

(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
23. Dezember 2015 (23.12.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/192156 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01S 7/52 (2006.01) G01S 15/87 (2006.01)
G01S 7/527 (2006.01) G01S 15/10 (2006.01)
G01S 15/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2015/050149

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Juni 2015 (15.06.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 50415/2014 16. Juni 2014 (16.06.2014) AT

(71) Anmelder: TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
[AT/AT]; Karlsplatz 13, A-1040 Wien (AT).

(72) Erfinder: SCHWEINZER, Herbert; Klampfelberggasse
8, A-1170 Wien (AT). WALTER, Christian; Lorenz
Boehler Gasse 4/4, A-1200 Wien (AT).

(74) Anwalt: SONN & PARTNER PATENTANWÄLTE;
Riemergasse 14, 1010 Vienna (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ULTRASOUND SENSOR AND METHOD FOR LOCATING OBJECTS

(54) Bezeichnung : ULTRASCHALLSENSOR UND VERFAHREN ZUR ORTUNG VON OBJEKTEN

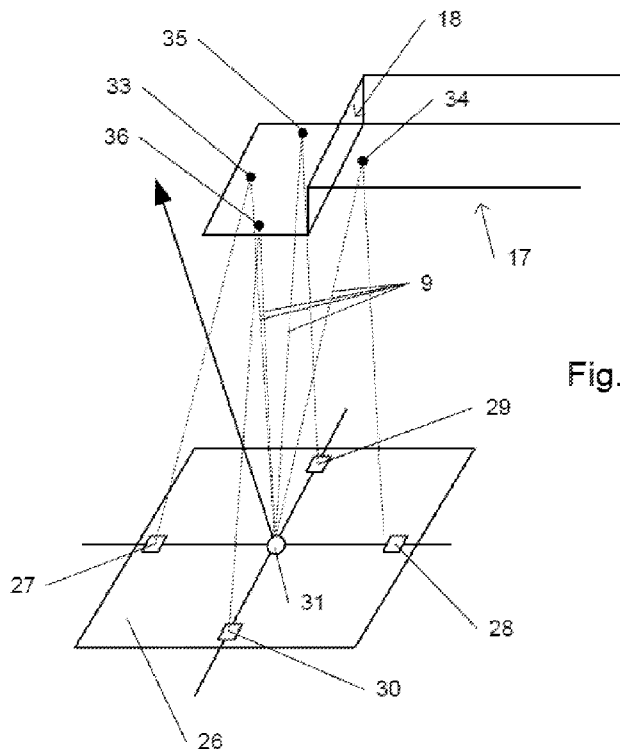


Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to an ultrasound sensor (26, 37, 41) and to a method for locating objects (7, 8, 17) in space by means of such an ultrasound sensor (26, 37, 41), which ultrasound sensor comprises at least four ultrasound receivers (27, 28, 29, 30), wherein an ultrasound signal (42 or 9) is emitted by an ultrasound transmitter (43 or 41) that is external or that is comprised by the ultrasound sensor (26) and an ultrasound signal (11) reflected at at least one associated reflection point (33, 34, 35, 36) is received by the ultrasound receivers (27, 28, 29, 30) of the ultrasound sensor (26) and is evaluated in order to obtain at least one object position, characterized in that, in the case of a plurality of object positions obtained in parallel, the object positions are selected in accordance with a selection criterion, which is defined in that the at least four reflection points (33, 34, 35, 36) each associated with the object position lie approximately in a common plane in space.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Ultraschallsensor (26, 37, 41) und Verfahren zur Ortung von Objekten (7, 8, 17) im Raum mit Hilfe eines solchen Ultraschallsensors (26, 37, 41), der zumindest vier Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30) aufweist, wobei von einem externen oder von dem Ultraschallsensor (26) umfassten Ultraschallsender (43 bzw. 31) ein Ultraschallsignal (42 bzw. 9) abgestrahlt wird und von den Ultraschallempfängern (27, 28, 29, 30) des Ultraschallsensors (26) jeweils ein in zumindest einem zugeordneten Reflexionspunkt (33, 34, 35, 36) reflektiertes Ultraschallsignal (11) empfangen und zur Gewinnung zumindest einer Objektposition ausgewertet wird, dadurch gekennzeichnet, dass bei mehreren parallel gewonnenen Objektpositionen diese nach einem Selektionskriterium selektiert werden, welches dadurch definiert ist, dass die der Objektposition jeweils zugeordneten zumindest vier Reflexionspunkte (33, 34, 35, 36) näherungsweise in einer gemeinsamen Ebene im Raum liegen.

Ultraschallsensor und Verfahren zur Ortung von Objekten

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ortung von Objekten im Raum mit Hilfe eines Ultraschallsensors und einen entsprechenden Ultraschallsensor mit zumindest vier Ultraschallempfängern, wobei von einem externen oder von dem Ultraschallsensor umfassten Ultraschallsender ein Ultraschallsignal abgestrahlt wird und von den Ultraschallempfängern jeweils ein in zumindest einem zugeordneten Reflexionspunkt reflektiertes Ultraschallsignal empfangen und zur Gewinnung zumindest einer Objektposition in einer Auswerteeinheit ausgewertet wird, welche mit den Ultraschallempfängern verbunden ist.

Insbesondere betrifft die Erfindung einen Ultraschallsensor bzw. ein von dem Ultraschallsensor implementiertes Verfahren für eine zuverlässige Ortung von dreidimensionalen Objektpositionen (3D-Ortung) relativ zur Position des Ultraschallsensors anhand von dreidimensionalen Reflexionspunkten im Raum mittels Ultraschall. Dabei zielt die Erfindung vor allem auf beliebige nicht konkave Objekte ab. Als Reflexionspunkt wird hier ein Punkt auf einem zu ortenden Objekt bezeichnet, an dem das vom Ultraschallsender abgestrahlte Ultraschallsignal reflektiert wird, bevor es zu einem der Ultraschallempfänger gelangt. Ein Reflexionspunkt ist daher jener Punkt auf der Oberfläche des Objekts, in dem die Reflexionsbedingung für einen bestimmten Ultraschallsender und einen bestimmten, nämlich den zugeordneten Ultraschallempfänger (d.h. ein bestimmtes Sender-Empfänger-Paar) erfüllt ist. Im Allgemeinen sind daher die den Empfängern zugeordneten Reflexionspunkte nicht identisch bzw. gibt es pro Objekt so viele Reflexionspunkte wie Empfänger. Der Ultraschallsensor ist zur Messung der Laufzeiten eines vom Ultraschallsender abgestrahlten, in den Reflexionspunkten reflektierten und von den Ultraschallempfängern empfangenen Ultraschallsignals eingerichtet. Aus den gemessenen Laufzeiten lässt sich bei bekannter Schallgeschwindigkeit der Abstand zwischen dem Ultraschallsensor und den Reflexionspunkten, bzw. – genau genommen – die Summe der Abstände zwischen Ultraschallsender und Reflexionspunkt und Reflexionspunkt und Ultraschallempfänger, ableiten. Der Ultraschallsensor kann grundsätzlich als aktive Sensoreinrichtung mit einem eigenen Ul-

traschallsender oder als passive Sensoreinrichtung ohne einen eigenen Ultraschallsender ausgeführt sein. Die Ultraschallempfänger bzw. die Ultraschallsender sind nicht nur aus konstruktiven Gründen, sondern auch um eine entsprechende Ortsauflösung zu erzielen, in Abständen voneinander angeordnet. Im Allgemeinen liegen daher bei mehreren Ultraschallsendern und/oder mehreren Ultraschallempfängern für dasselbe bzw. am selben Objekt verschiedene Reflexionspunkte vor. Jeder Reflexionspunkt ist dabei einem bestimmten Sender-Empfänger-Paar zugeordnet, wobei der Einfachheit halber bei einem einzigen Sender von einer Zuordnung zu den Empfängern gesprochen werden kann bzw. umgekehrt.

Es ist hinlänglich bekannt, mittels Ultraschallsensoren die Laufzeit eines ersten reflektierten Ultraschallsignals (nachfolgend auch kurz Echo genannt) zu messen und daraus unter der Annahme, dass der Ursprung des Echos auf einer akustischen Achse des Sensors liegt, diesen Ursprung, welcher dem Reflexionspunkt des Echos entspricht, zu orten. Derartige Sensoren sind für eine echte dreidimensionale Ortung jedoch ungeeignet, da keine Information über die Richtung des Echos gewonnen wird. Zudem sind diese Sensoren typischer Weise auf ein sehr enges Sehfeld eingeschränkt (d.h. es werden Echos nur aus einem engen Raumwinkel empfangen), um etwaige Fehler bei der Annahme, dass der Ursprung des Echos auf einer akustischen Achse des Sensors liegt, zu reduzieren.

Darüber hinaus wurden bereits Sensoreinrichtungen zur 3D-Ortung von Objekten mit mehreren Sendern und/oder Empfängern vorgeschlagen. Um die nötige Richtungsinformation zu erhalten, sind mindestens drei Laufzeitmessungen erforderlich. Daher weisen etwa Sensoreinrichtungen zur Gestenerkennung mittels Ultraschall, wie sie für mobile Endgeräte vorgeschlagen wurden, in der Regel mehrere Sender auf. Beispielsweise zeigt die WO 2011/048433 A1 ein System mit mehreren Sendern und Empfängern zur Ermittlung mehrerer Echos und zur Berechnung der 3D Positionsinformation einer Handbewegung. Weiters wurde von Kaniak et al. (Kaniak, G.; Schweinzer, H., "A 3D Airborne Ultrasound Sensor for High-Precision Location Data Estimation and Conjunction," Instrumentation and Measurement Technology Conference

Proceedings, 2008. IMTC 2008. IEEE, pp.842,847, 12-15 May 2008, doi: 10.1109/IMTC.2008.4547154) bereits eine Sensoreinrichtung mit vier Ultraschallempfängern (Mikrofonen) zur Ortung der Reflexionspunkte beschrieben.

Den bekannten Einrichtungen und Verfahren ist gemein, dass sie mit mehrfachen Echos und/oder überlagerten Echos, sowie mit Situationen bei denen die Objektpositionen deutlich von den bei der Ortung, d.h. bei der Berechnung der Objektpositionen, verwendeten Modellen abweichen, nicht in geeigneter Weise umgehen können. Insbesondere kommt es zu Schwierigkeiten, wenn die Laufzeitunterschiede zwischen zwei Echos an verschiedenen Objekten gering sind. Bei mehr als einem Objekt kann daher oft nicht mehr eindeutig festgestellt werden, welche Echos zusammengehören und für die Berechnung der Objektposition kombiniert werden müssen. Jene Objekte, welche weiter als der maximale Abstand zwischen zwei Empfängern voneinander entfernt sind, können noch relativ leicht auseinander gehalten werden, da die Laufzeitunterschiede zwischen den Echos bei einem einzelnen Objekt nicht größer sein dürfen, als durch den Abstand zwischen den Empfängern vorgegeben. Wenn die Objekte allerdings näher beisammen liegen bzw. einen sehr ähnlichen Abstand von der Sensoreinrichtung haben, kann nur schwer festgestellt werden, welche Echos zusammengehören, d.h. ihren Ursprung bzw. Reflexionspunkt am selben Objekt haben. Zur Umgehung dieses Problems wurden bereits aufwendige Verfahren vorgeschlagen, bei denen beispielsweise anhand der Phasen- und Amplitudeninformation des Echos eine Zuordnung rekonstruiert werden soll. Bei einfacheren Methoden werden lediglich solche Kombinationen verworfen, für die keine geometrische Lösung für eine entsprechende Objektposition vorliegt. Dadurch werden jedoch bei weitem nicht alle Mehrdeutigkeiten aufgelöst, insbesondere wenn mehr als drei Laufzeitmessungen vorliegen bzw. kombiniert werden können.

Solange die Ultraschallempfänger relativ nahe beisammen angeordnet sind und alle Reflexionspunkte auf demselben Objekt liegen, kann die Objektposition anhand der Reflexionspunkte relativ genau ermittelt werden bzw. kann der durch die Verwendung verschiedener Reflexionspunkte gemachte Fehler – je nach gegebenen

Genauigkeitsanforderungen und Geometrie der Objekte (optimal sind Objekten mit ebenen oder konvexen Oberflächen, während bei konkaven Oberflächen mit vergleichsweise größeren Fehlern gerechnet werden muss) – vernachlässigt werden. Wenn die Reflexionspunkte jedoch auf unterschiedlichen Objekten liegen, kann dies zu falschen Objektpositionen führen. Dies liegt daran, dass die einzelnen Laufzeitmessungen lediglich Abstandmessungen sind und keine Richtungsinformation enthalten. Die Richtungsinformation kann erst aus den Abweichungen zwischen den einzelnen Laufzeitmessungen abgeleitet werden.

Es ist Aufgabe der Erfindung, die im Stand der Technik beobachteten Nachteile zu beheben und einen Ultraschallsensor bzw. ein Verfahren zum Betrieb eines solchen Ultraschallsensors zu schaffen, welcher genaue und zuverlässige dreidimensionale Ortungsdaten (in Form von Objektpositionen) bereitstellt und somit die Verarbeitung und letztlich die praktische Verwendung der gewonnenen Ortungsdaten erleichtert. Insbesondere ist es Aufgabe der Erfindung, mit einem einzelnen Ultraschallsensor eine parallele Ortung von mehreren Objekten in einem möglichst weiten Raumwinkel bei zugleich weitgehender Vermeidung von Objektpositions-Artefakten (falsch erkannter Objektpositionen), welche insbesondere auf Unstetigkeitsstellen in den Objektoberflächen zurückzuführen sind, zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs angeführten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass bei mehreren parallel gewonnenen Objektpositionen diese nach einem Selektionskriterium selektiert werden, welches dadurch definiert ist, dass die der Objektposition jeweils zugeordneten zumindest vier Reflexionspunkte näherungsweise in einer gemeinsamen Ebene im Raum liegen. Die Näherung gilt insbesondere dann als eingehalten, wenn die Abweichungen der Reflexionspunkte von einer gemeinsamen Ebene weniger als 5 mm, vorzugsweise weniger als 1 mm, insbesondere weniger als 400 μm , weniger als 200 μm , oder weniger als 100 μm betragen. Während die Abweichungen für ebene Oberflächen vom Abstand unabhängig sind, können bei vorbekannten Objektgeometrien auch abstandsabhängige Grenzwerte eingesetzt werden (z.B. liegen im Falle einer Kugel, je weiter die Kugel vom Sensor entfernt

ist, alle Reflexionspunkte desto näher beisammen, da nur ein sehr kleiner Winkel notwendig ist um bei größerer Entfernung den Abstand des Empfängers/Senders zu erreichen; dementsprechend sinkt die Abweichung der Reflexionspunkte von einer Ebene mit zunehmendem Abstand). Es ist dem Fachmann daraus unmittelbar ersichtlich, dass je nach Anforderungen der jeweiligen Anwendung und Genauigkeit der verwendeten Komponenten und gegebenenfalls abhängig vom Abstand und von den Sensorabmessungen ein entsprechend angepasster Toleranzbereich für das näherungsweise Kriterium gewählt wird. Die Reflexionspunkte sind dabei ihrerseits verschiedenen Sender-Empfänger-Paaren bzw. – bei einem einzigen Sender – verschiedenen Empfängern zugeordnet. Zur Selektion werden die Reflexionspunkte selbst nicht als dreidimensionale Raumpunkte ermittelt, sondern es wird lediglich überprüft, ob für die den Reflexionspunkten entsprechenden gemessenen Laufzeiten bzw. für die korrespondierenden Abstände und unter Berücksichtigung der Reflexionsbedingung eine Lösung existiert, bei der die durch die Abstände charakterisierten Reflexionspunkte in einer Ebene liegen. Da das Selektionskriterium bei bewegten Objekten (oder einem bewegten Sensor) im Allgemeinen nur zu einem Zeitpunkt erfüllt ist, ist es zumindest in diesen Fällen wesentlich, dass die Messungen zu einem Zeitpunkt, d.h. zugleich und simultan, durchgeführt werden, so dass die empfangenen und zur Rekonstruktion einer Objektposition assoziierten reflektierten Ultraschallsignale auf ein uns dasselbe abgestrahlte Ultraschallsignal zurückgehen. Das Erfordernis der Mindestanzahl von vier Messungen ergibt sich auf natürliche Weise, da es bei nur drei Messungen immer möglich ist, eine Ebene zu finden, welche die Reflexionsbedingung für die drei entsprechenden Reflexionspunkte erfüllt. Der Vorteil und Erfolg des vorgeschlagenen Selektionskriteriums liegt darin begründet, dass dieses zum Einen für die erkennbaren Objekte keine wesentliche Einschränkung darstellt, da die Reflexionspunkte aufgrund der Sensorgröße am Objekt geometrisch so nahe beieinander liegen, dass bereits eine abschnittsweise annähernd ebene Oberfläche zur Erfüllung des Kriteriums ausreicht. Zum Anderen ist es zugleich höchst unwahrscheinlich, dass die Reflexionspunkte verschiedener Objekte zufällig in einer gemeinsamen Ebene liegen. Aus diesen Gründen lassen sich mittels des angegebenen Selektionskriteriums z.B.

Artefakte, welche aus einer Assoziation von Reflexionspunkten auf verschiedenen Objekten resultieren, erkennen und somit vermeiden. Das Ortungsverfahren wird dadurch insgesamt robuster gegenüber Verfälschungen in Form von falschen oder nur scheinbar plausiblen Objektpositionen.

Dementsprechend wird die oben angeführte Aufgabe bei einem Ultraschallsensor der eingangs angeführten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Auswerteeinheit ein Selektionsmodul umfasst, welches bei mehreren parallel gewonnenen Objektpositionen zur Ermittlung jener Objektpositionen eingerichtet ist, bei denen die der Objektposition jeweils zugeordneten zumindest vier Reflexionspunkte näherungsweise in einer gemeinsamen Ebene im Raum liegen. Das Selektionsmodul implementiert das oben im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren im Detail erläuterte Selektionskriterium. Dass die Auswerteeinheit eingerichtet ist, zumindest eine Objektposition aus den empfangenen Ultraschallsignalen zu gewinnen, bedeutet – für den Fachmann selbstverständlich – unter anderem, dass sie neben dem Selektionsmodul sämtliche zur Auswertung der empfangenen Ultraschallsignale notwendigen Elemente, wie z.B. typischer Weise eine Recheneinheit, einen Speicher und – im Fall einer Laufzeitmessung – einen Zeitgeber, umfasst. Das Selektionsmodul kann als eigene Hardwareeinheit oder vorzugsweise als Softwaremodul realisiert sein und beispielsweise auch nachträglich in eine geeignete Sensorvorrichtung bzw. deren Auswerteeinheit integriert werden. Es können grundsätzlich beliebige Gerätetypen für den Ultraschallsender oder die Ultraschallempfänger verwendet werden. Beispielsweise können ein breitbandiger elektrostatischer Wandler als Ultraschallsender und vier oder mehr kleine ungerichtete MEMS Mikrophone als Ultraschallempfänger verwendet werden.

Generell zielt das vorliegende Verfahren nicht darauf ab, eine ebene Oberfläche zu erkennen, sondern darauf, die Position des Objekts bzw. die Position eines dem Objekt entsprechenden äquivalenten Reflexionspunktes auf der Oberfläche des Objekts zu bestimmen. Aus diesem Grund muss die Bedingung, dass alle Reflexionspunkte in einer Ebene liegen, auch nur näherungsweise erfüllt sein, da sie in der Praxis nur für bestimmte Objektgeo-

metrien zutrifft:

- im Fall einer ebenen Oberfläche ist sie klarerweise streng erfüllt;
- im Fall einer Kugeloberfläche ist sie im Allgemeinen nicht exakt, sondern nur näherungsweise erfüllt, wobei die (virtuelle) Ebene die Kugel schneidet; konvergiert die Kugel zu einem Punkt, ist die Bedingung ebenfalls erfüllt;
- im Fall eines Zylinders können sich bei entsprechender Orientierung zwei Punkte wie bei einer Ebene verhalten. Die beiden weiteren Reflexionspunkte verhalten sich wie bei einer Kugel mit entsprechendem Radius; näherungsweise ist auch hier die Bedingung wieder erfüllt.

Um die Robustheit des vorliegenden Verfahrens noch weiter zu steigern, hat es sich als günstig herausgestellt, wenn der Ultraschallsensor zumindest fünf Ultraschallempfänger aufweist, wobei das Selektionskriterium dementsprechend dadurch definiert ist, dass die der Objektposition jeweils zugeordneten zumindest fünf Reflexionspunkte im Wesentlichen in einer gemeinsamen Ebene im Raum liegen. Erst mit einem fünften Sensor lassen sich auch Artefakte, welche bei bestimmten Symmetrien mit vier Sensoren nicht erkennbar sind (z.B. wenn jeweils zwei Reflexionspunkte auf zwei verschiedenen Objekten mit parallelen Oberflächen liegen), erkennen und vermeiden. Dementsprechend ist es auch bei dem vorliegenden Ultraschallsensor günstig, wenn er zumindest fünf Ultraschallempfänger aufweist, welche mit der Auswerteeinheit verbunden sind.

Um die weitere Verarbeitung der gewonnenen Ortungsdaten bzw. Objektpositionen zu erleichtern, ist es vorteilhaft, wenn Objektpositionen, für welche keine gemeinsame Ebene gefunden werden kann, als Artefakte erkannt und verworfen werden. Jene Objektpositionen, bei denen keine gemeinsame Ebene für die (hypothetischen) Reflexionspunkte gefunden werden kann, erfüllen das Selektionskriterium nicht und es ist daher vorteilhaft, diese bereits frühzeitig, z.B. noch im Ultraschallsensor, zu filtern

und nicht - wie die übrigen Ortungsdaten - z.B. über eine Datenschnittstelle auszugeben.

Eine einfache, rechnerisch effiziente und somit besonders rasche Selektion kann erzielt werden, wenn eine gerade Anzahl von Ultraschallempfängern in einer Ebene und in zumindest zwei bezüglich eines gemeinsamen Mittelpunkts spiegelsymmetrischen Paaren angeordnet sind, wobei das Selektionskriterium dadurch definiert ist, dass die gemittelte Flugzeit der Empfängerpaare im Wesentlichen übereinstimmt. Dieses Kriterium ist selbstverständlich äquivalent mit einem Vergleich der Summen der Laufzeiten. Das in diesem Fall auf ein so genanntes Mittenkriterium vereinfachte Selektionskriterium kann demzufolge durch eine einfache Mittelwertberechnung der Laufzeit für jedes Empfängerpaar und anschließenden Vergleich der resultierenden Mittelwerte überprüft werden. Dementsprechend ist es im Zusammenhang mit dem vorliegenden Ultraschallsensor besonders vorteilhaft, wenn zumindest ein Teil der Ultraschallempfänger in einer Ebene und in zumindest zwei bezüglich eines gemeinsamen Mittelpunkts spiegelsymmetrischen Paaren angeordnet ist. Demgegenüber hat eine asymmetrische Anordnung der Empfänger den Vorteil, dass eine Erkennung von Artefakten in mehr Situationen als bei einer symmetrischen Konstruktion möglich ist.

In diesem Zusammenhang hat es sich als günstig herausgestellt, wenn nach der Überprüfung des Selektionskriteriums anhand der Empfängerpaare eine Ebene auf Basis der von den Empfängerpaaren gemessenen Laufzeiten ermittelt wird und für einen zweiten Teil von Ultraschallempfängern, welche nicht in spiegelsymmetrischen Paaren angeordnet sein müssen, überprüft wird, ob die diesen Ultraschallempfängern zugeordneten Reflexionspunkte in der ermittelten Ebene liegen, wobei andernfalls das Selektionskriterium insgesamt nicht erfüllt ist. Für den Fall, dass außer den symmetrisch angeordneten Empfängerpaaren weitere Empfänger vorgesehen sind, kann das Selektionskriterium somit in einem zweistufigen Prozess ausgewertet werden, wobei in einem ersten Schritt das oben geschilderte und effizient überprüfbare Mittenkriterium angewendet wird und anschließend nur jene Kombinationen von Reflexionspunkten berücksichtigt werden, welche das Mittenkriterium

erfüllen. Die vergleichsweise rechenaufwendigere Überprüfung, ob auch die von den nicht symmetrisch angeordneten Ultraschallempfängern gemessenen Laufzeiten mit der ermittelten Ebene konsistent sind, erfolgt dabei nur für eine vergleichsweise kleine, weil bereits vorselektierte Anzahl von Kombinationen. Dieses Verfahren kann insbesondere bei Verwendung eines fünften Ultraschallempfängers zusammen mit vier symmetrisch angeordneten Ultraschallempfängern zum Einsatz kommen.

Ein besonders effizientes Verfahren zur Überprüfung des Selektionskriteriums kann zur Anwendung kommen, wenn die Empfängerpaare den gleichen Abstand zwischen Ultraschallsender und Ultraschallempfängern aufweisen, wobei insbesondere die Empfänger in einer der Anzahl n der Ultraschallempfänger entsprechenden n -zähligen Drehsymmetrie angeordnet sind, wobei ein äquivalenter Reflexionspunkt für alle Empfänger auf Basis der von den Empfängerpaaren gemessenen Laufzeiten ermittelt wird und für einen zweiten Teil von Ultraschallempfängern, welche nicht symmetrisch angeordnet sein müssen, überprüft wird, ob die diesen Ultraschallempfängern zugeordneten Reflexionspunkte mit dem äquivalenten Reflexionspunkt konsistent sind, wobei andernfalls das Selektionskriterium insgesamt nicht erfüllt ist. Mit dem Abstand d zwischen dem Ultraschallsender und den einzelnen Ultraschallempfängern kann die Position des äquivalenten Reflexionspunktes wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{l_1^2 + l_2^2 - 2d^2}{2(l_1 + l_2)} \quad \text{oder} \quad \frac{l_3^2 + l_4^2 - 2d^2}{2(l_3 + l_4)} & (1) \\
 x &= r \frac{(l_2 - r)^2 - d^2 - r^2}{-2dr} \\
 y &= r \frac{(l_3 - r)^2 - d^2 - r^2}{-2dr} \\
 z &= \sqrt{r^2 - x^2 - y^2}
 \end{aligned}$$

wobei l_i jeweils der einer vom Ultraschallempfänger i gemessenen Laufzeit entsprechende Abstand ist. Da hiermit der äquivalente Reflexionspunkt bekannt ist, können die zu erwartenden Laufzeiten für den oder die weiteren Ultraschallempfänger sofort berechnet werden. D.h. die Reflexionspunkte der weiteren Empfänger

sind genau dann konsistent, wenn ihr Abstand näherungsweise dem Abstand des äquivalenten Reflexionspunktes entspricht.

Das vorliegende Verfahren ist besonders für jene Fälle geeignet, bei denen die Objektpositionen mehrerer Objekte ausgehend von einem einzigen abgestrahlten Ultraschallsignal (z.B. von einem Ultraschallsensor mit nur einem einzigen Ultraschallsender) ermittelt werden. Derartige Szenenanalysen sind von dem Problem der Artefakte besonders stark betroffen, so dass das vorgeschlagene Selektionskriterium hier entscheidende Verbesserungen ermöglicht.

Aufgrund der hohen Aussagekraft des oben dargestellten Selektionskriteriums können bei dessen Verwendung beim Empfang von mehr als einem reflektiertem Ultraschallsignal in einem Empfänger, die Objektpositionen durch Bildung aller möglicher Kombinationen von Reflexionspunkten, wobei jeder Reflexionspunkt einem anderen Ultraschallempfänger zugeordnet ist, ermittelt werden. Die Reflexionspunkte sind dabei in der Regel nicht als dreidimensionale Punkte bekannt, sondern lediglich durch ihren (gemessenen) Abstand vom Ultraschallsensor charakterisiert. Die naturgemäß große Anzahl von Kombinationen – welche mit der Anzahl der vorhandenen Objekte wesentlich steigt – kann alleine durch das Selektionskriterium auf die gültigen Kombinationen reduziert werden, d.h. es können weitere, wesentlich aufwendigere Selektionsmechanismen, wie z.B. unter Berücksichtigung der Richtcharakteristik bzw. der Amplitude und/oder Phase der empfangenen Echos, entfallen.

Ganz allgemein und insbesondere im Zusammenhang mit der Kombinatorik aller Reflexionspunkte ist es günstig, wenn Objektpositionen, bei denen der maximale Abstand zwischen zwei jeweils zugeordneten Reflexionspunkten den maximalen Abstand zwischen zwei Ultraschallempfängern übersteigt, vor der Selektion verworfen werden. Da dieses Kriterium rechnerisch noch einfacher zu realisieren ist als selbst das oben dargestellte Mittenkriterium, sollte es gegebenenfalls vor allen anderen Selektionsschritten überprüft werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von besonders bevorzugten Ausführungsbeispielen, auf die sie jedoch nicht beschränkt sein soll, und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen noch weiter erläutert. In den Zeichnungen zeigen dabei im Einzelnen:

Fig. 1A ein Beispiel für einen aktiven Ultraschallsensor gemäß Stand der Technik mit nur drei Ultraschallempfängern und Fig. 1B ein Zeit-Diagramm der von den drei Empfängern erkannten Ultraschallsignale;

Fig. 2 eine Anwendung eines Ultraschallsensors gemäß Fig. 1 bei leicht versetzt angeordneten Objekten;

Fig. 3 einen aktiven Ultraschallsensor mit vier Ultraschallempfängern bei einer Anwendung gemäß Fig. 2;

Fig. 4A einen aktiven Ultraschallsensor mit vier Ultraschallempfängern bei einer Anwendung gemäß Fig. 1A und Fig. 4B das zugeordnete Zeit-Diagramm, vergleichbar Fig. 1B;

Fig. 5 einen aktiven Ultraschallsensor mit fünf Ultraschallempfängern bei einer Anwendung gemäß Fig. 2;

Fig. 6 schematisch einen Anwendungsfall eines aktiven Ultraschallsensors mit fünf Ultraschallempfängern in einer Umgebung mit Retroreflektoren;

Fig. 7 schematisch einen Anwendungsfall eines passiven Ultraschallsensors mit fünf Ultraschallempfängern in einer mit externen Ultraschallsendern versehenen Umgebung;

Fig. 8 eine schematische Draufsicht auf einen aktiven Ultraschallsensor gemäß Fig. 5; und

Fig. 9 ein schematisches Blockschaltbild eines Ultraschallsensors.

In Fig. 1A und 1B ist die grundsätzliche Schwierigkeit einer Zuordnung der Echos von zwei verschiedenen Objekten illustriert. Fig. 1A zeigt dabei schematisch einen aktiven Ultraschallsensor 1 mit drei Ultraschallempfängern 2, 3, 4 und mit einem Ultraschallsender 5, wobei die Ultraschallempfänger 2, 3, 4 und der Ultraschallsender 5 in einer gemeinsamen Ebene 6 angeordnet sind. Der Ultraschallsender 5 gibt zur Ortung der Objekte 7, 8 ein kurzes breitbandiges Ultraschallsignal 9, beispielsweise ein linear frequenzmoduliertes Signal mit einer Länge von einigen hundert Mikrosekunden und einer auf den Sender abgestimmten Bandbreite, z.B. 30 kHz, ab. Das abgegebene Ultraschallsignal 9

wird an Objekten 7, 8 in der Umgebung des Ultraschallsensors 1 reflektiert. Jene Punkte einer Objektoberfläche, welche die Reflexionsbedingung für ein Sender-Empfänger-Paar des Ultraschallsensors 1 erfüllen, werden als Reflexionspunkte bezeichnet. D.h. das vom Ultraschallsender 5 abgestrahlte bzw. emittierte Ultraschallsignal 9 wird in den Reflexionspunkten auf jeweils einen der Ultraschallempfänger 2, 3, 4 reflektiert. Die hier in der Umgebung des Ultraschallsensors 1 und in einem ähnlichen Abstand vom Ultraschallsensor 1 angeordneten Objekte 7, 8 sind kugelförmig bzw. annähernd punktförmig, so dass die drei Reflexionspunkte in diesem Fall im Wesentlichen in einem Punkt zusammenfallen und deshalb nicht separat dargestellt sind. Ein von dem Ultraschallsender 5 abgestrahltes Ultraschallsignal 9 wird an den beiden Objekten 7, 8 jeweils im Wesentlichen in den gesamten dem Ultraschallsender 5 zugewandten Halbraum reflektiert. Somit erreichen jeden Ultraschallempfänger 2, 3, 4 jeweils sowohl ein von dem ersten Objekt 7 reflektiertes Ultraschallsignal 10 als auch ein von dem zweiten Objekt 8 reflektiertes Ultraschallsignal 11. Das Zeit-Diagramm 12 in Fig. 1B weist drei separate Zeitachsen 13, 14, 15 für jeweils einen Ultraschallempfänger 2, 3, 4 auf, welche den drei Empfänger-Kanälen entsprechen. Auf den Zeitachsen 13, 14, 15 sind jeweils die beiden Zeitpunkte t_1 , t_2 , t_3 des Empfangs der beiden reflektierten Ultraschallsignale 10, 11 eingezeichnet, wobei das vom ersten Objekt 7 reflektierte Ultraschallsignal 10 als durchgezogene vertikale Linie und das vom zweiten Objekt 8 reflektierte Ultraschallsignal 11 als gestrichelte vertikale Linie eingezeichnet sind. Die für die Ortung relevante Laufzeitinformation der einzelnen Ultraschallempfänger 2, 3, 4 bzw. die entsprechende Abstandsinformation wird durch Korrelation der einzelnen Empfänger-Kanäle anhand von vorhergesagten oder erlernten Korrelationsmustern gewonnen. Dabei werden die gemessenen Ultraschallsignale gruppiert, wobei jede Gruppe 16 aus jeweils einer Laufzeitmessung t_i aus jedem Empfänger-Kanal besteht. Im Fall von n Ultraschallempfängern bzw. Mikrofonen besteht eine Gruppe 16 aus genau n Laufzeitmessungen t_i , wobei t_i eine Laufzeitmessung des Kanals i repräsentiert. Dabei werden vorzugsweise nur gültige Gruppen 16 gebildet, wobei eine Gruppe 16 dann und nur dann gültig ist, wenn die Bedingung

$$(t_i - t_j) \cdot c < d_{ij} \quad \forall 1 \leq i, j \leq n \quad (2)$$

erfüllt ist, wobei c die Schallgeschwindigkeit in der Umgebung des Ultraschallsensors 1 und d_{ij} der physikalische Abstand zwischen den Ultraschallempfängern i und j ist. Dabei kann eine bestimmte Laufzeitmessungen t_i grundsätzlich mehreren Gruppen angehören. Eine Auswahl einer für die Ortung eines Objekts verwendeten Gruppe 16 kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass zeitlich nahe beisammen liegende Signale bevorzugt werden. Diese Zuordnung basiert im Grunde auf der Annahme, dass verschiedene Objekte in unterschiedlichem Abstand vom Ultraschallsensor 1 angeordnet sind. Da dies im gezeigten Fall (s. Fig. 1A) jedoch nicht zutrifft, ist die Zuordnung zur Gruppe 16 falsch und die aus den einander zugeordneten Signalen rekonstruierten Objektpositionen sind daher ebenfalls fehlerhaft. Die tatsächlichen Positionen der Objekte 7, 8 können bei einer solchen Zuordnung nicht erkannt werden.

In Fig. 2 ist ein weiterer potentieller Fehlerfall dargestellt, welcher sich mit nur drei Ultraschallempfängern 2, 3, 4 nicht anhand der gemessenen Laufzeiten erkennen oder lösen lässt. Dabei weist ein Objekt 17 eine Unstetigkeitsstelle 18 in Form einer Stufe auf. Der Übergang an der Unstetigkeitsstelle 18, d.h. in diesem Fall die Höhe der Stufe, ist dabei kleiner als der Abstand zwischen den Ultraschallempfängern 2, 3, 4, so dass die Bedingung (2) erfüllt ist. Die den einzelnen Ultraschallempfängern 2, 3, 4 zugeordneten Reflexionspunkte 19, 20, 21 liegen auf beiden Seiten der Unstetigkeitsstelle 18 und daher in verschiedenen Abschnitten 22, 23 der Oberfläche des Objekts 17. Im gezeigten Fall ist ein Reflexionspunkt 21 weiter vom Ultraschallsensor 1 entfernt als die anderen beiden Reflexionspunkte 19, 20. Es wird angenommen, dass zur Ortung des Objekts 17 nur die den drei Reflexionspunkten 19, 20, 21 entsprechenden gemessenen Laufzeiten zur Verfügung stehen. Aus den drei Laufzeiten kann durch Trilateration jener Punkt im Raum berechnet werden, für den der Abstand von den drei mit dem Ultraschallsensor 5 und jeweils einem der Ultraschallempfänger 2, 3, 4 gebildeten Sender-Empfänger-Paaren den gemessenen Laufzeiten entspricht (siehe z.B. Manolakis, D.E., "Efficient solution and

performance analysis of 3-D position estimation by trilateration," Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on , vol.32, no.4, pp.1239,1248, Oct 1996 doi: 10.1109/7.543845).

Geometrisch kann man sich diese Berechnung damit veranschaulichen, dass für drei gedachte Sphären, deren Radien die jeweils den gemessenen Laufzeiten entsprechenden Abstände sind, eine gemeinsame Tangentialebene (nicht gezeigt) ermittelt wird, und dass als die gesuchte Objektposition jener Punkt in der Tangentialebene angenommen wird, welcher dem Ultraschallsender 5 am nächsten liegt. Grundsätzlich würde diese Rekonstruktionsmethode für eine 3D Ortung ausreichen, allerdings ist sie nicht robust gegenüber Messfehlern und gegenüber Fehler aufgrund der impliziten Annahmen betreffend die Objektgeometrie. Insbesondere impliziert diese Berechnung, dass alle Reflexionspunkte auf demselben Objekt liegen und dass die Form bzw. Art des Objekts vernachlässigt werden kann. In der in Fig. 2 gezeigten Situation schlägt diese Annahme jedoch fehl: aufgrund der verschiedenen Abstände der drei Reflexionspunkte 19, 20, 21 in Fig. 2 weist die angenommene Tangentialebene eine Neigung auf, welche nicht den realen Gegebenheiten entspricht, und die ermittelte Objektposition 25 ist fehlerhaft. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere die Erkennung und Beseitigung dieses Problems durch die Verwendung zumindest eines vierten Ultraschallempfängers in Kombination mit einem speziell auf Ultraschallsensoren mit vier oder mehr Empfängern zugeschnittenen Ortungsverfahren.

In Fig. 3 ist ein Ultraschallsensor 26 mit vier Ultraschallempfängern 27, 28, 29, 30 in einer ähnlichen Situation wie in Fig. 2 dargestellt, d.h. es wird versucht, das Objekt 17 mit der Unstetigkeitsstelle 18 zu orten. Auch hier wird das Resultat fehlerhaft sein, wenn man versucht, aus den gemessenen Laufzeiten mit den bekannten Verfahren eine Objektposition zu ermitteln. Um solche Fehler zu vermeiden, schlägt daher die vorliegende Erfindung vor, zunächst die Annahme, dass die Reflexionspunkte auf demselben Objekt liegen, zu überprüfen. Diese Überprüfung kann insbesondere dadurch erfolgen, dass festgestellt wird, ob die (hypothetischen) Reflexionspunkte, die den gemessenen Laufzeiten entsprechen, in einer Ebene liegen. Anhand dieses Kriteriums können jene Gruppen von Laufzeitmessungen t_i ,

welche der Überprüfung standhalten, selektiert werden und die übrigen Gruppen können verworfen werden. In dem in Fig. 3 gezeigten Fall sind die Ultraschallempfänger 27, 28, 29, 30 in Paaren 27, 28 bzw. 29, 30 und spiegelsymmetrisch bezüglich eines Schnittpunktes der Verbindungslinien der einzelnen Paare 27, 28 bzw. 29, 30 angeordnet. Die Verbindungslinien schneiden sich daher genau in ihrem jeweiligen Mittelpunkt. Der Ultraschallsender 31 ist zudem im Zentrum der Empfänger, d.h. exakt im gemeinsamen Schnittpunkt der Verbindungslinien angeordnet. Bei diesem Aufbau des Ultraschallsensors 26 lässt sich zeigen, dass die Laufzeitmessungen t_i für die Paare von Ultraschallempfängern 27, 28, 29, 30 folgende Bedingung erfüllen müssen:

$$\frac{t_{27}+t_{28}}{2} \approx \frac{t_{29}+t_{30}}{2} \quad (3)$$

Die Ungenauigkeit eines Ultraschallsensors mit einem Empfängerabstand von 80 mm auf eine Distanz von 1 m beträgt weniger als 1 mm, so dass sämtliche Gruppen, welche die Bedingung (3) nicht erfüllen, als ungültig erkannt und verworfen werden können. Nach diesem Verfahren kann die in Fig. 3 dargestellte Messung als ungültig erkannt werden, so dass zumindest keine fehlerhafte Objektposition erkannt wird.

Darüber hinaus kann das oben beschriebene Prinzip auch bei der Zuordnung der Laufzeitmessungen eingesetzt werden, wie anhand von Fig. 4A und 4B erläutert werden soll. Wie in Fig. 1A und 1B sind hier zwei Objekte 7, 8 dargestellt, welche für jeweils zwei reflektierte Ultraschallsignale 10, 11 bzw. die entsprechenden Laufzeitmessungen t_i bzw. t_i' der – hier vier – Empfänger-Kanäle verantwortlich sind. Durch Überprüfung der Bedingung (3) für alle kombinatorisch möglichen Gruppen können die beiden korrekten Zuordnungen, welche den durchschnittlichen Laufzeiten $t == (t_1+t_2)/2 \approx (t_3+t_4)/2$ bzw. $t' == (t_1'+t_2')/2 \approx (t_3'+t_4')/2$ entsprechen, ermittelt und anhand der so gruppierten Messungen die beiden entsprechenden Objektpositionen berechnet werden.

Allerdings existieren Spezialfälle, in denen auch ein Ultraschallsensor mit vier symmetrisch angeordneten Ultraschallemp-

fängern eine Unstetigkeit 18 nicht erkennen kann, wie in Fig. 5 gezeigt. Hierbei ist der Ultraschallsensor 37 bezüglich der Unstetigkeit 18 des Objekts 17 zufälliger Weise symmetrisch angeordnet, so dass für jedes Empfängerpaar 27, 28 bzw. 29, 30 jeweils ein Reflexionspunkt auf jeder Seite der Unstetigkeit 18 liegt und somit die Bedingung (3) erfüllt ist, obwohl jede aus den vier Laufzeitmessungen der beiden Empfängerpaare 27, 28 bzw. 29, 30 ermittelte Objektposition aus dem gleichen Grund fehlerhaft wäre, wie bereits anhand von Fig. 2 und 3 im Detail erläutert. Um auch diesen Spezialfall abzudecken, weist der Ultraschallsensor 37 einen fünften Ultraschallempfänger 38 auf, so dass der Abstand zwischen dem Ultraschallsensor 37 und einem fünften Reflexionspunkt 39 am Objekt 17 mittels Ultraschall messbar ist. Damit kann der Fehler folgendermaßen erkannt werden: zunächst wird anhand der Laufzeitmessungen der vier Ultraschallempfänger 27, 28, 29 und 30 eine vorläufige Objektposition ermittelt und in einem zweiten Schritt wird überprüft, ob die Laufzeitmessung des fünften Ultraschallempfängers 38, d.h. über eine Strecke vom Ultraschallsender 31 zum Reflexionspunkt 39 und zurück zum Ultraschallempfänger 38, mit dieser vorläufigen Objektposition konsistent ist, wobei z.B. der der vorläufigen Objektposition entsprechende Abstand mit dem separat gemessenen Abstand vom fünften Ultraschallempfänger 38 verglichen wird.

Aus Fig. 6 bis 8 sind weitere Vorteile im Zusammenhang mit der Verwendung des Ultraschallsensors 37 zur Ortung ersichtlich. Anhand der zusätzlichen Ortungsinformation, welche aus den Messungen des vierten und – gegebenenfalls – fünften Ultraschallempfängers gewonnen werden kann, ist es mithilfe entsprechender Referenzpunkte 40 im Raum möglich, nicht nur die Position des Ultraschallsensors 37, sondern auch dessen Ausrichtung zu ermitteln. Dies kann beispielsweise mithilfe von passiven Orientierungspunkten, vorzugsweise in Form von Retroreflektoren 40, (vgl. Fig. 6) geschehen. Es kann nachgewiesen werden, dass die oben beschriebenen Selektionskriterien auch bei an Retroreflektoren 40 (mehrfach) reflektierten Ultraschallsignalen gültig sind. Wenn drei derartige Orientierungspunkte vorhanden sind, deren Positionen im Raum bekannt sind, kann anhand entsprechender Laufzeitmessungen die Position und Ausrichtung des

Ultraschallsensors 37 in einem globalen Koordinatensystem berechnet werden. Der Vorteil eines Retroreflektors 40 als Orientierungspunkt liegt darin, dass die für den Ultraschallsensor 37 „sichtbare“ Position des Retroreflektors 40 unabhängig vom Einfallswinkel des Ultraschallsignals 9 und vom Abstand vom Ultraschallsensor 37 ist.

Die vorliegende Erfindung kann zudem nicht nur bei aktiven Ultraschallsensoren 26 bzw. 37 mit eigenem Ultraschallsender 31, sondern auch bei passiven Ultraschallsensoren 41 (vgl. Fig. 7) angewendet werden. Bei solchen passiven Ultraschallsensoren 41 werden die Ultraschallsignale 42 von externen Signalgebern 43 abgestrahlt, welche an bekannten Positionen im Raum angeordnet sind und daher – wie oben beschrieben – zugleich als Orientierungspunkte verwendet werden können. Die Objektpositionen etwaiger Objekte 44 im Raum können dabei anhand der gemessenen Laufzeiten der Ultraschallsignale 42 und der bekannten Positionen der Signalgeber 43 rekonstruiert werden. In diesem Fall kann das beschriebene Selektionskriterium zusätzlich für die Zuordnung mehrerer Laufzeitmessungen zu einem Ultraschallsender, d.h. in diesem Beispiel einem Signalgeber 43, verwendet werden.

Gegenüber passiven Sensoren 41 hat ein aktiver Ultraschallsensor 37 den Vorteil, dass der feste Abstand d zwischen dem Ultraschallsender 31 und den Ultraschallempfängern 27, 28, 29, 30, 38 z.B. zur Temperaturkompensation verwendet werden kann (vgl. Fig. 8). Dabei wird vorzugsweise anhand von mehreren Laufzeitmessungen t und des bekannten Abstandes d die Schallgeschwindigkeit c bei den aktuellen Umgebungsbedingungen gemessen und der Ultraschallsensor 37 auf diese Weise kalibriert. Die Genauigkeit der Messung ist lediglich durch die Zeitauflösung der Laufzeitmessung und den Abstand zwischen Sender 31 und Empfängern 27, 28, 29, 30, 38 limitiert. Bei einem Abstand von 4 cm zwischen dem Sender 31 und den Empfängern 27, 28, 29, 30, 38 konnte die Schallgeschwindigkeit beispielsweise mit einer Genauigkeit von etwa ± 2 m/s ermittelt werden.

In Fig. 9 ist schematisch ein Ultraschallsensor 45 mit einem Ultraschallsender 46 und zwei (oder mehr) Ultraschallempfängern 47

dargestellt. Der Ultraschallsender 46 erhält ein zu sendendes Ultraschallsignal von einer Ansteuereinheit 48, wobei das Signal in einem Verstärker 49 an die Anforderungen des Ultraschallsenders 46 angepasst wird. Die Ultraschallempfänger 47 sind zum Empfang der reflektierten Ultraschallsignale eingerichtet und mit Korrelatoreinheiten 50 verbunden, welche ein empfangenes reflektiertes Ultraschallsignal mit dem gesendeten Ultraschallsignal korrelieren können. Um die korrekte zeitliche Korrelation zu ermitteln, sind die Korrelatoreinheiten 50 über Synchronisationsverbindungen 51 (gestrichelt) mit der Ansteuereinheit 48 verbunden und synchronisiert. Ausgehend von den aufgrund der Korrelationen ermittelten Laufzeiten werden diese in einem Vorselektionsmodul 52 auf die Bedingung (2), d.h. auf Basis der Sensorabmessungen, vorselektiert und jene Kombinationen verworfen, welche aufgrund der Sensorgeometrie physikalisch ausgeschlossen werden können. Anschließend wird in einem weiteren Selektionsmodul 53 das Mittelkriterium (3) auf die gemessenen und vorselektierten Laufzeiten angewendet und somit der Großteil an Artefakten entfernt. Schließlich wird in einem Ortungsmodul 54, welches mit dem Selektionsmodul 53 verbunden ist, die Objektortung anhand der bereinigten Laufzeiten vorgenommen, mit einem etwaigen zusätzlichen Empfänger auf Plausibilität geprüft und im positiven Fall ausgegeben. D.h. nach der Objektortung wird das Kriterium – sofern vorhanden – mit dem zusätzlichen (z.B. fünften) Empfänger angewandt und nach positiver Prüfung ausgegeben; die Objektortung erfolgt dabei anhand der von den übrigen Empfängern gemessenen Laufzeiten. Zusammen bilden die Ultraschallempfänger 47 mit den Korrelatoreinheiten 50, den Vorselektionsmodul 52, dem Selektionsmodul 53 und dem Ortungsmodul 54 eine Auswerteeinheit 55. Dabei können insbesondere das Vorselektionsmodul 52, das Selektionsmodul 53 und das Ortungsmodul 54 in der Praxis als Softwaremodule auf einer gemeinsamen, im Ultraschallsensor 45 integrierten Mikroprozessor-Plattform (nicht gezeigt) implementiert sein.

Ansprüche

1. Verfahren zur Ortung von Objekten (7, 8, 17) im Raum mit Hilfe eines Ultraschallsensors (26), der zumindest vier Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30) aufweist, wobei von einem externen oder von dem Ultraschallsensor (26) umfassten Ultraschallsender (43 bzw. 31) ein Ultraschallsignal (42 bzw. 9) abgestrahlt wird und von den Ultraschallempfängern (27, 28, 29, 30) des Ultraschallsensors (26) jeweils ein in zumindest einem zugeordneten Reflexionspunkt (33, 34, 35, 36) reflektiertes Ultraschallsignal (11) empfangen und zur Gewinnung zumindest einer Objektposition ausgewertet wird, dadurch gekennzeichnet, dass bei mehreren parallel gewonnenen Objektpositionen diese nach einem Selektionskriterium selektiert werden, welches dadurch definiert ist, dass die der Objektposition jeweils zugeordneten zumindest vier Reflexionspunkte (33, 34, 35, 36) näherungsweise in einer gemeinsamen Ebene im Raum liegen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Ultraschallsensor (37) zumindest fünf Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30, 38) aufweist, wobei das Selektionskriterium dementsprechend dadurch definiert ist, dass die der Objektposition jeweils zugeordneten zumindest fünf Reflexionspunkte (33, 34, 35, 36, 39) näherungsweise in einer gemeinsamen Ebene im Raum liegen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass Objektpositionen, für welche keine gemeinsame Ebene gefunden werden kann, als Artefakte erkannt und verworfen werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine gerade Anzahl von Ultraschallempfängern (27, 28, 29, 30) in einer Ebene und in zumindest zwei bezüglich eines gemeinsamen Mittelpunkts spiegelsymmetrischen Paaren (27, 28 bzw. 29, 30) angeordnet sind, wobei das Selektionskriterium dadurch definiert ist, dass die gemittelten Laufzeiten der Empfängerpaare (27, 28 bzw. 29, 30) im Wesentlichen übereinstimmen.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass nach

der Überprüfung des Selektionskriteriums anhand der Empfängerpaare (27, 28 bzw. 29, 30) eine Ebene auf Basis der von den Empfängerpaaren (27, 28 bzw. 29, 30) gemessenen Laufzeiten ermittelt wird und für einen zweiten Teil von Ultraschallempfängern (38), welche nicht in spiegelsymmetrischen Paaren angeordnet sein müssen, überprüft wird, ob die diesen Ultraschallempfängern (38) zugeordneten Reflexionspunkte (39) in der ermittelten Ebene liegen, wobei andernfalls das Selektionskriterium insgesamt nicht erfüllt ist.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfängerpaare (27, 28 bzw. 29, 30) den gleichen Abstand zwischen Ultraschallsender (31) und Ultraschallempfängern (27, 28, 29, 30) aufweisen, wobei insbesondere die Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30) in einer der Anzahl n der Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30) entsprechenden n -zähligen Drehsymmetrie angeordnet sind, wobei ein äquivalenter Reflexionspunkt für alle Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30) auf Basis der von den Empfängerpaaren (27, 28 bzw. 29, 30) gemessenen Laufzeiten ermittelt wird und für einen zweiten Teil von Ultraschallempfängern (38), welche nicht symmetrisch angeordnet sein müssen, überprüft wird, ob die diesen Ultraschallempfängern (38) zugeordneten Reflexionspunkte (39) mit dem äquivalenten Reflexionspunkt konsistent sind, wobei andernfalls das Selektionskriterium insgesamt nicht erfüllt ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Objektpositionen mehrerer Objekte (7, 8) ausgehend von einem einzigen abgestrahlten Ultraschallsignal (9) ermittelt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass beim Empfang von mehr als einem reflektiertem Ultraschallsignal (10, 11) in einem Empfänger (27, 28, 29, 30), die Objektpositionen durch Bildung aller möglicher Kombinationen von Reflexionspunkten (33, 34, 35, 36), wobei jeder Reflexionspunkt (33, 34, 35, 36) einem anderen Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30) zugeordnet ist, ermittelt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass Objektpositionen, bei denen der maximale Abstand zwischen zwei jeweils zugeordneten Reflexionspunkten (33, 34, 35, 36) den maximalen Abstand zwischen zwei Ultraschallempfängern (27, 28, 29, 30) übersteigt, vor der Selektion verworfen werden.

10. Ultraschallsensor (26, 37, 41, 45) zur Ortung von Objekten (7, 8, 17, 44) im Raum mit zumindest vier Ultraschallempfängern (27, 28, 29, 30; 47), welche eingerichtet sind, ein von einem externen oder dem Ultraschallsensor (26, 37, 45) zugeordneten Ultraschallsender (31, 43, 46) abgestrahltes und in zumindest einem Reflexionspunkt (33, 34, 35, 36) reflektiertes Ultraschallsignal (9, 42 bzw. 10; 11) zu empfangen, und mit einer Auswerteeinheit (55), welche mit den Ultraschallempfängern (27, 28, 29, 30; 47) verbunden und eingerichtet ist, zumindest eine Objektposition aus den empfangenen Ultraschallsignalen (10, 11) zu gewinnen, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (55) ein Selektionsmodul (53) umfasst, welches bei mehreren parallel gewonnenen Objektpositionen zur Ermittlung jener Objektpositionen eingerichtet ist, bei denen die der Objektposition jeweils zugeordneten zumindest vier Reflexionspunkte (33, 34, 35, 36) näherungsweise in einer gemeinsamen Ebene im Raum liegen.

11. Ultraschallsensor (37, 41) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest fünf Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30, 38; 47) mit der Auswerteeinheit (55) verbunden sind.

12. Ultraschallsensor (26, 37, 41) nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30) in einer Ebene und in zumindest zwei bezüglich eines gemeinsamen Mittelpunkts spiegelsymmetrischen Paaren (27, 28 bzw. 29, 30) angeordnet ist.

13. Ultraschallsensor (26, 37, 41) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfängerpaare (27, 28 bzw. 29, 30) den gleichen Abstand zwischen Ultraschallsender (31) und Ultraschallempfängern (27, 28, 29, 30) aufweisen, wobei insbesondere

die Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30) in einer der Anzahl n der Ultraschallempfänger (27, 28, 29, 30) entsprechenden n -zähligen Drehsymmetrie angeordnet sind.

1/6

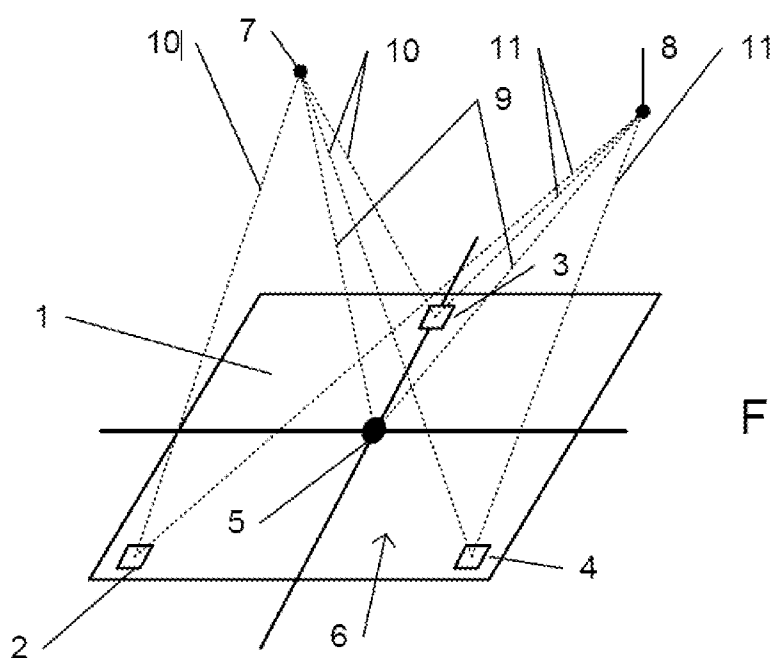


Fig. 1A

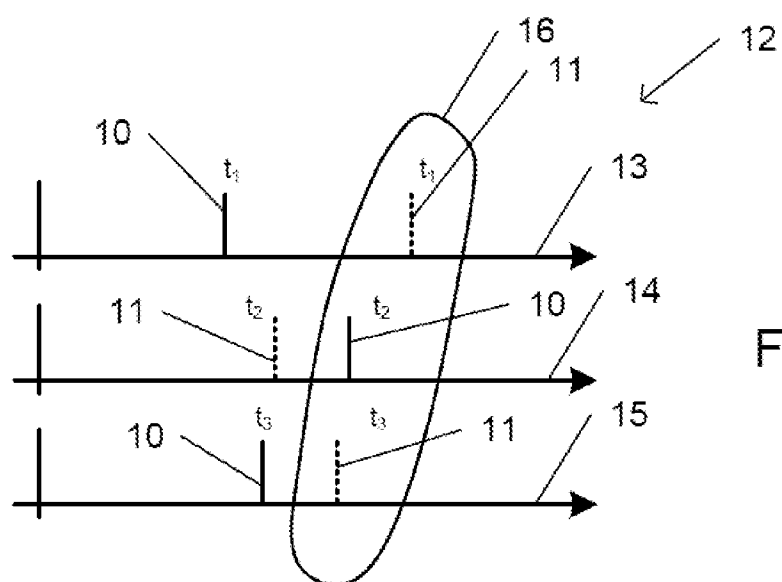


Fig. 1B

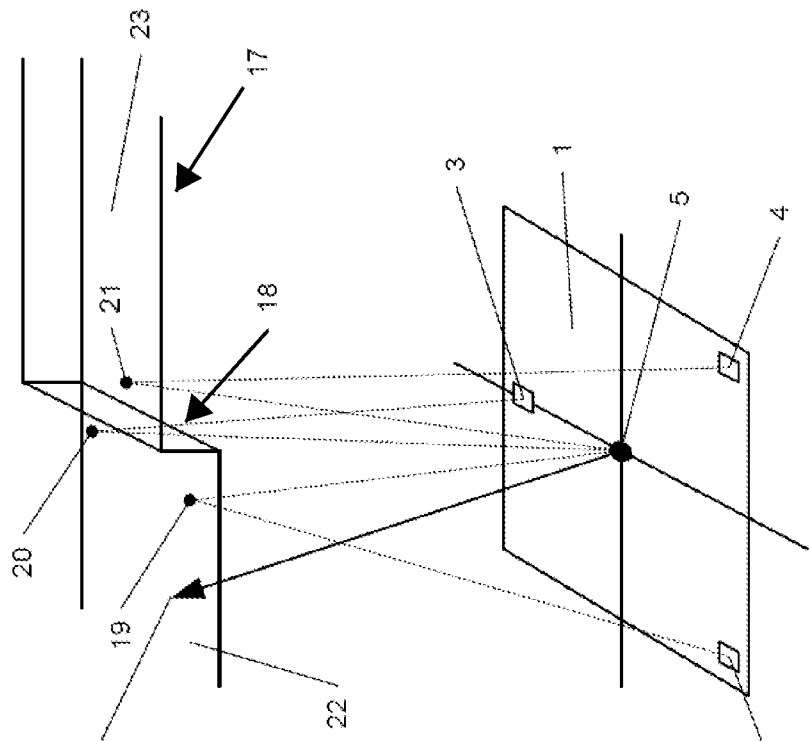


Fig. 2

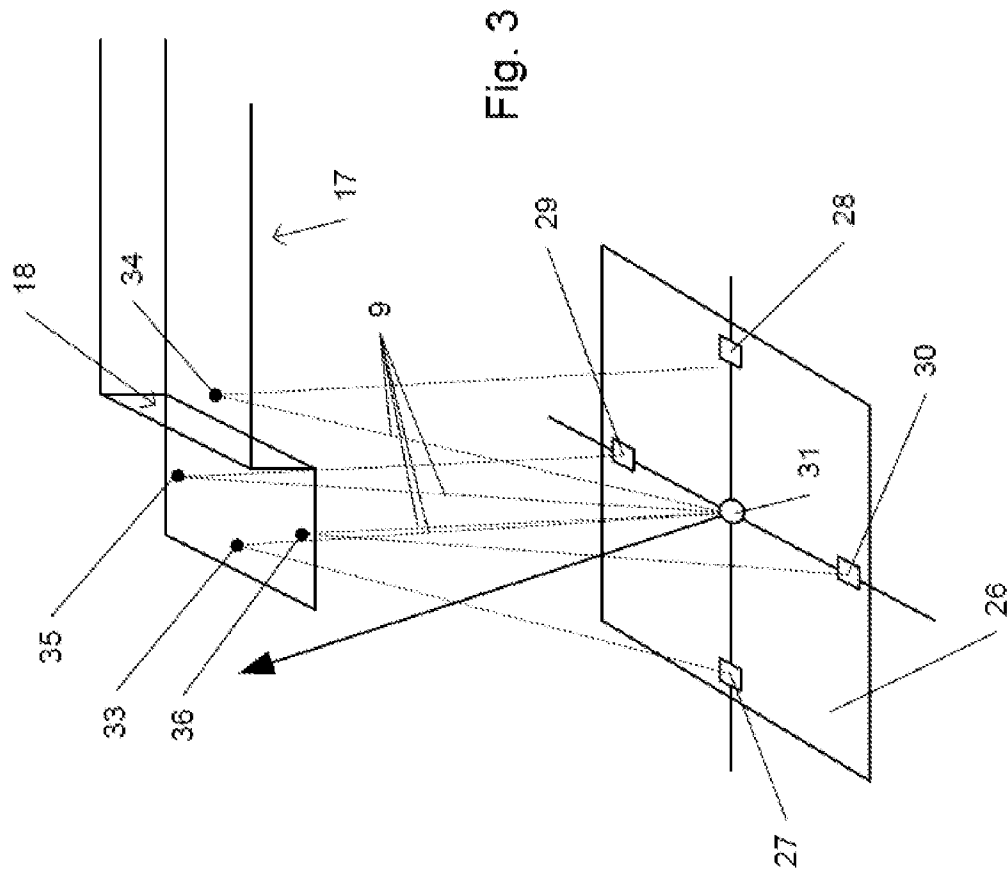


Fig. 3

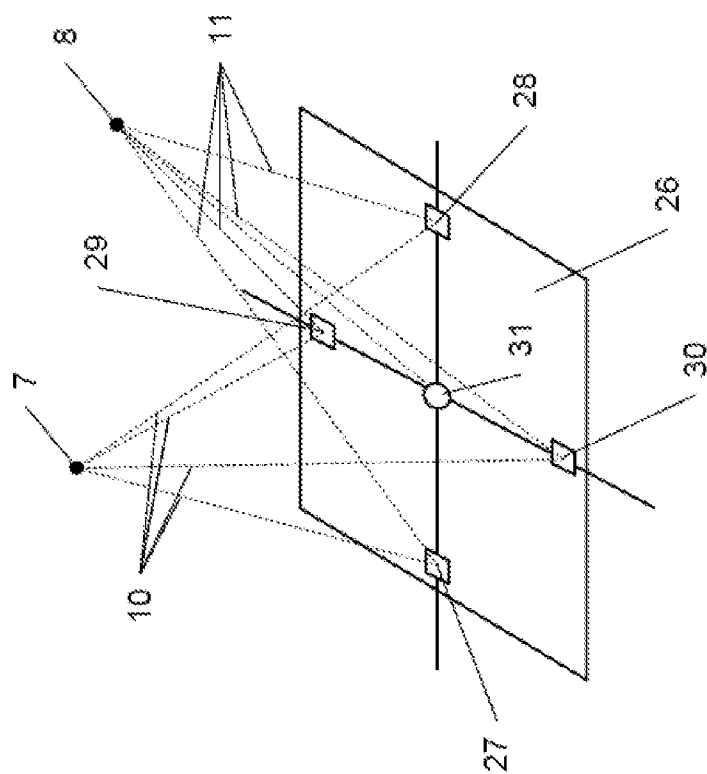


Fig. 4A

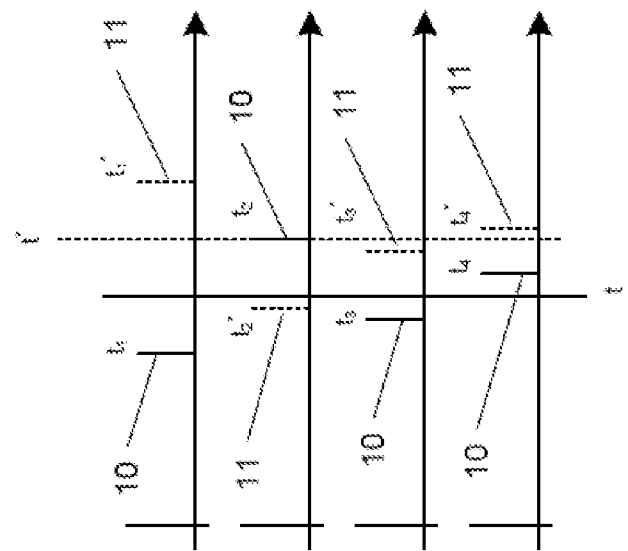
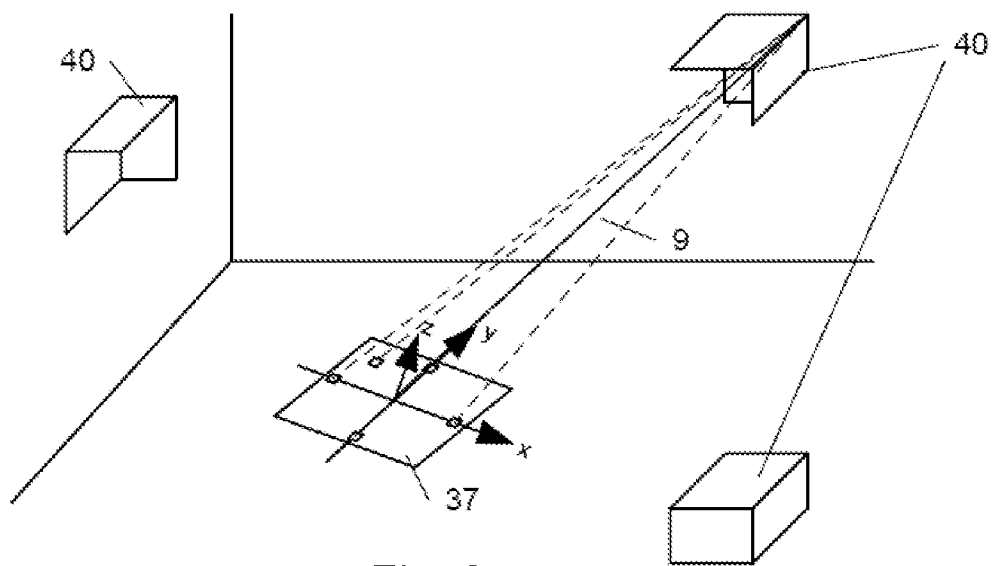
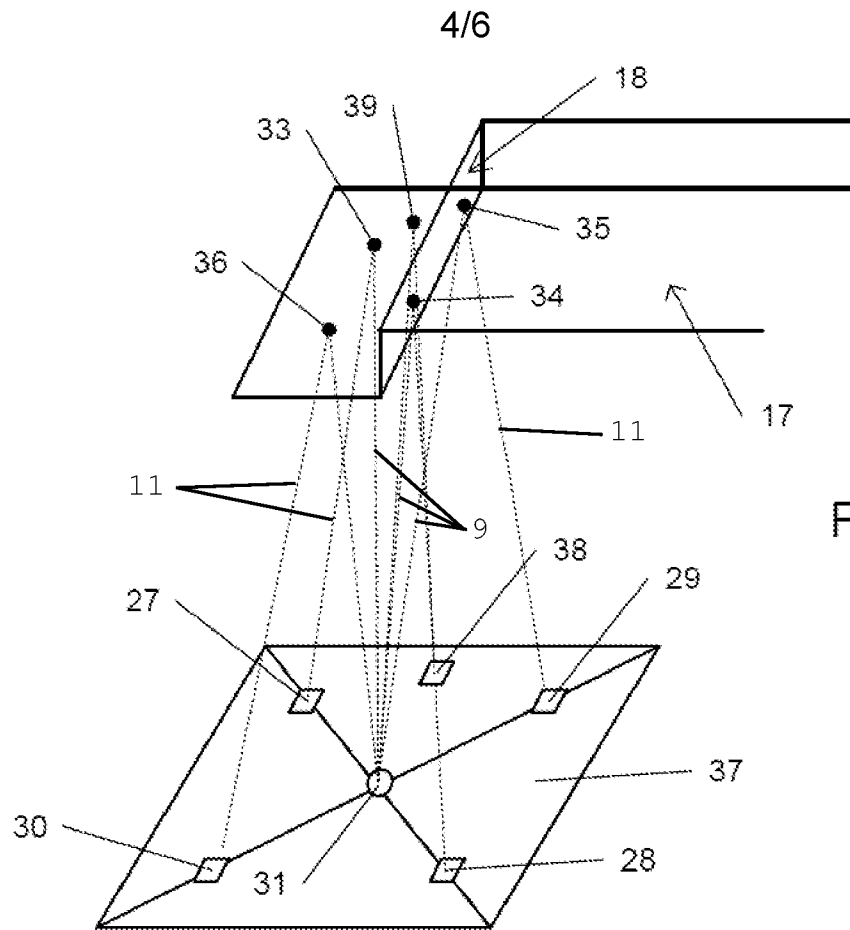
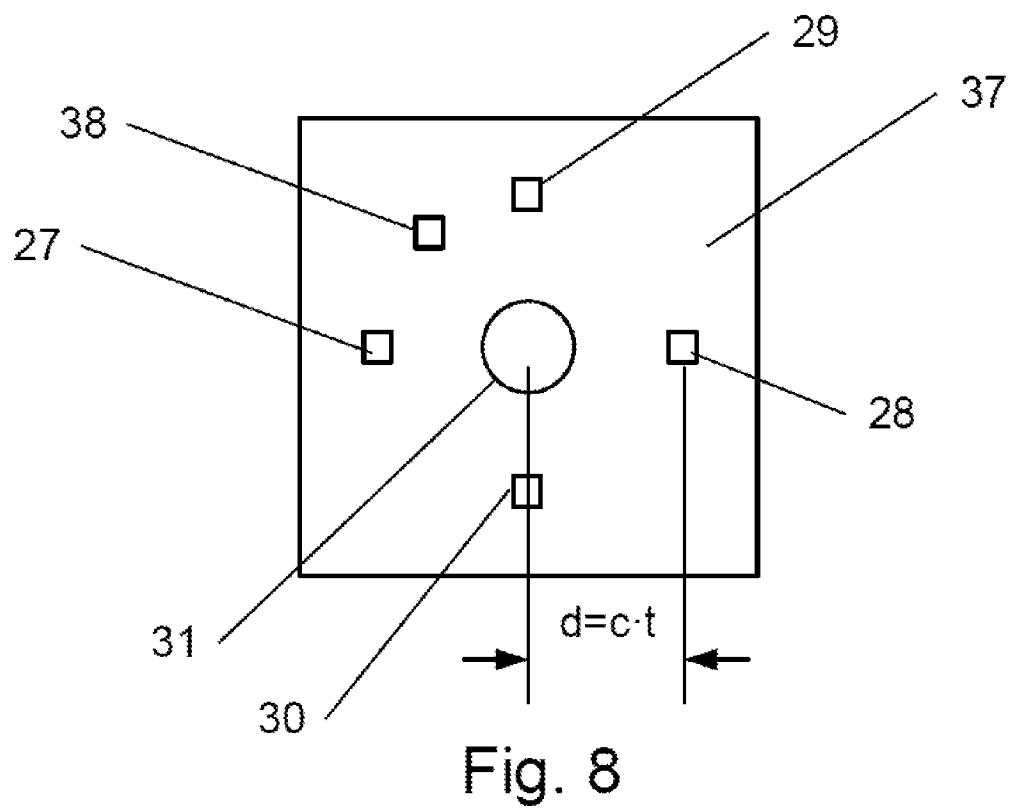
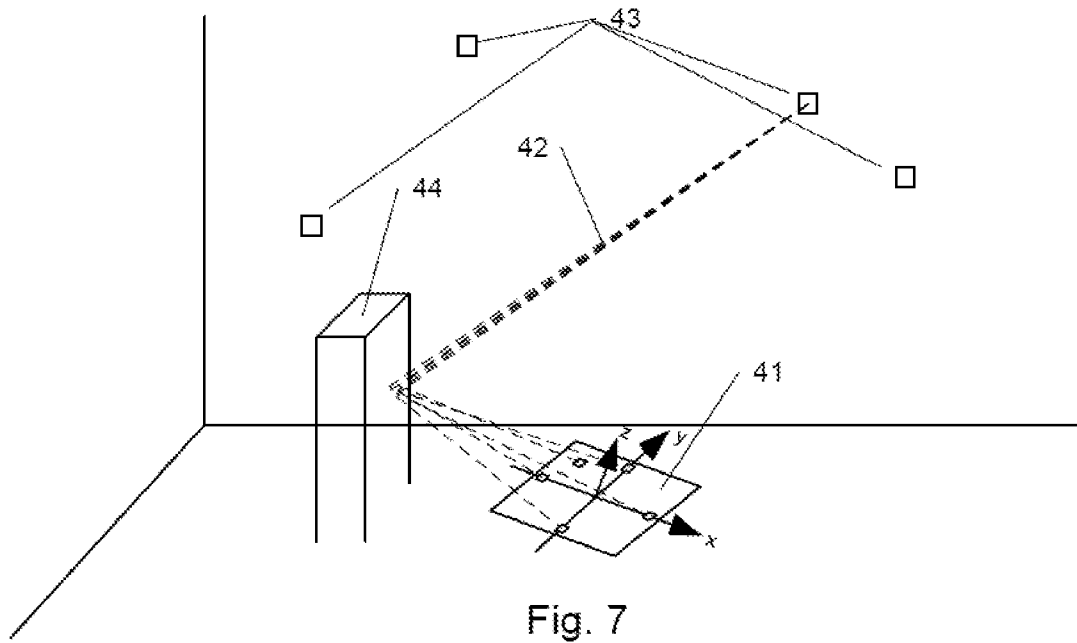


Fig. 4B



5/6



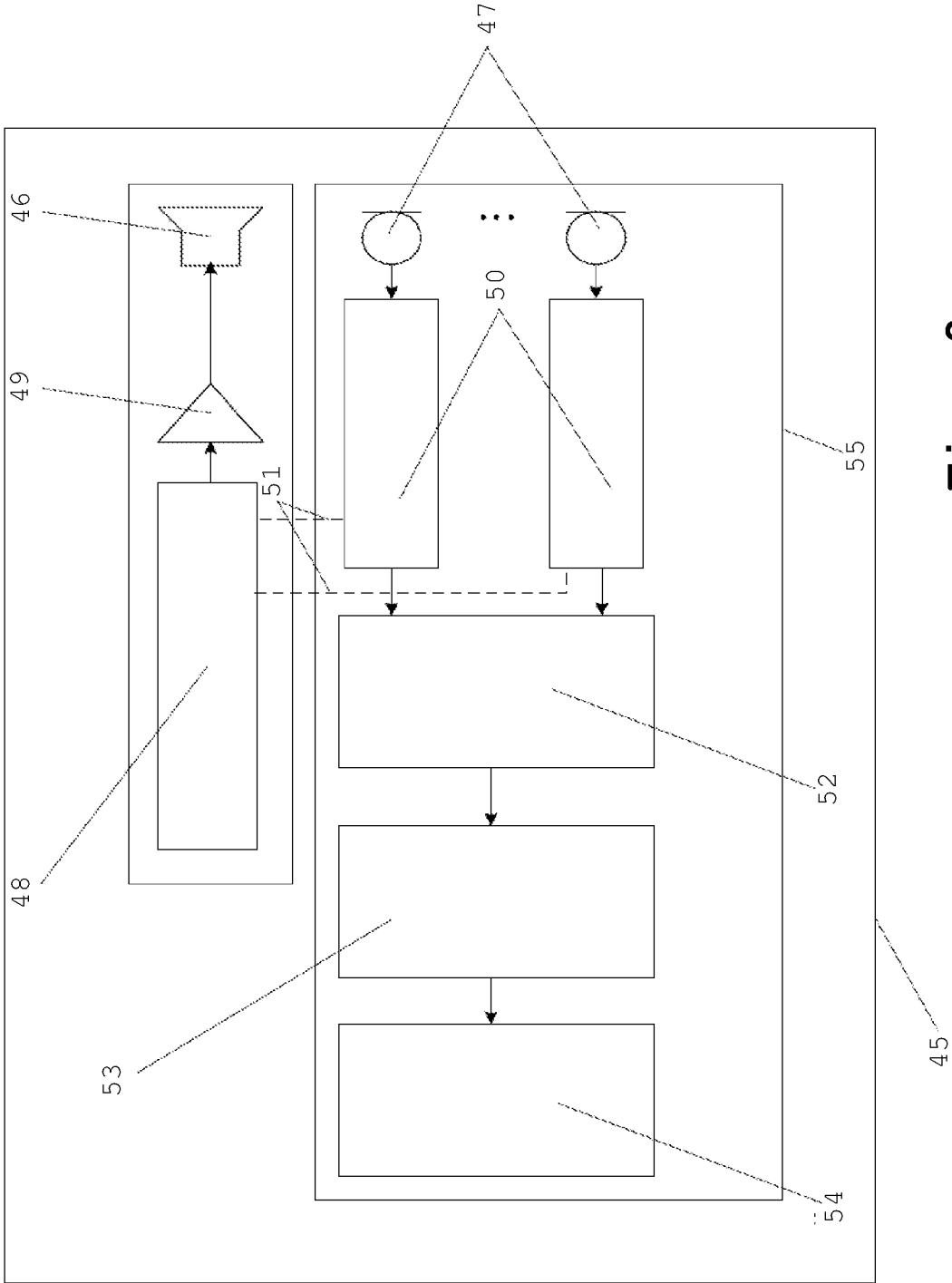


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/AT2015/050149

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01S7/52 G01S7/527 G01S15/00 G01S15/87 G01S15/10
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2011/048433 A1 (ELLIPTIC LABORATORIES AS [NO]; DAHL TOBIAS [NO]; SAMUELS ADRIAN [GB]) 28 April 2011 (2011-04-28) cited in the application	1-3,7,8, 10-13
A	abstract page 2, line 23 - page 3, line 14 page 8, line 25 - line 35 -----	4-6,9
Y	US 6 482 159 B1 (WIESAUER FRANZ [AT] ET AL) 19 November 2002 (2002-11-19) abstract column 2, line 2 - line 7 ----- -/-	1-3,7,8, 10-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 September 2015

Date of mailing of the international search report

01/10/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Roost, Joseph

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/AT2015/050149

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KANIAK G ET AL: "A 3D Airborne Ultrasound Sensor for High-Precision Location Data Estimation and Conjunction", INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY CONFERENCE PROCEEDINGS, 2008. IMTC 2008. IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 12 May 2008 (2008-05-12), pages 842-847, XP031274714, ISBN: 978-1-4244-1540-3 cited in the application abstract; figures II. Proposed Approach -----	1-13
A	DE 10 2012 004396 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 5 September 2013 (2013-09-05) abstract; figures 1,2,4 paragraphs [0003], [0004], [0023], [0024], [0025], [0035], [0036], [0039], [0051], [0054] -----	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/AT2015/050149

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2011048433 A1	28-04-2011	EP 2491474 A1	29-08-2012
		US 2012299820 A1	29-11-2012
		WO 2011048433 A1	28-04-2011

US 6482159 B1	19-11-2002	EP 1034742 A1	13-09-2000
		JP 2000316857 A	21-11-2000
		US 6482159 B1	19-11-2002

DE 102012004396 A1	05-09-2013	CN 104136935 A	05-11-2014
		DE 102012004396 A1	05-09-2013
		EP 2823331 A1	14-01-2015
		US 2014369168 A1	18-12-2014
		WO 2013131592 A1	12-09-2013

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01S7/52 G01S7/527 G01S15/00 G01S15/87 G01S15/10 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01S		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 2011/048433 A1 (ELLIPTIC LABORATORIES AS [NO]; DAHL TOBIAS [NO]; SAMUELS ADRIAN [GB]) 28. April 2011 (2011-04-28) in der Anmeldung erwähnt	1-3,7,8, 10-13
A	Zusammenfassung Seite 2, Zeile 23 - Seite 3, Zeile 14 Seite 8, Zeile 25 - Zeile 35 -----	4-6,9
Y	US 6 482 159 B1 (WIESAUER FRANZ [AT] ET AL) 19. November 2002 (2002-11-19) Zusammenfassung Spalte 2, Zeile 2 - Zeile 7 ----- -/-	1-3,7,8, 10-13
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
24. September 2015		01/10/2015
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Roost, Joseph

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	KANIAK G ET AL: "A 3D Airborne Ultrasound Sensor for High-Precision Location Data Estimation and Conjunction", INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY CONFERENCE PROCEEDINGS, 2008. IMTC 2008. IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 12. Mai 2008 (2008-05-12), Seiten 842-847, XP031274714, ISBN: 978-1-4244-1540-3 in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen II. Proposed Approach -----	1-13
A	DE 10 2012 004396 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 5. September 2013 (2013-09-05) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,4 Absätze [0003], [0004], [0023], [0024], [0025], [0035], [0036], [0039], [0051], [0054] -----	1-13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2015/050149

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2011048433	A1	28-04-2011	EP	2491474 A1		29-08-2012
			US	2012299820 A1		29-11-2012
			WO	2011048433 A1		28-04-2011

US 6482159	B1	19-11-2002	EP	1034742 A1		13-09-2000
			JP	2000316857 A		21-11-2000
			US	6482159 B1		19-11-2002

DE 102012004396	A1	05-09-2013	CN	104136935 A		05-11-2014
			DE	102012004396 A1		05-09-2013
			EP	2823331 A1		14-01-2015
			US	2014369168 A1		18-12-2014
			WO	2013131592 A1		12-09-2013
