

Offenlegungsschrift

(43) Offenlegungstag: **31.08.2023**

DE	10 2018 218 733	A1
DE	10 2019 105 337	A1
DE	10 2019 214 612	A1

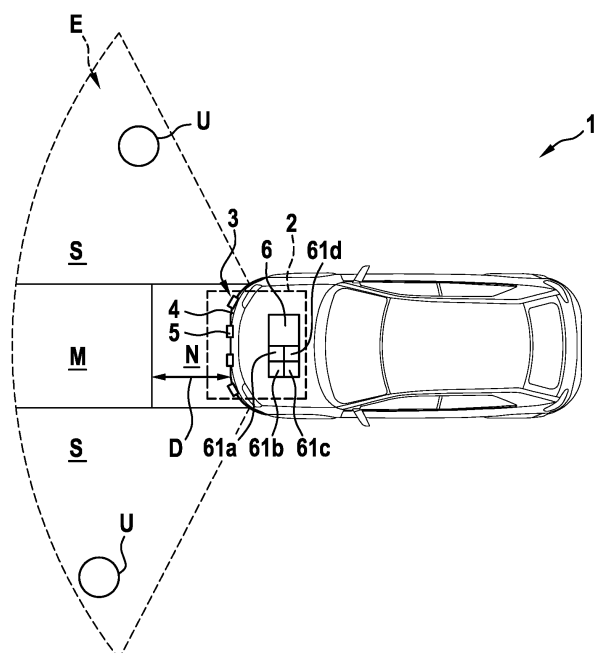
Tchorzewski, Michael, 71034 Böblingen, DE; Wingert, Tobias, 71229 Leonberg, DE; Schmidt, Juergen, 71106 Magstadt, DE; Reimann, Tom, 73266 Bissingen, DE; Bendfeld, Lena, 70499 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Bereitstellen eines Klassifikationsergebnisses zur Objektidentifikation mithilfe ultraschallbasierter Sensorsysteme in mobilen Einrichtungen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Ultraschallsensorsystems (2) mit einer der Ultraschall-Sensoreinrichtung (3) und zum Bestimmen einer Objekteigenschaft eines Umgebungsobjekts (U), wobei jeweils ein Klassifikationsmodell (61a, 61b, 61c, 61d) zur Ermittlung eines Klassifikationsergebnisses, das eine modellierte Objekteigenschaft des Umgebungsobjekts (U) angibt, für eine von mehreren Erfassungssituationen des Umgebungsobjekts (U) bereitgestellt wird, wobei jedes Klassifikationsmodell (61a, 61b, 61c, 61d) zur Auswertung mit einer unterschiedlichen Untermenge einer Menge von aus Ultraschallempfangssignalen der Ultraschall-Sensoreinrichtung (3) extrahierten Signalmerkmalen trainiert ist, um jeweils ein Klassifikationsergebnis des entsprechenden Klassifikationsmodells (61a, 61b, 61c, 61d) und eine zugehörige Güteangabe bereitzustellen, mit folgenden Schritten:

- Erfassen (S1) der Ultraschallempfangssignale von Ultraschallwandlern (5) der Ultraschall-Sensoreinrichtung (3);
- Ermitteln der Menge von Signalmerkmalen aus den Ultraschallempfangssignalen;
- Ermitteln (S3) eines oder mehrerer Klassifikationsergebnisse und zugehörigen Güteangaben durch Auswerten eines bzw. mehrerer der Klassifikationsmodelle (61a, 61b, 61c, 61d) mit der entsprechenden Untermenge der Menge der Signalmerkmale abhängig von der Erfassungssituation;
- Bestimmen (S4) der Objekteigenschaft abhängig von dem einen oder den mehreren Klassifikationsergebnissen und zugehörigen Güteangaben.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft Ultraschallsensorsysteme für mobile Einrichtungen, wie z. B. Kraftfahrzeuge, und insbesondere eine effiziente Klassifizierung von kollisionsrelevanten Umgebungsobjekten.

Technischer Hintergrund

[0002] Fahrzeuge werden in der Regel mit Ultraschallsensorsystemen zur Objektdetektion ausgestattet. Diese weisen häufig mehrere Ultraschallsensoreinrichtungen mit jeweils mehreren Ultraschallwandlern für verschiedene Erfassungsbereiche auf, in denen Umgebungsobjekte detektiert werden sollen. Die Auswertung der Ultraschallempfangssignale erfolgt üblicherweise zur Erkennung der Position von Umgebungsobjekten. Zur Unterscheidung zwischen kollisionsrelevanten und überfahrbaren Umgebungsobjekten werden dazu separate Klassifikationsmodelle verwendet. Während klassische Ansätze beispielsweise die Signalstärke niedriger Objekte hinsichtlich Grenzwerte analysieren, sehen komplexere Ansätze vor, Entscheidungsbäume zu entwickeln oder Machine-Learning-Methoden, werden für derartige Klassifikationsaufgaben zu verwenden.

[0003] Die Nutzung von datenbasierten Klassifikationsmodellen zur Objektidentifikation von Umgebungsobjekten erfordert eine Vielzahl von aus den Ultraschallempfangssignalen abgeleiteten Merkmalen. Zum Training eines solchen Klassifikationsmodells werden die Ultraschallempfangssignale für Beispielszenarien aufgezeichnet, die Klassifikationsmerkmale bestimmt und ein Label den Klassifikationsmerkmalen zugeordnet, das angibt, ob es sich bei dem Umgebungsobjekt um ein überfahrbares oder kollisionsrelevantes Objekt handelt. So ermittelte Trainingsdaten werden dann zum Trainieren des datenbasierten Klassifikationsmodells verwendet. Mögliche Klassifikationsmodelle können beispielsweise neuronale Netze oder Random-Forest-Modelle umfassen.

Offenbarung der Erfindung

[0004] Erfindungsgemäß sind ein Verfahren zur Objektidentifikation von Umgebungsobjekten eines ultraschallbasierten Sensorsystems in einer mobilen Einrichtung gemäß Anspruch 1 sowie eine entsprechende Vorrichtung und ein Ultraschallsensorsystem gemäß den nebengeordneten Ansprüchen vorgesehen.

[0005] Weitere Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0006] Gemäß einem ersten Aspekt ist ein Verfahren zum Betreiben eines Ultraschallsensorsystems mit einer der Ultraschall-Sensoreinrichtung und zum Bestimmen einer Objekteigenschaft eines Umgebungsobjekts vorgesehen, wobei jeweils ein Klassifikationsmodell zur Ermittlung eines Klassifikationsergebnisses, das eine modellierte Objekteigenschaft des Umgebungsobjekts angibt, für einen von mehreren Bereichen von Erfassungssituationen des Umgebungsobjekts bereitgestellt wird, wobei jedes Klassifikationsmodell zur Auswertung mit einer unterschiedlichen Untermenge einer Menge von aus Ultraschallempfangssignalen der Ultraschall-Sensoreinrichtung extrahierten Signalmerkmalen trainiert ist, um jeweils ein Klassifikationsergebnis des entsprechenden Klassifikationsmodells und eine zugehörige Güteangabe bereitzustellen, mit folgenden Schritten:

- Erfassen der Ultraschallempfangssignale von Ultraschallwandlern der Ultraschall-Sensoreinrichtung;
- Ermitteln der Menge von Signalmerkmalen aus den Ultraschallempfangssignalen;
- Ermitteln eines oder mehrerer Klassifikationsergebnisse und zugehörigen Güteangaben durch Auswerten eines bzw. mehrerer der Klassifikationsmodelle mit der entsprechenden Untermenge der Menge der Signalmerkmale;
- Bestimmen der Objekteigenschaft abhängig von dem einen oder den mehreren Klassifikationsergebnissen und zugehörigen Güteangaben.

[0007] Das Verfahren kann die weiteren Schritte umfassen:

- Ermitteln einer Erfassungssituation des Umgebungsobjektes insbesondere durch Lokalisation mithilfe der Ultraschall-Sensoreinrichtung;
- Auswählen eines aktuellen Klassifikationsmodells abhängig von der ermittelten Erfassungssituation;
- Ermitteln eines Klassifikationsergebnisses mithilfe des aktuellen Klassifikationsmodells;
- Bestimmen der Objekteigenschaft abhängig von den Klassifikationsergebnissen und zugehörigen Güteangaben.

[0008] Für die Nutzung eines datenbasierten Klassifikationsverfahrens werden zum Training des Klassifikationsmodells Ultraschalldaten relevanter Umgebungsobjekte benötigt. Die Umgebungsobjekte werden mithilfe des Ultraschallsensorsystems erfasst und die resultierenden Ultraschallempfangssignale ausgewertet. Die Auswertung der Ultraschallempfangssignale erfolgt durch eine Merkmalsextraktion von Signalmerkmalen aus den Verläufen

der Ultraschallempfangssignale und Zuordnung der extrahierten Signalmerkmale zu einer relevanten Objekteigenschaft des betreffenden Umgebungsobjekts, nämlich ob dieses überfahrbar ist oder kollisionsrelevant. Diese Klassifizierung entspricht einem Label von Trainingsdaten, die das Label einem Vektor aus Signalmerkmalen zuordnen und die zum Training des betreffenden Klassifikationsmodells verwendet werden.

[0009] Signalmerkmale können aggregierte Größen aus den Ultraschallempfangssignalen sein, wie z.B. maximale Amplitude, Zeitpunkt der maximalen Amplitude, Phasenlage zwischen zwei Empfangssignalen, sowie weiteren Attributen, wie z.B. einer aktuell gemessenen Amplitude, einer Ausdehnung des Objektes, einer Detektionsrate, einer Anzahl durchschnittlich empfangener Signalpeaks/Sendeimpuls (Multirefektivität), einer Anzahl von Ultraschallwandlern, die das Umgebungsobjekt empfangen können, einer Signalstabilität während der Bewegung der mobilen Einrichtung, einem Quotienten aus gefahrener Wegstrecke und gemessenem Objektstand, einer Anzahl gefundener Schnittpunkte von Echo- kreisen benachbarter Ultraschallwandler und dergleichen.

[0010] Die Ultraschallempfangssignale hängen in erheblicher Weise von einer Erfassungssituation ab, die durch eine Einbauposition der Ultraschallwandler, eine geometrische Position des Umgebungsobjekts, deren relativen Geschwindigkeiten und/oder Umgebungsbedingungen, wie Temperatur oder Untergrund, bestimmt ist. Um diese Faktoren in dem Klassifikationsmodell ausreichend zu berücksichtigen, ist eine große Anzahl von Signalmerkmalen notwendig, wobei je nach Erfassungssituation unterschiedliche Teilmengen der Signalmerkmale für das Klassifikationsergebnis in besonderem Maße relevant sind, während die übrigen Signalmerkmale nur untergeordnete Bedeutung für das Klassifikationsergebnis haben. Ein Klassifikationsmodell, das basierend auf allen möglichen Signalmerkmalen trainiert wird, hätte eine hohe Ordnung und damit einen hohen Ressourcenverbrauch in der späteren Anwendung. Auch wäre der Aufwand zum Erstellen des Klassifikationsmodells hoch, da eine Datenbank aus Trainingsdaten die Kombination aller Einflüsse möglichst raumfüllend berücksichtigen müsste.

[0011] Gemäß dem obigen Verfahren ist nun vorgesehen, abhängig von einer Erfassungssituation unterschiedliche Klassifikationsmodelle zu trainieren und anzuwenden. Die Erfassungssituation kann beispielsweise die Position des zu erfassenden Umgebungsobjekts, die Geschwindigkeit der mobilen Einrichtung (Fahrzeug) und dergleichen umfassen. Je nach Erfassungssituation kann nun eine unterschiedliche Untermenge von Signalmerkmalen zum

Trainieren des entsprechenden Klassifikationsmodells verwendet werden. Dadurch können Signalmerkmale, die für die Objektidentifikation in der betreffenden Erfassungssituation nicht oder nur wenig relevant sind, ausgeblendet werden, um die zu trainierenden und bereitzustellenden Klassifikationsmodelle für eine deutlich verringerte Dimensionalität von Signalmerkmalen bereitzustellen. Beispielsweise ist bei einem Ultraschallsensorsystem eines Fahrzeugs, das mit 12 Ultraschallwandlern versehen ist, eine Aufteilung des Erfassungsbereichs als Teil der Erfassungssituation in z.B. vier Erfassungssituationen sinnvoll. Diese entsprechen einer relativen Bewegung im Mittel- und Fernbereich vor dem Stoßfänger, einer Bewegung im Nahbereich vor dem Stoßfänger, im Stillstand und bei einer Bewegung in einem Seitenbereich des Fahrzeugs.

[0012] Für eine Erfassungssituation einer Bewegung im Mittel- und Fernbereich kann das Umgebungsobjekt von allen Ultraschallwandlern detektiert werden, und es können Ultraschallempfangssignale über unterschiedliche Distanzen gesammelt werden. Zusätzlich können Reflexionen von Bodennähe, wie z. B. die Kehle zwischen dem Umgebungsobjekt und dem Boden detektiert werden. Insbesondere kann diese Erfassungssituation definiert sein durch alle Bereiche, bei denen das Umgebungsobjekt einen größeren Abstand aufweist als einen vorgegebenen Abstandswert.

[0013] Weiterhin kann als Erfassungssituation eine Bewegung in einem Nahbereich vor dem Stoßfänger des Fahrzeugs (als Beispiel für eine mobile Einrichtung) definiert sein. In dem Nahbereich gehen Informationen der Bodennähe verloren, was einen signifikanten Einfluss auf die Signalmerkmale hat, da geringere Multirefektivität des Umgebungsobjekt vorliegt. Daher können niedrige Objekte nicht mehr basierend auf Signalmerkmalen, die Multirefektivität betreffend, detektiert werden. Insbesondere kann diese Erfassungssituation definiert sein durch alle Bereiche, bei denen das Umgebungsobjekt einen geringeren Abstand als den vorgegebenen Abstandswert aufweist.

[0014] Eine weitere Erfassungssituation besteht in einem Stillstand des Fahrzeugs, d. h. die relative Bewegung zwischen dem Umgebungsobjekt und dem Fahrzeug. Für diese Erfassungssituation sind alle Signalmerkmale unbrauchbar, die darauf basieren, dass über mehrere Distanzen oder während einer Bewegung eine Änderung der Ultraschallempfangssignale erfolgt.

[0015] Eine weitere Erfassungssituation liegt vor, wenn das Umgebungsobjekt sich seitlich des Fahrzeugs befindet. Hier werden die Umgebungsobjekte nur noch von einem Teil der Ultraschallwandler erkannt, dafür jedoch aus unterschiedlichen Detek-

tionswinkeln. Zusätzlich ändert sich bei einer Vorbeifahrt gegebenenfalls der Detektionspunkt am Umgebungsobjekt. Der Abstand zum Umgebungsobjekt bleibt entweder konstant oder ändert sich nur zusammen mit dem Detektionswinkel und kann nicht unabhängig als Signalmerkmal verwendet werden. Dies macht alle Signalmerkmale, die in unterschiedlichen Distanzen ausgewertet müssen, unbrauchbar. Die Erfassungssituation kann beispielsweise dadurch definiert sein, dass alle Bereiche, die nur in einem Bereich eines Detektionsbereichs eines Ultraschallwandlers liegen, bestimmt sind. Zur Auswertung kann im einfachsten Fall die Erfassungssituation erkannt werden, insbesondere basierend auf einer Orts- und Geschwindigkeitserkennung, und danach das zugehörige Klassifikationsmodell ausgewählt werden.

[0016] In der Regel werden für die Klassifikationsmodelle Güteangaben zusätzlich zum Klassifikationsergebnis ermittelt. Die Güteangabe ergibt sich aus der Höhe des Elementenwerts des argmax des Klassifikationsvektors, d.h. dem Wert des Elements des Klassifikationsvektors mit dem höchsten Wert.

[0017] Es kann vorgesehen sein, dass jedes der Klassifikationsmodelle mit der jeweiligen Untermenge der Menge an Signalmerkmalen ausgewertet wird, um das entsprechende Klassifikationsergebnis und die zugehörige Güteangabe zu erhalten, wobei die Objekteigenschaft durch dasjenige Klassifikationsergebnis bestimmt ist, dessen Güteangabe die höchste Güte angibt.

[0018] Werden im Betrieb des Ultraschallsensorsystems alle Klassifikationsmodelle verwendet, um ein Klassifikationsergebnis zu bestimmen, können damit die Güteangaben aller Klassifikationsmodelle genutzt werden, um stets das Klassifikationsergebnis mit der höchsten Güteangabe, d. h. die Güteangabe, die die höchste Zuverlässigkeit des Klassifikationsergebnisses angibt, zu verwenden.

[0019] Bei Feststellen, dass ein Umgebungsobjekt eine Erfassungssituation verlässt, kann das zuletzt mit dem dieser Erfassungssituation zugeordneten Klassifikationsmodell ermittelte Klassifikationsergebnis und die zugehörige Güteangabe zwischengespeichert werden, wobei das Bestimmen der Objekteigenschaft abhängig von dem mit dem aktuellen Klassifikationsmodell erhaltenen Klassifikationsergebnis und der zugehörigen Güteangabe und von dem zwischengespeicherten Klassifikationsergebnis und der zugehörigen Güteangabe ermittelt wird.

[0020] Insbesondere kann die Objekteigenschaft solange durch das zwischengespeicherte Klassifikationsergebnis bestimmt werden, wie dessen zugehörige Güteangabe eine höhere Güte angibt als die

Güteangabe des mit dem aktuellen Klassifikationsmodell ermittelte Klassifikationsergebnis.

[0021] In einer alternativen Ausführungsform kann in einer Erfassungssituation nur das Klassifikationsmodell, das der entsprechenden Erfassungssituation zugeordnet ist, berechnet werden. Das jeweilige Klassifikationsergebnis wird mit der zugehörigen Güteangabe verwendet und gespeichert. Beim Übergang zu einer weiteren Erfassungssituation kann nun das dem entsprechenden Erfassungsbereich zugeordnete Klassifikationsmodell verwendet werden und dort das Klassifikationsergebnis und die entsprechende Güteangabe ermittelt werden. Jedoch wird das zuvor mit dem vorherigen Klassifikationsmodell ermittelte Klassifikationsergebnis mit der entsprechenden Güteangabe so lange als relevantes Klassifikationsergebnis verwendet, solange die durch die Güteangabe angegebene Güte der aktuellen Auswertung des aktuellen Klassifikationsmodells nicht die durch die Güteangabe angegebene Güte der vorherigen Auswertung übersteigt.

[0022] Weiterhin können bei Feststellen, dass ein Umgebungsobjekt eine Erfassungssituation verlässt, die Signalmerkmale, die auf historischen Verläufen der Ultraschallempfangssignale basieren zurückgesetzt werden.

[0023] Bei einem Übergang von einer Erfassungssituation in eine weitere Erfassungssituation werden in der Regel die Signalmerkmale nur für das jeweils aktuelle Klassifikationsmodell berechnet und beim Übergang zu einem weiteren Klassifikationsmodell zurückgesetzt, so dass Signalmerkmale, die auf historischen Ultraschallempfangssignalen basieren, neu berechnet werden. Im aktuellen Klassifikationsmodell nicht verwendete Signalmerkmale werden auf invaliden Werten gehalten, was sich bei Klassifikationsmodellen grundsätzlich auf eine Verschlechterung der Güteangabe durch das Klassifikationsmodell auswirkt.

[0024] Durch die Verwendung von mehreren Klassifikationsmodellen kann der Aufwand für das Erstellen von Trainingsdatenbanken erheblich reduziert werden.

[0025] Gemäß einem weiteren Aspekt ist eine Vorrichtung zur Durchführung eines der obigen Verfahren vorgesehen.

Figurenliste

[0026] Ausführungsformen werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Fahrzeugs mit einem Ultraschallsensorsystem mit einer Ultraschallsensoreinrichtung; und

Fig. 2 ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens zum Betreiben des Ultraschallsensorsystems der **Fig. 1**.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0027] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung eines Fahrzeugs 1 in einer Fahrzeugumgebung, in der sich ein oder mehrere Umgebungsobjekte U befinden. Das Fahrzeug 1 als Beispiel für eine mobile Einrichtung umfasst ein Ultraschallsensorsystem 2 mit einer Ultraschall-Sensoreinrichtung 3, die an einem vorderen Stoßfänger 4 angeordnet ist.

[0028] Die Ultraschall-Sensoreinrichtung 3 umfasst mehrere Ultraschallwandler 5 zum Aussenden eines Ultraschallsignals mit Signalimpulsen und zum Empfangen von an den Umgebungsobjekten U in einem Erfassungsbereich E reflektierten Ultraschallsignalen.

[0029] Es ist eine Steuereinheit 6 vorgesehen, die zur Auswertung der Ultraschallempfangssignale (Sensorsignale) der Ultraschallwandler 5 der Ultraschall-Sensoreinrichtung 3 dient. In der Steuereinheit 6 sind mehrere Klassifikationsmodelle 61a, 61b, 61c, 61d implementiert, die separat auf verschiedene Erfassungssituationen bezüglich der Ultraschall-Sensoreinrichtung 3 trainiert sind.

[0030] Die Ultraschallempfangssignale werden weiterhin in an sich bekannter Weise mithilfe von Ultraschall basierten Lokalisationsverfahren ausgewertet, um in der Steuereinheit 6 eine virtuelle Karte der Umgebung zu erstellen und dort die Positionen von detektierten Umgebungsobjekten U einzutragen. Den detektierten Umgebungsobjekten U werden mithilfe des jeweiligen Klassifikationsmodells 61a, 61 b, 61c, 61 d Klassifikationsergebnisse zugeordnet. Die Klassifikationsergebnisse klassifizieren die Umgebungsobjekte U nach relevanten Eigenschaften für den Fahrbetrieb des Fahrzeugs. Die Klassifikationsergebnisse können beispielsweise angeben, dass das betreffende Umgebungsobjekt U überfahrbar und kollisionsrelevant ist. Dieses Merkmal orientiert sich an der Höhe des Umgebungsobjekts über dem Grund.

[0031] Die datenbasierten Klassifikationsmodelle 61a, 61b, 61c, 61d ordnen einem Eingangsgrößenvektor, der Signalmerkmale aus den Ultraschallempfangssignalen der Ultraschallwandler umfasst, einen Klassifikationsvektor zu. Der Klassifikationsvektor umfasst für jede mögliche Klasse ein Element des Klassifikationsergebnisses. Durch eine argmax-Funktion kann für die Modellauswertung die bestimmte Klasse als Klassifikationsergebnis ausgegeben werden. Der Wert des Elements, das durch argmax bestimmt wird, entspricht dabei der Güteangabe für das Klassifikationsergebnis.

[0032] Zur Klassifikation eines erkannten Umgebungsobjekts werden gemäß dieser Erfindung mehrere Klassifikationsmodelle 61a, 61b, 61c, 61d für verschiedene Erfassungssituationen verwendet. Dazu kann für jedes Umgebungsobjekt U eine Erfassungssituation bestimmt und das zu verwendende Klassifikationsmodell entsprechend ausgewählt werden.

[0033] Die Erfassungssituation kann die relative Position des Umgebungsobjekts zum Ultraschallsensorsystem 1 und gegebenenfalls die relative Geschwindigkeit des Umgebungsobjekts U zum Ultraschallsensorsystem umfassen. Weitere Faktoren können beispielsweise Oberflächenbeschaffenheiten, Nässe und dergleichen angeben.

[0034] Im Folgenden werden als Erfassungssituationen die relative Position des Umgebungsobjekts U und dessen relative Geschwindigkeit angenommen. Es werden im gezeigten Ausführungsbeispiel vier Erfassungssituationen für ein Umgebungsobjekt U unterschieden:

- das sich bewegende Umgebungsobjekt U befindet sich in einem vorausliegenden Mittel- und Fernbereich M, d. h. Umgebungsobjekte mit einer relativen Position, die einen Abstand von größer D von dem Ultraschallsensorsystem angibt,
- das sich bewegende Umgebungsobjekt U befindet sich in einem Nahbereich N für einen Abstand des Umgebungsobjekts vom Ultraschallsensorsystem kleiner als der vorgegebene Abstand D,
- das sich bewegende Umgebungsobjekt U befindet sich in einem von zwei Seitenbereichen S, die seitlich zum Fahrkanal in Fahrtrichtung angeordnet ist und dadurch definiert ist, dass nicht alle Ultraschallwandler ein von dem entsprechenden Umgebungsobjekt U ausgehendes Ultraschallempfangssignal empfangen können, und
- das Fahrzeug steht still oder es findet keine relative Bewegung zwischen dem Umgebungsobjekt U und dem Ultraschallsensorsystem 1 statt.

[0035] In **Fig. 2** ist ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens dargestellt, das in der Steuereinheit 6 des Ultraschallsensorsystems 1 ausgeführt wird.

[0036] In Schritt S1 werden zunächst mithilfe von Positionsbestimmungsmodellen die relativen Positionen von Umgebungsobjekten U und deren relativen Geschwindigkeiten bezüglich des Ultraschallsensorsystems 1 erfasst.

[0037] In Schritt S2 wird für jedes der erfassten Umgebungsobjekte U ein entsprechendes der Klassifikationsmodelle 61a, 61b, 61c, 61d ausgewählt, das entscheiden soll, ob das entsprechende Umgebungsobjekt U kollisionsrelevant oder überfahrbar ist. Das zugehörige Klassifikationsmodell 61a, 61b, 61c, 61d wird ausgewählt, in dem die Erfassungssituation des betreffenden Umgebungsobjekts U dem betreffenden Klassifikationsmodell 61a, 61b, 61c, 61d zugeordnet wird.

[0038] Das ausgewählte Klassifikationsmodell wird nun in Schritt S3 genutzt, um ein entsprechendes Klassifikationsergebnis, d. h. eine Aussage darüber, ob das betreffende Umgebungsobjekt kollisionsrelevant oder überfahrbar ist, auszuwählen. Das Klassifikationsmodell nutzt dazu Signalmerkmale der Ultraschallempfangssignale der Ultraschallwandler und wertet diese aus. Die Signalmerkmale können aggregierte Größen aus den Ultraschallempfangssignalen sein und z.B. einen zeitlichen Verlauf der Ultraschallempfangssignale charakterisieren.

[0039] In entsprechender Weise sind die Klassifikationsmodelle jeweils so trainiert, dass diese mit einer Teilmenge von aus den Ultraschallempfangssignalen bestimmten Signalmerkmalen eine Auswertung des Klassifikationsmodells vornehmen, um ein Klassifikationsergebnis zu erhalten.

[0040] Weiterhin wird in Schritt S4 neben dem Klassifikationsergebnis auch eine Güteangabe bestimmt, die sich beispielsweise aus dem Grad einer Zugehörigkeit zu einer bestimmten Klasse im Klassifikationsergebnis ablesen lässt. So können in verschiedenen Ausführungsbeispielen die Umgebungsobjekte U als kollisionsrelevant oder überfahrbar gekennzeichnet sein, was zwei verschiedenen Klassen entsprechen kann. Der entsprechende Klassifikationsvektor gibt nun für jede der Klassen einen Ausgabewert zwischen 0 und 1 an, wobei 1 einer sicheren Einschätzung der Zugehörigkeit zu einer Klasse entspricht. 0 entspricht entsprechend einer größtmöglichen Unsicherheit der Zugehörigkeit zu dieser Klasse.

[0041] Nun wird in Schritt S5 überprüft, ob sich die Erfassungssituation geändert hat und eine Erfassungssituation vorliegt, der ein anderes Klassifikationsmodell zugeordnet ist. Ist dies der Fall (Alternative: Ja), wird das Verfahren mit Schritt S6 fortgesetzt, anderenfalls wird zum Schritt S1 zurückgesprungen.

[0042] In Schritt S6 wird entsprechend dem geänderten Erfassungsbereich neu zugeordneten Klassifikationsmodell eine Auswertung vorgenommen. Davor wird das zuletzt mit dem vorherigen Klassifikationsmodell vorgenommene Klassifikationsergebnis zwischengespeichert und auch die zugehörige Güte-

angabe des Klassifikationsergebnisses zwischengespeichert.

[0043] In Schritt S7 wird die Güteangabe des neuen Klassifikationsergebnis mit der zwischengespeicherten Güteangabe verglichen. Ergibt die aktuelle Auswertung mit dem neuen Klassifikationsmodell ein Klassifikationsergebnis mit einer geringeren Güteangabe (Alternative: Ja), so wird in Schritt S8 das zwischengespeicherte Klassifikationsergebnis als zu ermittelndes Klassifikationsergebnis verwendet, anderenfalls (Alternative: Nein), d. h. die Güteangabe der Auswertung im neuen Klassifikationsmodell ist höher als die zwischengespeicherte Güteangabe, wird in Schritt S9 das neu ermittelte Klassifikationsergebnis als zu ermittelndes Klassifikationsergebnis verwendet.

[0044] Bei einem Übergang der Erfassungssituation zu einer einem anderen Klassifikationsmodell zugeordneten Erfassungssituation werden in der Regel die Signalmerkmale nur für das jeweils aktuelle Klassifikationsmodell berechnet und die zugrundeliegenden historischen Verläufe der Ultraschallempfangssignale beim Übergang zu einem weiteren Klassifikationsmodell zurückgesetzt, so dass Signalmerkmale, die auf historischen Ultraschallempfangssignalen basieren, neu berechnet werden. Im aktuellen Klassifikationsmodell nicht verwendete Signalmerkmale werden auf invaliden Werten gehalten, was sich bei Klassifikationsmodellen grundsätzlich auf eine Verschlechterung der Güteangabe durch das Klassifikationsmodell auswirkt.

[0045] In einer alternativen Ausführungsform können im Betrieb die Klassifikationsmodelle aller Erfassungssituationen parallel ausgewertet werden. Es wird dann dasjenige Klassifikationsergebnis verwendet, für das sich die höchste Güteangabe ergibt. Somit kann insbesondere in Grenzbereichen zwischen zwei Erfassungssituationen demjenigen Klassifikationsmodell mehr vertraut werden, dass bei der Auswertung die größere Zuverlässigkeit (Güteangabe) angibt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Ultraschallsensorsystems (2) mit einer der Ultraschall-Sensorreinrichtung (3) und zum Bestimmen einer Objekteigenschaft eines Umgebungsobjekts (U), wobei jeweils ein Klassifikationsmodell (61a, 61b, 61c, 61d) zur Ermittlung eines Klassifikationsergebnisses, das eine modellierte Objekteigenschaft des Umgebungsobjekts (U) angibt, für eine von mehreren Erfassungssituationen des Umgebungsobjekts (U) bereitgestellt wird, wobei jedes Klassifikationsmodell (61 a, 61b, 61c, 61 d) zur Auswertung mit einer unterschiedlichen Untermenge einer Menge von aus Ultraschallempfangssignalen der Ultra-

schall-Sensoreinrichtung (3) extrahierten Signalmerkmalen trainiert ist, um jeweils ein Klassifikationsergebnis des entsprechenden Klassifikationsmodells (61 a, 61b, 61c, 61 d) und eine zugehörige Güteangabe bereitzustellen, mit folgenden Schritten:

- Erfassen (S1) der Ultraschallempfangssignale von Ultraschallwandlern (5) der Ultraschall-Sensoreinrichtung (3);
- Ermitteln der Menge von Signalmerkmalen aus den Ultraschallempfangssignalen;
- Ermitteln (S3) eines oder mehrerer Klassifikationsergebnisse und zugehörigen Güteangaben durch Auswerten eines bzw. mehrerer der Klassifikationsmodelle (61a, 61b, 61c, 61d) mit der entsprechenden Untermenge der Menge der Signalmerkmale abhängig von der Erfassungssituation;
- Bestimmen (S4) der Objekteigenschaft abhängig von dem einen oder den mehreren Klassifikationsergebnissen und zugehörigen Güteangaben.

2. Verfahren nach Anspruch 1, mit den weiteren Schritten:

- Ermitteln einer Erfassungssituation des Umgebungsobjektes (U) insbesondere durch Lokalisation mithilfe der Ultraschall-Sensoreinrichtung (3);
- Auswählen (S2) eines aktuellen Klassifikationsmodells aus den mehreren Klassifikationsmodellen (61a, 61b, 61c, 61d) abhängig von der ermittelten Erfassungssituation;
- Ermitteln eines Klassifikationsergebnisses mithilfe des ausgewählten aktuellen Klassifikationsmodells;
- Bestimmen (S4) der Objekteigenschaft abhängig von den Klassifikationsergebnissen und zugehörigen Güteangaben.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei bei Feststellen, dass ein Umgebungsobjekt (U) eine Erfassungssituation verlässt, das zuletzt mit dem dieser Erfassungssituation zugeordneten Klassifikationsmodell ermittelte Klassifikationsergebnis und die zugehörige Güteangabe zwischengespeichert wird, wobei das Bestimmen der Objekteigenschaft abhängig von dem mit dem aktuellen Klassifikationsmodell erhaltenen Klassifikationsergebnis und der zugehörigen Güteangabe und von dem zwischengespeicherten Klassifikationsergebnis und der zugehörigen Güteangabe ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Objekteigenschaft solange durch das zwischengespeicherte Klassifikationsergebnis bestimmt wird, wie dessen zugehörige Güteangabe eine höhere Güte angibt, als die Güteangabe des mit dem aktuellen Klassifikationsmodell ermittelte Klassifikationsergebnis.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei bei Feststellen, dass ein Umgebungsobjekt eine Erfassungssituation verlässt, die Signalmerkmale, die auf

historischen Verläufen der Ultraschallempfangssignale basieren zurückgesetzt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei die Erfassungssituation von der Position des Umgebungsobjektes (U), und/oder dessen Geschwindigkeit abhängt.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei jedes der Klassifikationsmodelle mit der jeweiligen Untermenge der Menge an Signalmerkmalen ausgewertet wird, um das entsprechende Klassifikationsergebnis und die zugehörige Güteangabe zu erhalten, wobei die Objekteigenschaft durch dasjenige Klassifikationsergebnis bestimmt ist, dessen Güteangabe die höchste Güte angibt.

8. Vorrichtung zur Durchführung eines der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

9. Computerprogrammprodukt, umfassende Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auszuführen.

10. Maschinenlesbares Speichermedium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auszuführen.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Fig. 1

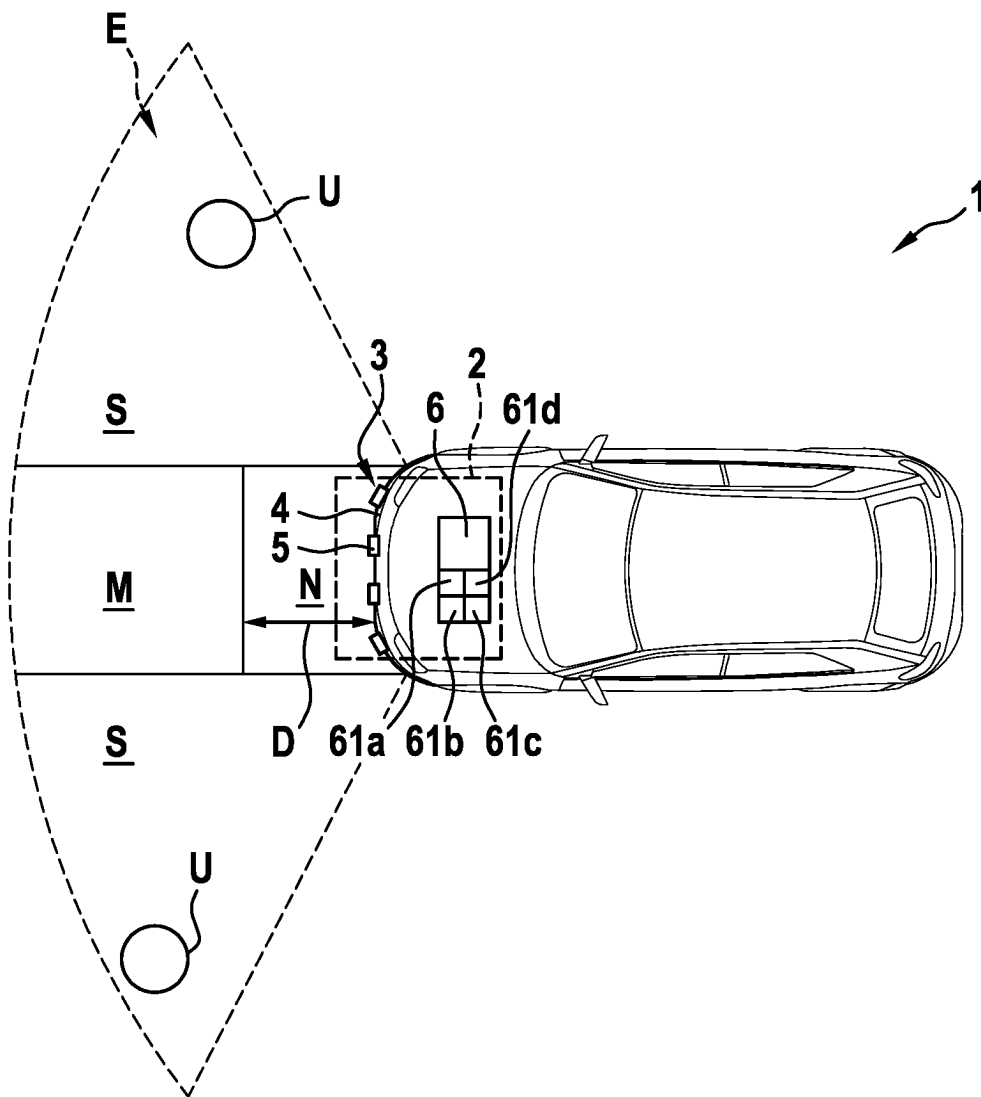


Fig. 2

