestimmt ist, dass Unterschiede von Phasendifferenzen von Signalen, die an verschiedenen Objekten, die sich im Sende- und Empfangsbereich befinden, kleiner als 360° sind.

Wie weiter unten noch detailliert ausgeführt wird, ergibt sich durch Einhaltung dieser Bedingungen eine eindeutige Winkelbestimmung für einzelne Objekte auch dann, wenn mehrere reflektierende Objekte in dem Empfangswinkelbereich liegen, aber von verschiedenen Sendekeulen bestrahlt werden.

Ferner ist bevorzugt, dass der Abstand der wenigstens zwei Empfangsantennen kleiner als ein 2,5-faches der Wellenlänge der Radarstrahlung ist.

Grundsätzlich verbessert eine Vergrößerung des Abstandes die Genauigkeit, mit der eine Winkellage eines einzelnen reflektierenden Objektes bestimmt werden kann. Andererseits kann eine Vergrößerung des Abstandes bei mehreren reflektierenden Objekten dazu führen, dass die Winkellagen der verschiedenen Objekte nicht voneinander unterscheidbar sind. Der angegebene Wert des Abstands hat sich bei praktischen Versuchen als obere Grenze für Abstände herausgestellt, bei denen die Vorteile der verbesserten Auflösung die Nachteile einer Ununterscheidbarkeit überwiegen oder bei denen die Nachteile einer Ununterscheidbarkeit durch weitere Maßnahmen vermeidbar sind.

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung sieht vor, dass der Abstand der wenigstens zwei Empfangsantennen dem 1,5-fachen der Wellenlänge der Radarstrahlung entspricht.

Dieser Wert stellt bei einer Abwägung der genannten Vorteile und Nachteile einen besonders guten Kompromiss dar, da die Ununterscheidbarkeit noch mit einer Verkleinerung der Winkelbreite der Sendekeulen auf praktisch vernünftige Werte aufgefangen werden kann.

Bevorzugt ist auch, dass eine Winkelbreite der Sendekeule kleiner als etwa 30° ist.

Bei dieser Winkelbreite und einem Abstand von $1,5$ Wellenlängen tritt die unerwünschte Ununterscheidbarkeit nicht auf. Diese Wertepaarung stellt damit eine konkrete Bedingung für den Abstand der Empfangsantennen und die Winkelbreite der Sendekeulen dar, bei deren Einhaltung Unterschiede von Phasendifferenzen von Signalen, die an verschiedenen Objekten, die sich im Empfangsbereich befinden, kleiner als 360° sind.

Ferner ist bevorzugt, dass das Radarsystem Entfernungen zu erfassten Objekten bestimmt.

Die Entfernungsmessung kann zum Beispiel nach einer FMCW-Methode, durch Pulsmodulation oder ohne Frequenz- oder Pulsmodulation bestimmt werden.

Bevorzugt ist auch, dass das Radarsystem Signale in einer Bandbreite um eine Mittenfrequenz von 24 GHz abstrahlt, so dass die bei dieser Frequenz erzielbaren Kosten- und Performance-Vorteile auch bei der zusätzlichen Phasendifferenzmessung erhalten bleiben. Das beschriebene System kann jedoch auch bei anderen Frequenzen, zum Beispiel bei 77 GHz verwendet werden. Maßgeblich sind jeweils geltende gesetzliche Bestimmungen.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der Beschreibung und den beigefügten Figuren.

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen, jeweils in schematischer Form:

- Figur 1 ein Kraftfahrzeug-Radarsystem mit in verschiedene Raumrichtungen weisenden Überdeckungen von Sendekeulen und Empfangswinkelbereichen,
- Figur 2 ein Kraftfahrzeug-Radarsystem wie in Figur 1, das eine Winkelposition eines in einer Überdeckung erfassten Objekts nach einer Phasendifferenzmethode bestimmt,
- Figur 3 eine erste mögliche Realisierung von Überdeckungen,
- Figur 4 eine weitere mögliche Realisierung von Überdeckungen,
- Figur 5 eine alternativ mögliche Realisierung von Überdeckungen,
- Figur 6 eine Ausgestaltung eines Radarsystems mit mehreren Antennen, die in verschiedene Raumrichtungen weisen und sequentiell aktivierbar sind,
- Figur 7 eine Ausgestaltung eines Radarsystems mit elektronischer verstellbarer Strahlrichtung, und

Figur 8 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

Figur 1 zeigt ein Kraftfahrzeug 10 mit einem Radarsystem 12. Das Radarsystem 12 besitzt einen Erfassungsbereich 14, der in verschiedene Segmente aufgeteilt ist. Jedes Segment wird als Überdeckung 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 einer Sendekeule und eines Empfangswinkelbereichs realisiert. Die Überdeckungen 16, ..., 30 weisen in verschiedene Raumrichtungen 32, ..., 46 und werden sequentiell aktiviert, so dass das Radarsystem 12 zu einem bestimmten Zeitpunkt nur Signale aus jeweils einem der Überdeckungen 16, ..., 30 verarbeitet. Der gesamte Erfassungsbereich 14 des Radarsystems 12 wird dabei durch sequentielles Aktivieren der Überdeckungen 16, ..., 30 abschnittsweise abgetastet.

Bei dem bekannten Kraftfahrzeug-Radarsystem wurde dann zum Beispiel für ein Objekt 48, das in einer Überdeckung 24 erfasst wird, die Entfernungszelle 49 bestimmt und für die Winkelposition des Objektes 48 wurde die Lage der zugehörigen Raumrichtung 40 verwendet. Die Winkelpositionen wurden daher nur mit einer Auflösung bestimmt, wie sie in der Figur 1 durch den Abstand von zwei benachbarten Raumrichtungspfeilen, zum Beispiel den Raumrichtungspfeilen 38 und 40 in der Figur 1 vorgegeben ist.

Figur 2 verdeutlicht die Phasendifferenzmethode, die im Rahmen der Erfindung für eine verbesserte Winkelauflösung verwendet wird. Dabei wird die Phasendifferenzmethode für jede der Überdeckungen 16, ..., 30 separat durchgeführt. Im Beispiel der Figur 2 handelt es sich um die Überdeckung 24, in der sich wieder das Objekt 48 befindet. Das Radarsystem 12 weist eine Sendestruktur 50, also eine Antennenanordnung mit zugehöriger Energieerzeugung und Steuerung auf. Die Sendestruktur 50 strahlt Radarwellen mit einer Wellenlänge λ

ab, die in der Figur 2 nicht maßstäblich zu den übrigen Abmessungen, insbesondere dem Abstand des Radarsystems 12 vom Objekt 48, dargestellt ist. Bei einem Radarsystem, das bei einer Frequenz von 24 GHz arbeitet, ergibt sich zum Beispiel eine Wellenlänge von ca. 1,2 - 1,3 cm.

Neben den Sendestrukturen 50 weist das Radarsystem 12 insbesondere zwei Empfangsstrukturen 52 und 54 auf, die durch einen bestimmten Abstand d voneinander getrennt sind. Der Abstand d entspricht zum Beispiel der halben Wellenlänge $\frac{\lambda}{2}$ der abgestrahlten Radarwellen, kann jedoch, je nach Anwendung, auch andere Werte besitzen.

Aufgrund der räumlichen Trennung der Empfangsstrukturen 52, 54 werden Wellen, die vom Objekt 48 reflektiert wurden, an den Empfangsstrukturen 52 und 54 mit gegeneinander verschobener Phase registriert. Die Linien 58 und 60 repräsentieren die Wege reflektierter Signale zwischen Objekt 48 und Empfangsstruktur 52 beziehungsweise 54. Der Wegunterschied d_l wird als Phasenverschiebung $d\phi$ von dem Radarsystem 12 erfasst und zur Bestimmung des Winkels ϑ verwendet. Der Winkel ϑ beschreibt die Winkelposition des Objekts 48 relativ zu einer Normalen 56 des Radarsystems 12. Ergänzend wird die Entfernung des Objektes 48 zum Beispiel nach der FMCW-Methode bestimmt, bei der die Frequenz der abgestrahlten Radarsignale variiert wird. Vom Empfänger registrierte reflektierte Signale besitzen daher eine Frequenz, die vom Sender vor einer Zeit Δt abgestrahlt wurde. Daher lässt sich aus der empfangenen Frequenz Δt und damit die Entfernung des reflektierenden Objektes bestimmen. Alternativ zu der dargestellten Anordnung, bei der je eine Empfangsstruktur 52, 54 links, beziehungsweise rechts von der Sendestruktur 50 angeordnet ist, können die beiden Empfangsstrukturen 52, 54 auch gemeinsam auf einer Seite der Sendestruktur 50 angeordnet sein. Selbstverständlich müssen

sie auch in diesem Fall durch einen räumlichen Abstand getrennt sein.

Der räumliche Abstand d liegt typischerweise in einem Bereich zwischen einer halben Wellenlänge und 2,5 Wellenlängen, bevorzugt bei 1,5 Wellenlängen.

Die Ermittlung der Phasendifferenz zweier Empfangssignale, die mit dem in der Fig. 2 dargestellten Wegunterschied d_l korreliert, kann nur innerhalb eines Eindeutigkeitsbereich von 360° , bezogen auf die Phasendifferenz, erfolgen. D.h. eine tatsächliche Phasendifferenz a , die größer als 360° ist, erscheint als eine gemessene Phasendifferenz von $a - n \cdot 360^\circ$, wobei n in der Regel unbekannt ist.

Bei einer Separation der Empfangsantennen 52, 54, die kleiner als eine halbe Wellenlänge oder gleich der halben Wellenlänge ist, kann aus der Phasendifferenz der beiden Empfangssignale eindeutig auf den Winkel, unter dem die vom einem Objekt reflektierte Welle einstrahlt, geschlossen werden.

Durch eine Vergrößerung des Abstandes zwischen den Empfangsantennen wird nun die gemessene Phasendifferenz der beiden Empfangssignale größer. Der Vorteil besteht darin, dass der zugehörige Winkel genauer bestimmt werden kann, da das Phasendifferenzsignal für ein einzelnes Objekt größer ist. Der Nachteil besteht darin, dass die Phasendifferenz größer als 360° werden kann und somit eine Winkelzuordnung nicht eindeutig auf Basis der Empfangssignalen möglich ist.

Um den Vorteil unter Vermeidung des Nachteils zu erzielen, werden schmale Sendekeulen 16,, 30 benutzt, die jeweils nur einen kleinen, auf den Abstand d der Empfangsantennen angepassten Winkelbereich auszuleuchten. Die Winkelbreite beträgt zum Beispiel 10° bis etwa 30°

bei einem Abstand d der Empfangsantennen 52, 54, der dem 1,5-fachen der Wellenlänge der Radarstrahlen entspricht.

Die beiden Empfangseinrichtungen 52 und 54 haben einen räumlichen Abstand d . Das Objekt 48 erzeugt eine Phasendifferenz φ_1 entsprechend einem Wegunterschied d_1 . Ein Objekt 51, das in einer weiteren Sendekeule liegt, erzeugt eine Phasendifferenz φ_2 entsprechend einem Wegunterschied d_2 . Falls für die beiden Phasendifferenzen z.B. die Beziehung $\varphi_2 = 360^\circ + \varphi_1$ gilt, so kann der Winkel des Objektes 48 von dem Winkel des Objektes 51 nicht allein aus den auftretenden Phasendifferenzen unterschieden werden. Das Objekt 48 liegt innerhalb einer Sendekeule mit einer ersten Raumrichtung. Das Objekt 51 liegt innerhalb einer Sendekeule mit einer zweiten Raumrichtung. Zum Zeitpunkt der Bestimmung jeder Phasendifferenz φ_1 , φ_2 ist bekannt, ob die Sendekeule in die erste Raumrichtung oder in die zweite Raumrichtung strahlt.

Mit dieser A-priori Information kann eindeutig sowohl auf die Winkelposition des Objektes 48 als auch auf die Winkelposition des Objektes 51 geschlossen werden, wenn der von einer Sendekeule, z.B. der Sendekeule 24 abgedeckte Winkelbereich kleiner als der Eindeutigkeitsbereich der Phasenmessung ist.

Grundsätzlich gelten bei der Dimensionierung des Abstandes der Empfangsantennen 52 und 54 die folgenden Zusammenhänge:

Ein großer Abstand der Empfänger 52, 54 liefert eine vergleichsweise große Phasenänderung, so dass eine solche Anordnung sehr winkelsensitiv ist.

Speziell für weit entfernte Ziele ist eine solche sensitive Anordnung hilfreich, um dem Objekt, zum Beispiel einem Fahrzeug, eine Fahrspur zuordnen zu können oder allgemein

eine ausreichende laterale Genauigkeit zu erreichen. Die Phasendifferenz ist eindeutig im Bereich von Werten der Phasendifferenz von $\pm 180^\circ$ bzw. $\pm \text{Wellenlänge}/2$. Ohne Beschränkungen des Sichtfeldes der Winkelmessung wäre dann ein noch kleinerer Abstand der beiden Empfänger 52, 54 erforderlich, um Winkel im Bereich von $\pm 180^\circ$ der Phasendifferenz abzudecken.

Wird das Sichtfeld des Sensors dagegen eingeschränkt, z.B. durch Beleuchtung eines Teilbereichs mit einer entsprechend schmalen Sendekeule, so kann der Abstand der Empfänger 52 und 54 auch größer sein, was zu der gewünschten erhöhten Sensitivität führt.

Die Figuren 3 - 5 zeigen verschiedene Möglichkeiten der Realisierung von Überdeckungen. In der Figur 3 liegt eine schmale Sendekeule 62 in einem breiten Empfangswinkelbereich 64 und bildet dadurch eine Überdeckung 66. Der breite Empfangswinkelbereich 64 entspricht in diesem Fall dem gesamten Erfassungsbereich 14 des Radarsystems 12. Im Betrieb des Radarsystems 12 wird der Erfassungsbereich 14 abschnittsweise durch Versetzen der Sendekeule 62 und damit der Überdeckung 66 abgetastet.

Figur 4 zeigt gewissermaßen eine komplementäre Realisierung, bei der der Erfassungsbereich durch eine breite Sendekeule 68 gebildet wird. Überdeckungen 70 werden in diesem Fall durch schmale Empfangswinkelbereiche 72 erzeugt, mit denen die breite Sendekeule 62 abschnittsweise abgetastet wird.

Figur 5 zeigt, wie durch ein Überlappen einer schmalen Sendekeule 74 und eines schmalen Empfangswinkelbereichs 76 eine noch schmalere Überdeckung 78 erzeugt wird, die ebenfalls zur abschnittsweise erfolgenden Abtastung des Erfassungsbereichs 14 dient.

Figur 6 zeigt eine Ausgestaltung eines Radarsensors 12 mit mehreren schaltbaren Sendeantennen 80, 82, 84, die in verschiedene Raumrichtungen weisen und jeweils gerichtete, schmale Sendekeulen erzeugen. Über von einer Steuerung 92 betätigte Schalter 86, 88, 90 werden die Sendeantennen 80, 82, 84 sequentiell mit einer Radarsignal-Generator- und Auswerteeinheit 94 verbunden. Wenigstens ein Paar von räumlich getrennten Empfangsantennen 96, 98 ist ebenfalls mit der Auswerteeinheit 94 verbunden und erzeugt einen breiten Empfangswinkelbereich, der durch sequentiell erfolgreiches Aktivieren der Sendeantennen 80, 82, 84 abschnittsweise abgetastet wird.

Figur 7 zeigt eine Ausgestaltung eines Radarsystems 12 mit elektronisch verstellbarer Senderichtung und/oder Empfangsrichtung. Das Radarsystem 12 enthält mehrere Sendeantennen 100, 102, 104, die von einer Radarsignal-Generator- und Auswerteeinheit 106 über Sendeverstärker 108, 110, 112 zur Abstrahlung von Signalen angeregt werden. Dabei erfolgt die Anregung der Sendeantennen 100, 102, 104 phasengekoppelt mit einer von der Einheit 106 steuerbaren Phasenverschiebung. Die Steuerung der Phasenverschiebung erfolgt durch starre oder steuerbare Phasenschieber 114, 116 und 118, die zwischen den Sendeverstärkern 108, 110, 112 und den Sendeantennen 100, 102, 104 angeordnet sind. Als Phasenschieber kommen beispielsweise Leiterabschnitte mit umschaltbarer oder umsteuerbarer Leiterlänge oder steuerbare Zeitverzögerungsschaltungen in Frage, wobei solche Realisierungen hier lediglich als Beispiel dienen sollen und ihre Aufzählung keinen abschließenden Charakter besitzt.

Im Ergebnis strahlen die Sendeantennen 100, 102, 104 phasengekoppelt Wellen 120, 122 und 124 ab, die sich zu Wellenfronten 126 konstruktiv überlagern und als in eine Vorzugsrichtung 128 gerichtete Sendekeule abgestrahlt werden. Die gezeigte Anordnung stellt damit eine Möglichkeit einer

Sendekeulen-Erzeugung und einer phasengekoppelten Anregung von mehreren Sendeantennen 100, 102, 104 nach dem sogenannten "Phased Array"-Prinzip dar. Die Breite der resultierenden Sendekeule kann mit zunehmender Zahl der beteiligten Sendeantennen verringert werden. Es versteht sich daher, dass die Zahl der Antennenelemente, die an der Erzeugung einer Sendekeule beteiligt sind, auch größer oder kleiner als 3 sein kann.

In der Ausgestaltung der Figur 7 ist weiter wenigstens ein Paar von räumlich getrennten Empfangsantennen 130, 132 vorgesehen, die von einem Objekt reflektierte Signale empfangen und an die Auswerteeinheit 106 übergeben. Es versteht sich, dass anstelle separater Empfangsantennen 130 und 132 auch eine Auswahl von Sendeantennen mit nachgeschalteten Sende- und Empfangsweichen für den Empfang reflektierter Signale verwendet werden kann. Zwischen die Empfangsantennen 130 und 132 sind Empfangsverstärker mit niedrigem Rauschanteil (Low Noise Amplifier) 134 und 136 sowie steuerbare Phasenschieber 138, 140 geschaltet, die eine elektronische Schwenkung des Empfangswinkelbereichs erlauben. Die Auswerteeinheit 106 bestimmt aus den reflektierten Signalen eine Winkelposition des reflektierenden Objektes durch die weiter oben im Detail erläuterte Phasendifferenzmethode.

Ein Ausführungsbeispiel eines entsprechenden Verfahrens wird im Folgenden unter Bezug auf die Figur 8 erläutert. In einem Schritt 142 erfolgt das Richten einer Überdeckung einer Sendekeule und eines Empfangswinkelbereiches in eine Raumrichtung R_n . Anschließend erfolgt im Schritt 144 eine Bestimmung der Winkellage eines innerhalb der Überdeckung erfassten Objektes. Dabei erfolgt die Bestimmung der Winkellage nach der Phasendifferenzmethode. Zusätzlich wird die Entfernung des Objektes von dem Radarsystem 12 bestimmt.

Daran schließt sich im Schritt 146 ein Zusammenfügen von aus verschiedenen Überdeckungen erhaltenen Ergebnissen zu einem nach Raumrichtungen R_n differenzierten Gesamtergebnis an. Im Schritt 148 wird überprüft, ob der Index n einem Wert N entspricht, der die Zahl von Überdeckungen angibt, die nötig sind, um einen Erfassungsbereich des Radarsystems 12, beispielsweise den Erfassungsbereich 14 aus der Figur 1, abschnittsweise abzutasten.

Solange n ungleich N ist, wird aus dem Schritt 148 in den Schritt 150 verzweigt, in dem der Index n um 1 erhöht wird. Dadurch wird die Schrittfolge aus den Schritten 142, 144, 146, 148 und 150 wiederholt durchlaufen, wodurch sich insbesondere im Schritt 140 ein sequentiell erfolgreiches Abtasten verschiedener Raumrichtungen ergibt. Wenn n den Wert N erreicht, ist der Erfassungsbereich 14 einmal vollständig abgetastet worden und es schließt sich ein Schritt 152 an, in dem der Index n erneut auf den Wert 1 gesetzt wird, was den Beginn einer erneuten Abtastung des Erfassungsbereiches 14 auslöst.

Patentansprüche

1. Kraftfahrzeug-Radarsystem (12), das Entfernungen und Winkellagen von Objekten (48) relativ zu einem Kraftfahrzeug (10) erfasst und dabei eine Überdeckung (16, ..., 30; 66, 70, 78) einer Sendekeule (62, 68, 74,) und eines Empfangswinkelbereichs (64, 72, 76) sequentiell in verschiedene Raumrichtungen (32, ..., 46) richtet, für jede Raumrichtung (32, ..., 46) die Winkellage eines innerhalb der Überdeckung (16, ..., 30; 66, 70, 78) erfassten Objektes (48) bestimmt, und Ergebnisse aus verschiedenen Überdeckungen (16, ..., 30; 66, 70, 78) zu einem nach Raumrichtungen (32, ..., 46) differenzierten Gesamtergebnis zusammenfügt, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Radarsystem (12) eine Winkellage eines in einer Überdeckung (16, ..., 30; 66, 70, 78) erfassten Objekts (48) nach einer Phasendifferenzmethode bestimmt.
2. Radarsystem (12) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Überdeckungen (16, ..., 30; 66, 70, 78) für verschiedene Raumrichtungen (32, ..., 46) durch Kombinationen schmaler Sendekeulen (62) mit wenigstens einem breiten Empfangswinkelbereich (64) realisiert werden.
3. Radarsystem (12) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Überdeckungen (16, ..., 30; 66, 70, 78) für verschiedene Raumrichtungen (32, ..., 46) durch Kombination schmaler Empfangswinkelbereiche (76) mit schmalen Sendekeulen (74) realisiert werden.
4. Radarsystem (12) nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch mehrere Sendeanennen (80, 82, 84), die in verschiedene Raumrichtungen (32, ..., 46) strahlen und sequentiell aktiviert werden.

5. Radarsystem (12) nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine Sendeantenne (100, 102, 104) mit elektronisch verstellbarer Strahlrichtung.
6. Radarsystem (12) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Überdeckungen (16, ..., 30; 66, 70, 78) für verschiedene Raumrichtungen (32, ..., 46) durch Kombination schmaler Empfangswinkelbereiche (72) mit wenigstens einer breiten Sendekeule (68) realisiert werden.
7. Radarsystem (12) nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Radarsystem (12) wenigstens zwei Empfangsantennen (52, 54; 130, 132) aufweist, die räumlich getrennt in einem Abstand angeordnet sind.
8. Radarsystem (12) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (d) der wenigstens zwei Empfangsantennen (52, 54) so auf eine Winkelbreite der Sendekeulen abgestimmt ist, dass Unterschiede von Phasendifferenzen von Signalen, die an verschiedenen Objekten (48, 51), die sich im Sende- und Empfangsbereich befinden, kleiner als 360° sind.
9. Radarsystem (12) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (d) der wenigstens zwei Empfangsantennen (52, 54) kleiner als ein 2,5-faches der Wellenlänge der Radarstrahlung ist.
10. Radarsystem (12) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (d) der wenigstens zwei Empfangsantennen (52, 54) dem 1,5-fachen der Wellenlänge der Radarstrahlung entspricht.
11. Radarsystem (12) nach wenigstens einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Winkelbreite der Sendekeule kleiner als 30° ist.

12. Radarsystem (12) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es Entfernungen zu erfassten Objekten (48) nach einer Laufzeitmethode oder nach einer FMCW-Methode bestimmt.
13. Radarsystem (12) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Radarsystem (12) Signale in einer Bandbreite um eine Mittenfrequenz abstrahlt.
14. Verfahren zur Bestimmung von Entfernungen und Winkellagen von Objekten (48) relativ zu einem Kraftfahrzeug (10) mit den Schritten: sequentiell in verschiedene Raumrichtungen (32,...,46) erfolgendes Richten einer Überdeckung (16,...,30; 66, 70, 78) einer Sendekeule (62, 68, 74) und eines Empfangswinkelbereichs (64, 72, 76), für jede der Raumrichtungen (32,...,46) erfolgendes Bestimmen der Winkellage eines innerhalb der Überdeckung (16,...,30; 66, 70, 78) erfassten Objektes (48) und Zusammenfügen von aus verschiedenen Überdeckungen (16,...,30; 66, 70, 78) erhaltenen Ergebnissen zu einem nach Raumrichtungen (32,...,46) differenzierten Gesamtergebnis, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bestimmung der Winkellage eines in einer Überdeckung (16,...,30; 62, 70, 78) erfassten Objekts (48) nach einer Phasendifferenzmethode erfolgt.

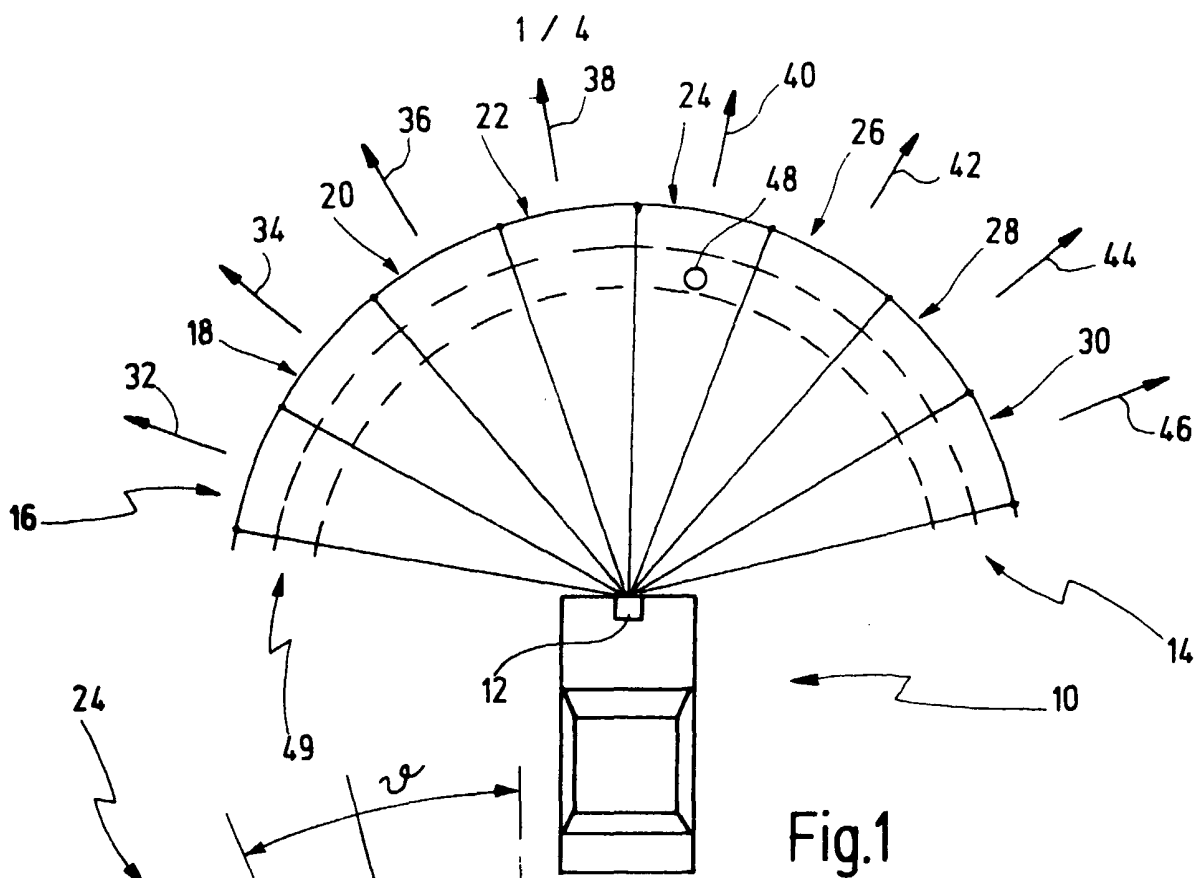


Fig.1

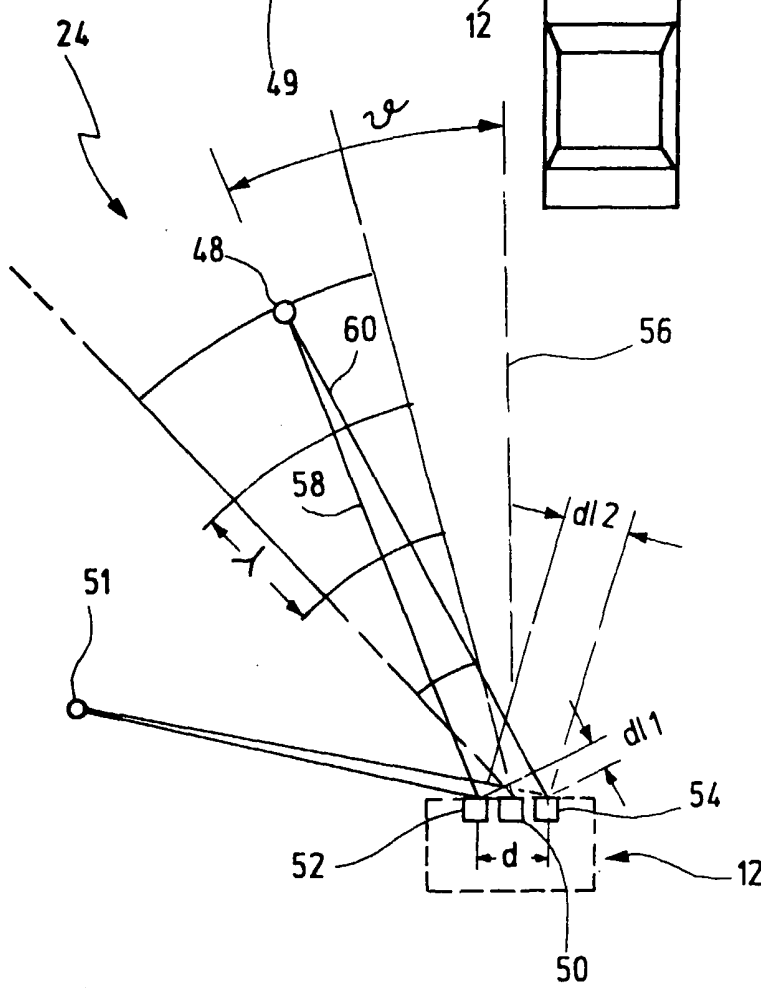
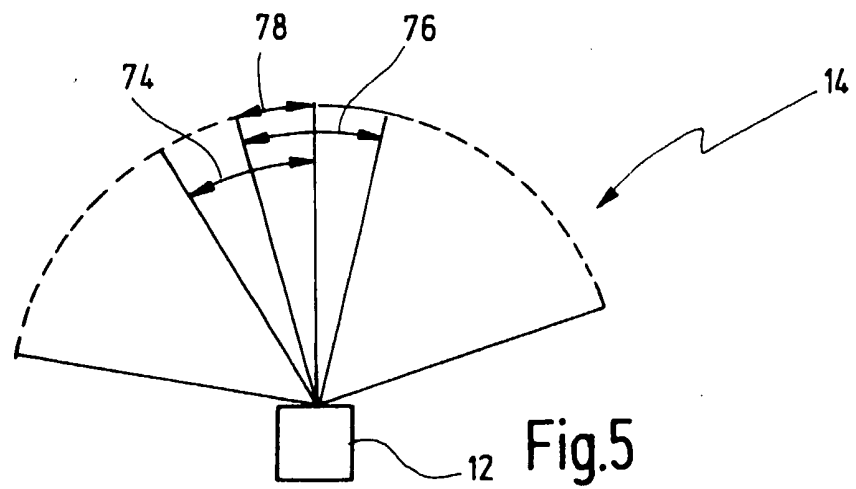
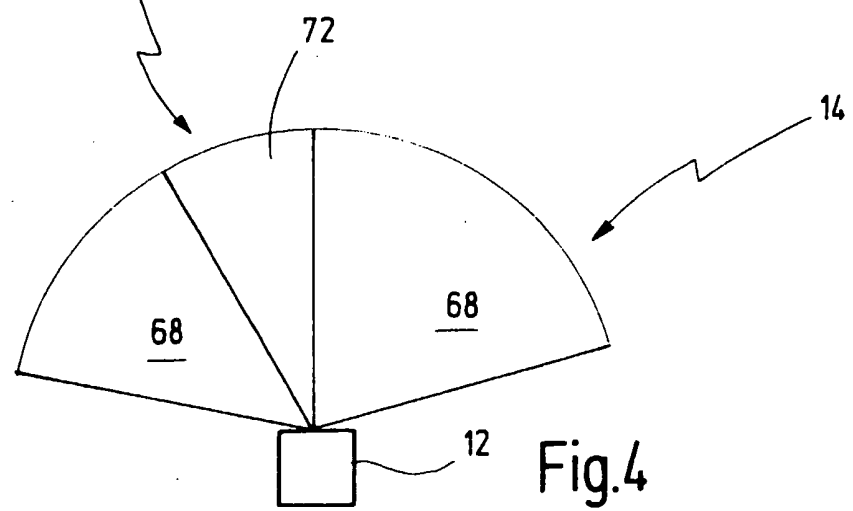
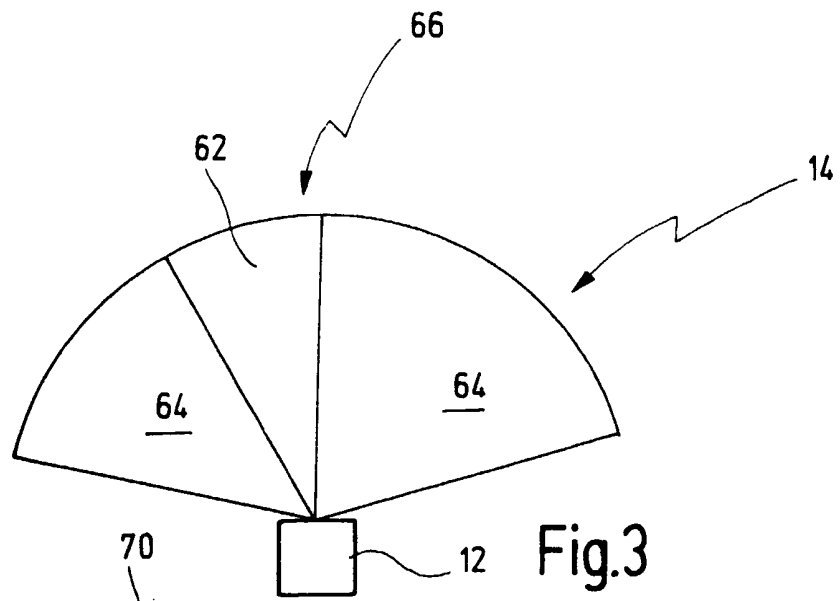
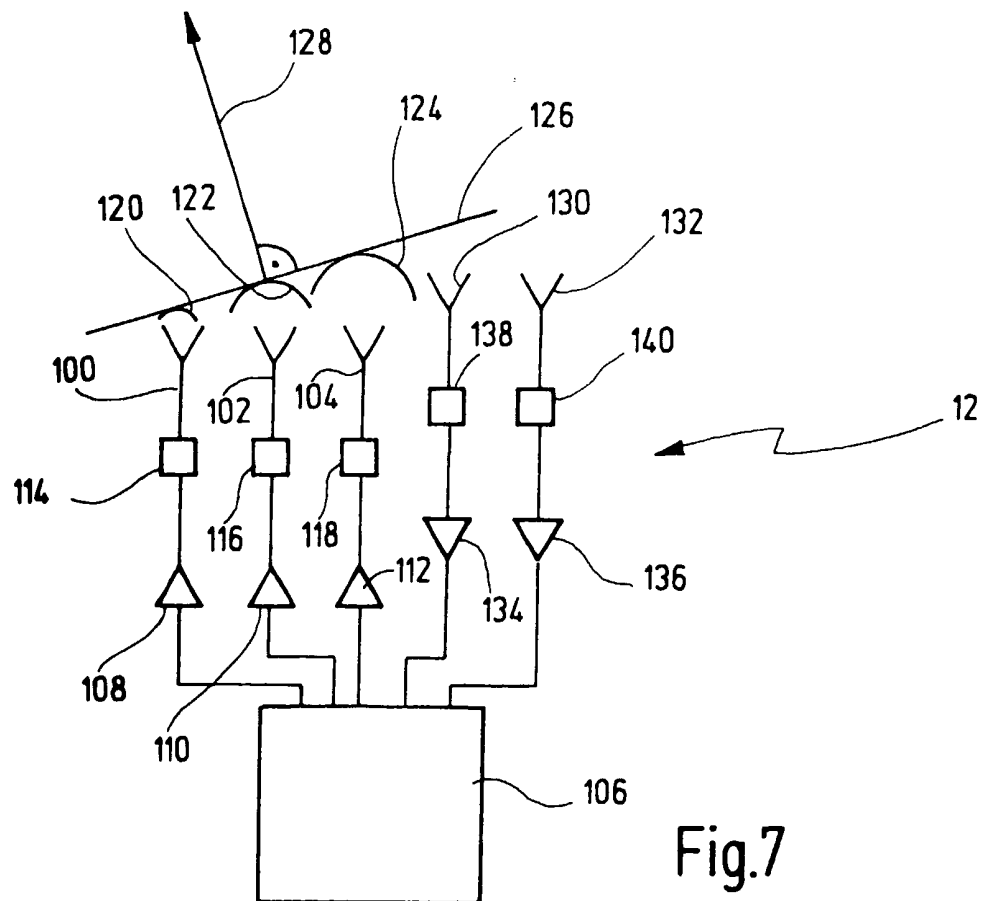
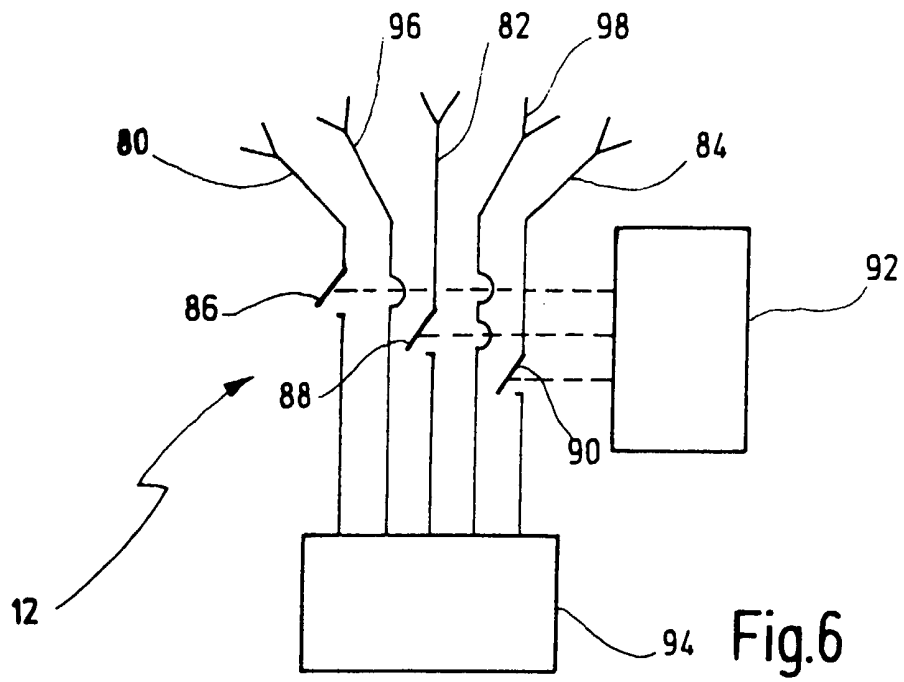


Fig.2

2 / 4





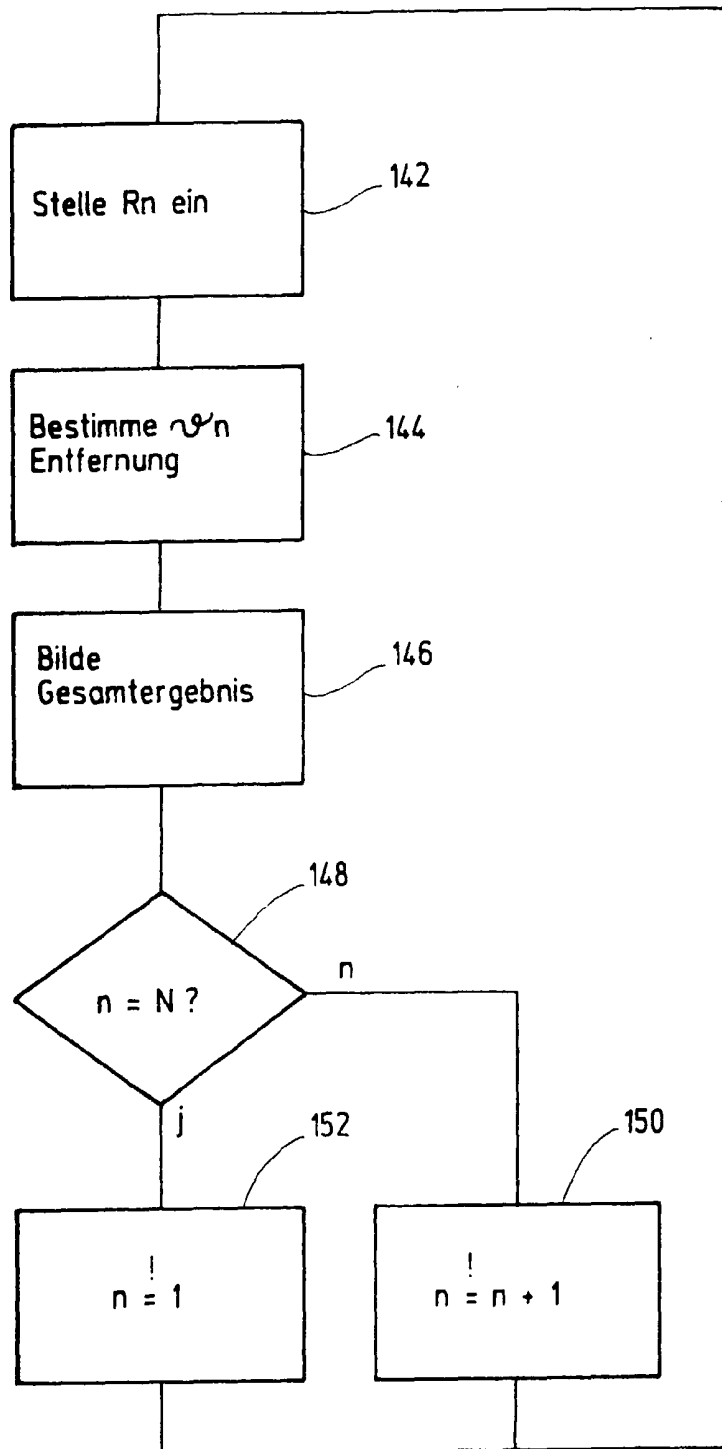


Fig.8