



(10) **DE 10 2020 203 829 A1** 2021.09.30

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 203 829.5**

(22) Anmeldetag: **25.03.2020**

(43) Offenlegungstag: **30.09.2021**

(51) Int Cl.: **B60W 50/04 (2006.01)**

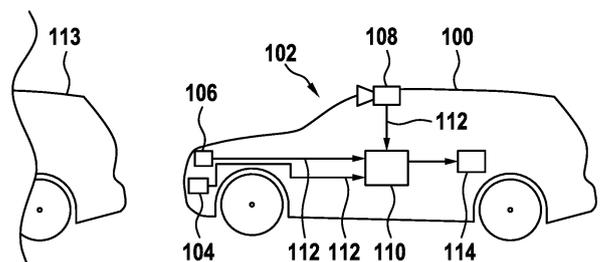
(71) Anmelder:
**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:
**Gussner, Thomas, 71634 Ludwigsburg, DE; Heyl,
Andreas, 71272 Renningen, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Überwachen eines Fahrzeugsystems zum Erkennen einer Umgebung eines
Fahrzeugs**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (200) zum Überwachen eines Fahrzeugsystems (102) zum Erkennen einer Umgebung eines Fahrzeugs (100), wobei das Fahrzeugsystem (102) eine Sensorik mit mindestens zwei Sensoreinheiten (104, 106, 108) zum Erfassen der Umgebung des Fahrzeugs (100) und eine Auswerteeinheit (110) zum Erkennen von Objekten (113) in der Umgebung des Fahrzeugs (100) durch Fusionieren von Sensordaten (112) der mindestens zwei Sensoreinheiten (104, 106, 108) aufweist. Das Verfahren (200) umfasst die folgenden Schritte: Bestimmen (210) einer Existenzwahrscheinlichkeit und einer Erfassungswahrscheinlichkeit für jedes der erkannten Objekte basierend auf den Sensordaten (112), wobei die Existenzwahrscheinlichkeit anzeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das erkannte Objekt ein reales Objekt (113) in der Umgebung des Fahrzeugs (100) repräsentiert, und die Erfassungswahrscheinlichkeit anzeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das erkannte Objekt durch die Sensorik erfasst werden kann, wobei die Existenzwahrscheinlichkeit und die Erfassungswahrscheinlichkeit für jede der mindestens zwei Sensoreinheiten (104, 106, 108) separat bestimmt werden; und Bestimmen (220) anhand der Existenzwahrscheinlichkeiten und der Erfassungswahrscheinlichkeiten, ob sich das Fahrzeugsystem (102) in einem robusten Zustand befindet oder nicht.



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen eines Fahrzeugsystems zum Erkennen einer Umgebung eines Fahrzeugs. Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Auswerteeinheit, ein Computerprogramm und ein computerlesbares Medium zum Ausführen des Verfahrens sowie ein entsprechendes Fahrzeugsystem.

Stand der Technik

[0002] Zum Erkennen einer Umgebung eines Fahrzeugs können Sensordaten unterschiedlicher Sensoren des Fahrzeugs mittels geeigneter Algorithmen in einer gemeinsamen Repräsentation der Umgebung zusammengeführt werden, was auch als Sensordatenfusion bezeichnet wird. Ziel einer solchen Sensordatenfusion ist es, die jeweiligen Sensordaten so zusammenzuführen, dass jeweilige Stärken der Sensoren gewinnbringend miteinander kombiniert bzw. jeweilige Schwächen der Sensoren reduziert werden. Ob die Umgebung bei unterschiedlichen äußeren Bedingungen korrekt erkannt wird, hängt insbesondere davon ab, wie robust ein solches Fahrzeugsystem arbeitet.

Offenbarung der Erfindung

[0003] Vor diesem Hintergrund werden mit dem hier vorgestellten Ansatz ein Verfahren, eine Auswerteeinheit, ein Computerprogramm und ein computerlesbares Medium gemäß den unabhängigen Ansprüchen vorgestellt. Vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des hier vorgestellten Ansatzes ergeben sich aus der Beschreibung und sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

Vorteile der Erfindung

[0004] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ermöglichen es in vorteilhafter Weise, eine Robustheit eines Fahrzeugsystems mit mehreren Sensoren zur Umfelderkennung anhand sensorspezifischer Existenz- und Erfassungswahrscheinlichkeiten abzuschätzen. Dadurch können falsch positive, falsch negative oder sonstige falsche Ergebnisse bei der Erkennung von Objekten vermieden werden.

[0005] Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen eines Fahrzeugsystems zum Erkennen einer Umgebung eines Fahrzeugs, wobei das Fahrzeugsystem eine Sensorik mit mindestens zwei Sensoreinheiten zum Erfassen der Umgebung des Fahrzeugs und eine Auswerteeinheit zum Erkennen von Objekten in der Umgebung des Fahrzeugs durch Fusionieren von Sensordaten der mindestens zwei Sensoreinheiten aufweist.

Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Bestimmen einer Existenzwahrscheinlichkeit und einer Erfassungswahrscheinlichkeit für jedes der erkannten Objekte basierend auf den Sensordaten, wobei die Existenzwahrscheinlichkeit anzeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das erkannte Objekt ein reales Objekt in der Umgebung des Fahrzeugs repräsentiert, und die Erfassungswahrscheinlichkeit anzeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das erkannte Objekt durch die Sensorik erfasst werden kann, wobei die Existenzwahrscheinlichkeit und die Erfassungswahrscheinlichkeit für jede der mindestens zwei Sensoreinheiten separat bestimmt werden; und Bestimmen anhand der Existenzwahrscheinlichkeiten und der Erfassungswahrscheinlichkeiten, ob sich das Fahrzeugsystem in einem robusten Zustand befindet oder nicht.

[0006] Unter einem Fahrzeug kann im Allgemeinen eine sich teil- oder vollautomatisiert bewegende Maschine verstanden werden. Beispielsweise kann das Fahrzeug ein Pkw, Lkw, Bus, ein Motorrad, ein Roboter oder Ähnliches sein.

[0007] Das Fahrzeugsystem kann ausgeführt sein, um das Fahrzeug teil- oder vollautomatisiert zu steuern. Hierzu kann das Fahrzeugsystem eine entsprechende Aktorik des Fahrzeugs, wie Lenk- oder Bremsaktoren oder ein Motorsteuergerät, ansteuern.

[0008] Eine Sensoreinheit kann beispielsweise ein Radar-, Lidar-, Ultraschallsensor oder eine Kamera sein. Die Sensorik kann gleichartige (beispielsweise redundante) oder verschiedenartige (beispielsweise komplementäre) Sensoreinheiten umfassen. Denkbar ist beispielsweise eine Kombination eines Radarsensors mit einer Kamera oder eine Kombination mehrerer Radarsensoren mit unterschiedlichen Erfassungsrichtungen.

[0009] Die Sensordaten können durch die jeweilige Sensoreinheit erkannte Merkmale wie etwa Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Ausdehnung oder Objektkategorie von Objekten in der Umgebung des Fahrzeugs umfassen. Die Merkmale können aus Rohdaten der jeweiligen Sensoreinheit extrahiert worden sein.

[0010] Zur Erkennung der Umgebung des Fahrzeugs können die Sensordaten miteinander fusioniert werden. Unter einer solchen Sensordatenfusion kann ein Vorgang verstanden werden, bei dem Informationen unterschiedlicher Sensorinstanzen genutzt werden, um Objekte in der Umgebung des Fahrzeugs zu detektieren und zu klassifizieren (auch Objekt-Diskriminierung genannt) und jeweilige Zustände der Objekte zu schätzen, d. h. mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorherzusagen (auch Track-Schätzung genannt).

[0011] Als ein erkanntes Objekt kann in diesem Zusammenhang ein Modell eines realen, in der Umgebung des Fahrzeugs befindlichen Objekts, etwa ein beobachtetes Fahrzeug, eine Straßenmarkierung, ein Fußgänger oder Ähnliches, aufgefasst werden. Die erkannten Objekte können zusammen mit ihren jeweiligen Merkmalen in einem die Umgebung des Fahrzeugs repräsentierenden Umgebungsmodell hinterlegt sein, das basierend auf den Sensordaten fortlaufend aktualisiert werden kann, indem prädierte Zustände der Objekte mit aktuellen Messungen abgeglichen werden.

[0012] Die Existenzwahrscheinlichkeit kann beispielsweise anzeigen, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Messhistorie und ein Bewegungsmuster eines erkannten Objekts von einem realen Objekt erzeugt wurden.

[0013] Die Erfassungswahrscheinlichkeit kann beispielsweise von einer Position eines Objekts relativ zu einem Einbaort der jeweiligen Sensoreinheit am Fahrzeug oder von Umweltbedingungen, die die jeweilige Sensoreinheit in ihrer Wahrnehmung einschränken können, abhängen.

[0014] Indem die Existenzwahrscheinlichkeit und die Erfassungswahrscheinlichkeit jeweils für jede Sensoreinheit bzw. Sensorinstanz einzeln bestimmt werden, ist es möglich, den Einfluss einzelner Sensoreinheiten bzw. Sensorinstanzen auf ein Gesamtergebnis der Sensordatenfusion abzuschätzen.

[0015] Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft eine Auswerteeinheit, die konfiguriert ist, um das Verfahren, wie es oben und im Folgenden beschrieben wird, auszuführen. Merkmale dieses Verfahrens können auch Merkmale der Auswerteeinheit sein und umgekehrt.

[0016] Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft ein Fahrzeugsystem, das konfiguriert ist, um das Verfahren, wie es oben und im Folgenden beschrieben wird, auszuführen. Merkmale dieses Verfahrens können auch Merkmale des Fahrzeugsystems sein und umgekehrt.

[0017] Weitere Aspekte der Erfindung betreffen ein Computerprogramm, das, wenn es durch einen Computer, wie etwa die weiter oben erwähnte Auswerteeinheit, ausgeführt wird, das Verfahren, wie es oben und im Folgenden beschrieben wird, ausführt, sowie ein computerlesbares Medium, auf dem ein derartiges Computerprogramm gespeichert ist.

[0018] Das computerlesbare Medium kann ein flüchtiger oder nicht flüchtiger Datenspeicher sein. Beispielsweise kann es sich bei dem computerlesbaren Medium um eine Festplatte, ein USB-Speichergerät, einen RAM, ROM, EPROM oder Flash-Speicher han-

deln. Das computerlesbare Medium kann auch einen Download eines Programmcodes ermöglichendes Datenkommunikationsnetzwerk wie etwa das Internet oder eine Datenwolke (Cloud) sein.

[0019] Merkmale des Verfahrens, wie es oben und im Folgenden beschrieben wird, können auch Merkmale des Computerprogramms und/oder des computerlesbaren Mediums sein und umgekehrt.

[0020] Ideen zu Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können unter anderem als auf den nachfolgend beschriebenen Gedanken und Erkenntnissen beruhend angesehen werden.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Sensorik mindestens eine erste Sensoreinheit, eine zweite Sensoreinheit und eine dritte Sensoreinheit. Dabei wird bestimmt, dass sich das Fahrzeugsystem in einem nicht robusten Zustand befindet, wenn bezüglich eines erkannten Objekts eine der ersten Sensoreinheit zugeordnete Existenzwahrscheinlichkeit außerhalb eines Erwartungsbereichs liegt, eine der zweiten Sensoreinheit zugeordnete Existenzwahrscheinlichkeit und eine der dritten Sensoreinheit zugeordnete Existenzwahrscheinlichkeit jeweils innerhalb des Erwartungsbereichs liegen und den jeweiligen Sensoreinheiten zugeordnete Erfassungswahrscheinlichkeiten jeweils als hoch erkannt werden.

[0022] Es ist möglich, dass es sich bei den mindestens drei Sensoreinheiten um unterschiedliche Sensorinstanzen, d. h. Sensortypen, handelt.

[0023] Unter einem Erwartungsbereich kann ein vordefinierter Wert oder Wertebereich verstanden werden.

[0024] Die Erfassungswahrscheinlichkeit kann beispielsweise dann als hoch erkannt werden, wenn sie über einem eine hohe Erfassungswahrscheinlichkeit repräsentierenden Erfassungsschwellenwert liegt.

[0025] Damit können falsch positive oder falsch negative Erkennungen vermieden werden. Auch können dadurch Beeinträchtigungen erkannt werden, die alle Sensoreinheiten gemeinsam betreffen, wie etwa eine nicht erkannte Verdeckung.

[0026] Gemäß einer Ausführungsform wird bestimmt, dass sich das Fahrzeugsystem in einem nicht robusten Zustand befindet, wenn bezüglich eines erkannten Objekts eine der ersten Sensoreinheit zugeordnete Erfassungswahrscheinlichkeit und eine der zweiten Sensoreinheit zugeordnete Erfassungswahrscheinlichkeit jeweils als niedrig und eine der dritten Sensoreinheit zugeordnete Erfassungswahrscheinlichkeit und eine der dritten Sensoreinheit zugeord-

nete Existenzwahrscheinlichkeit jeweils als hoch erkannt werden.

[0027] Die Erfassungswahrscheinlichkeit kann beispielsweise dann als niedrig erkannt werden, wenn sie unter einem eine niedrige Erfassungswahrscheinlichkeit repräsentierenden Erfassungsschwellenwert liegt.

[0028] Die Existenzwahrscheinlichkeit kann beispielsweise dann als hoch erkannt werden, wenn sie über einem eine hohe Existenzwahrscheinlichkeit repräsentierenden Existenzschwellenwert liegt.

[0029] Der Erfassungsschwellenwert bzw. der Existenzschwellenwert kann je nach Sensoreinheit variieren, beispielsweise abhängig von einem Einbauort der Sensoreinheit am Fahrzeug oder von einer Entfernung der Sensoreinheit zu einem zu erkennenden Objekt in der Umgebung des Fahrzeugs.

[0030] Gemäß einer Ausführungsform umfassen die Sensordaten durch die jeweilige Sensoreinheit erkannte Merkmale der Objekte in der Umgebung des Fahrzeugs. Basierend auf den Sensordaten wird eine Mehrzahl möglicher Zuordnungsmatrizen, die jeweils mögliche Zuordnungen zwischen den Merkmalen und den erkannten Objekten und/oder zwischen den erkannten Objekten und mindestens einem Vorverarbeitungsalgorithmus beschreiben, generiert. Aus der Mehrzahl der möglichen Zuordnungsmatrizen wird eine Zuordnungsmatrix zum Aktualisieren der erkannten Objekte ausgewählt. Ferner wird dann bestimmt, dass sich das Fahrzeugsystem in einem nicht robusten Zustand befindet, wenn innerhalb einer vordefinierten Zeitspanne mindestens zwei unterschiedliche Zuordnungsmatrizen und/oder zwei unterschiedliche Vorverarbeitungsalgorithmen abwechselnd ausgewählt werden.

[0031] In einer Zuordnungsmatrix kann jedem Merkmal, genauer jeder Merkmalthypothese, mindestens ein erkanntes Objekt, genauer mindestens eine Objekthypothese, und/oder jedem erkannten Objekt mindestens ein Vorverarbeitungsalgorithmus zugeordnet sein. Die einzelnen Zuordnungen können gewichtet werden, beispielsweise mithilfe von Kosten.

[0032] Die Aktualisierung eines Umgebungsmodells basierend auf einer Mehrzahl alternativer Zuordnungsmatrizen kann auch als Multihypothesenansatz bezeichnet werden.

[0033] Im Gegensatz zu einem klassischen Multihypothesentracking können die Sensordaten hier beispielsweise unter Verwendung verschiedener Vorverarbeitungsalgorithmen verarbeitet werden, d. h., die Zuordnungsmatrix kann unter Umständen verschiedene Vorverarbeitungsalgorithmen auswählen. Dadurch können verschiedene Varianten der Verar-

beitung der Sensordaten parallel durchgeführt werden.

[0034] Beispielsweise können die Vorverarbeitungsalgorithmen abhängig von einem erkannten Objekttyp und/oder abhängig von einer jeweiligen funktionalen (und von Objekttyp und/oder Umfeldbedingungen abhängigen) Leistungsfähigkeit der Vorverarbeitungsalgorithmen ausgewählt werden.

[0035] Ein häufiges Umschalten zwischen verschiedenen Zuordnungsmatrizen bzw. Vorverarbeitungsalgorithmen, etwa zwischen am besten bewerteten Vorverarbeitungsalgorithmen, kann auf eine reduzierte Robustheit der Umfelderkennung hindeuten.

[0036] Gemäß einer Ausführungsform werden die erkannten Objekte in einem die Umgebung des Fahrzeugs repräsentierenden Umgebungsmodell gespeichert. Dabei wird ferner in Abhängigkeit davon, wie häufig das Umgebungsmodell innerhalb einer vordefinierten Zeitspanne von einem aktuellen Zustand in einen als vertrauenswürdig eingestuften Zustand zurückfällt, bestimmt, ob sich das Fahrzeugsystem in einem robusten Zustand befindet oder nicht.

[0037] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Verfahren ferner: Versetzen des Fahrzeugsystems in einen Sicherheitsmodus, wenn bestimmt wurde, dass sich das Fahrzeugsystem in einem nicht robusten Zustand befindet. Der Sicherheitsmodus kann beispielsweise beinhalten, dass das Fahrzeug abgebremst wird, eine geplante Trajektorie des Fahrzeugs geändert wird oder bestimmte Manöver des Fahrzeugs, etwa ein Spurwechsel, verhindert werden.

Figurenliste

[0038] Nachfolgend werden Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, wobei weder die Zeichnungen noch die Beschreibung als die Erfindung einschränkend auszulegen sind.

Fig. 1 zeigt ein Fahrzeug mit einem Fahrzeugsystem gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Fig. 2 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel.

[0039] Die Figuren sind lediglich schematisch und nicht maßstabsgetreu. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen in den Figuren gleiche oder gleichwirkende Merkmale.

Ausführungsformen der Erfindung

[0040] **Fig. 1** zeigt ein Fahrzeug **100** mit einem Fahrzeugsystem **102**, das eine Sensorik mit einer ersten Sensoreinheit **104**, hier einem Radarsensor, einer zweiten Sensoreinheit **106**, hier einem Lidarsen-

sor, und einer dritten Sensoreinheit **108**, hier einer Kamera, zum Erfassen von Objekten in einer Umgebung des Fahrzeugs **100** sowie eine Auswerteeinheit **110** zum Auswerten von jeweiligen Sensordaten **112** der drei Sensoreinheiten **104**, **106**, **108** umfasst. Beispielfähig erfasst die Sensorik in **Fig. 1** ein vorausfahrendes Fahrzeug **113**.

[0041] Zusätzlich kann das Fahrzeugsystem **102** eine Aktorik **114** umfassen, etwa Lenk- oder Bremsaktoren oder eine Motorsteuerung des Fahrzeugs **100**. Die Auswerteeinheit **110** kann die Aktorik **114** basierend auf den Sensordaten **112** in geeigneter Weise ansteuern, etwa um das Fahrzeug **100** vollautomatisiert zu steuern.

[0042] Um das vorausfahrende Fahrzeug **113** als Objekt zu erkennen, werden die Sensordaten **112** der verschiedenen Sensoreinheiten **104**, **106**, **108** in der Auswerteeinheit **110** geeignet miteinander fusioniert. Das erkannte Objekt wird in einem Umgebungsmodell abgespeichert und basierend auf den Sensordaten **112** fortlaufend aktualisiert, was auch als Tracking bezeichnet wird. Hierbei werden in jedem Zeitschritt zukünftige Zustände des erkannten Objekts in dem Umgebungsmodell geschätzt und mit den jeweils aktuellen Sensordaten **112** abgeglichen.

[0043] Um zu bestimmen, ob das Fahrzeugsystem **102** eine ausreichende Robustheit aufweist, d. h. Objekte in der Umgebung des Fahrzeugs **100** bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen korrekt erkennen kann, bestimmt die Auswerteeinheit **110** basierend auf den Sensordaten **112** für jedes der erkannten Objekte eine Existenzwahrscheinlichkeit, die anzeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das erkannte Objekt, beispielsweise ein Modell des vorausfahrenden Fahrzeugs **113**, mit einem realen Objekt, hier dem tatsächlichen vorausfahrenden Fahrzeug **113**, übereinstimmt. Ferner bestimmt die Auswerteeinheit **110** für jedes der erkannten Objekte eine Erfassungswahrscheinlichkeit, die anzeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Objekt in der Umgebung des Fahrzeugs **100**, hier das vorausfahrende Fahrzeug **113**, von der Sensorik überhaupt erfasst werden kann.

[0044] Die Existenzwahrscheinlichkeiten und Erfassungswahrscheinlichkeiten sind jeweils sowohl objektspezifisch als auch sensorspezifisch. Anders ausgedrückt werden die Existenzwahrscheinlichkeiten und Erfassungswahrscheinlichkeiten für jede der drei Sensoreinheiten **104**, **106**, **108** einzeln bestimmt, sodass für jedes Objekt, das im Rahmen der Sensordatenfusion erkannt wird, eine jeweilige Existenzwahrscheinlichkeit und Erfassungswahrscheinlichkeit der bei der Sensordatenfusion beteiligten Sensoreinheiten bzw. Sensorinstanzen bekannt sind.

[0045] Die Existenzwahrscheinlichkeiten und Erfassungswahrscheinlichkeiten werden ausgewertet, um

die Robustheit des Fahrzeugsystems **102** zu bewerten, wie es im Folgenden näher beschrieben wird.

[0046] **Fig. 2** zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens **200**, wie es von dem Fahrzeugsystem **102** aus **Fig. 1** ausgeführt werden kann.

[0047] In einem ersten Schritt **210** werden, wie bereits erwähnt, die Existenzwahrscheinlichkeiten und Erfassungswahrscheinlichkeiten bezüglich der erkannten Objekte für jede der drei Sensoreinheiten **104**, **106**, **108** bestimmt.

[0048] In einem zweiten Schritt **220** werden die jeweiligen Existenzwahrscheinlichkeiten und Erfassungswahrscheinlichkeiten verschiedener Sensoreinheiten miteinander verglichen, um je nach Abweichung auf die Robustheit des Fahrzeugsystems **102** zu schließen.

[0049] Beispielsweise wird erkannt, dass das Fahrzeugsystem **102** nicht robust ist, wenn bezüglich des erkannten vorausfahrenden Fahrzeugs **113** eine der ersten Sensoreinheit **104** zugeordnete Existenzwahrscheinlichkeit außerhalb eines Erwartungsbereichs liegt, während eine der zweiten Sensoreinheit **106** zugeordnete Existenzwahrscheinlichkeit und eine der dritten Sensoreinheit **108** zugeordnete Existenzwahrscheinlichkeit jeweils innerhalb des Erwartungsbereichs liegen und zudem die Erfassungswahrscheinlichkeiten aller drei Sensoreinheiten **104**, **106**, **108** als hoch erkannt werden, beispielsweise weil sie über einem vordefinierten Schwellenwert liegen. Anders ausgedrückt kann die mangelnde Robustheit des Fahrzeugsystems **102** dann erkannt werden, wenn die erste Sensoreinheit **104** für eine (relativ lange) vordefinierte Dauer ein Ergebnis liefert, das von den jeweiligen Ergebnissen der zweiten Sensoreinheit **106** und der dritten Sensoreinheit **108** abweicht oder diesen sogar widerspricht.

[0050] Dabei kann die Abweichung dadurch zustande kommen, dass die Existenzwahrscheinlichkeit der ersten Sensoreinheit **104** im Vergleich zu denjenigen der Sensoreinheiten **106**, **108** deutlich größer ist, was zu einem falsch positiven Ergebnis führen könnte, oder deutlich niedriger ist, was zu einem falsch negativen Ergebnis führen könnte. Ein weiterer Grund für eine solche Abweichung kann beispielsweise eine nicht erkannte Verdeckung sein, die alle drei Sensoreinheiten **104**, **106**, **108** betrifft.

[0051] Die mangelnde Robustheit kann beispielsweise auch dann erkannt werden, wenn für eine der Sensoreinheiten **104**, **106**, **108** bezüglich aller im Sichtfeld befindlichen Objekte für eine relativ lange Dauer eine niedrige Existenzwahrscheinlichkeit bestimmt wird, diese Objekte jedoch gleichzeitig von den anderen Sensoreinheiten erkannt werden. Dies

kann auf einen Ausfall der betreffenden Sensoreinheit hindeuten.

[0052] Ferner kann die mangelnde Robustheit dann erkannt werden, wenn bezüglich eines erkannten Objekts für zwei der drei Sensoreinheiten **104**, **106**, **108** eine niedrige Erfassungswahrscheinlichkeit bestimmt wurde und dem erkannten Objekt gleichzeitig von einer dritten Sensoreinheit eine hohe Existenzwahrscheinlichkeit zugeordnet wird. Die Erkennung der mangelnden Robustheit kann insbesondere dann erfolgen, wenn dies innerhalb einer vordefinierten Zeitspanne mehrmals der Fall ist.

[0053] Zusätzlich können zur Erkennung, ob das Fahrzeugsystem **102** robust arbeitet oder nicht, Hypothesen aus einem Multihypothesentracking herangezogen werden.

[0054] Ein möglicher Indikator dafür, dass eine Systemschwäche oder -empfindlichkeit vorliegt, ist beispielsweise, wenn innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne zwei oder mehr unterschiedliche (einander widersprechende) Hypothesen oder Modelle abwechselnd ausgewählt werden, d. h. zwischen zwei oder mehr unterschiedlichen Hypothesen oder Modellen hin und her gesprungen wird.

[0055] Ein weiterer Indikator kann sein, wenn das Umgebungsmodell oder eines der im Umgebungsmodell gespeicherten Objekte innerhalb einer vordefinierten Zeitspanne zu lang oder zu häufig von einem aktuellen Zustand in einen als vertrauenswürdig eingestuften Ersatzzustand zurückfällt.

[0056] Auch kann eine Gesamtvertrauenswürdigkeit einer ausgewählten Hypothese bezüglich eines als real existierend erkannten Objekts über mehrere Zeitschritte hinweg bestimmt werden. Ist diese innerhalb einer bestimmten Zeitspanne zu oft zu niedrig, so kann ebenfalls auf einen nicht robusten Zustand des Fahrzeugsystems **102** geschlossen werden.

[0057] Als Ergebnis des Schritts **220** kann beispielsweise eine binäre Information ausgegeben werden, die entweder anzeigt, dass das Fahrzeugsystem **102** robust ist, oder anzeigt, dass das Fahrzeugsystem **102** nicht robust ist.

[0058] Alternativ oder zusätzlich können beispielsweise auch detaillierte Informationen ausgegeben werden, etwa über mögliche Ursachen der Systemschwäche oder -empfindlichkeit oder darüber, welche Sensoreinheiten oder Sensordaten betroffen sind.

[0059] Die detaillierten Informationen können beispielsweise zu Diagnosezwecken, zum Zurücksetzen betroffener Sensoreinheiten oder zum Testen neuer Gebiete für autonom fahrende Fahrzeuge, auch Ope-

rationale Design Domains genannt, verwendet werden.

[0060] Als Reaktion darauf, dass eine verminderte oder nicht vorhandene Robustheit des Fahrzeugsystems **102** erkannt wurde, kann das Fahrzeugsystem **102** in einen sicheren Betriebsmodus versetzt werden. Dadurch kann das Fahrzeugsystem **102** beispielsweise dazu veranlasst werden, das Fahrzeug **100** abzubremsen, anzuhalten oder bestimmte komplexere Manöver wie Spurwechsel oder Ähnliches zu verhindern.

[0061] Abschließend wird darauf hingewiesen, dass Begriffe wie „aufweisend“, „umfassend“ etc. keine anderen Elemente oder Schritte ausschließen und Begriffe wie „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl ausschließen. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

Patentansprüche

1. Verfahren (200) zum Überwachen eines Fahrzeugsystems (102) zum Erkennen einer Umgebung eines Fahrzeugs (100), wobei das Fahrzeugsystem (102) eine Sensorik mit mindestens zwei Sensoreinheiten (104, 106, 108) zum Erfassen der Umgebung des Fahrzeugs (100) und eine Auswerteeinheit (110) zum Erkennen von Objekten (113) in der Umgebung des Fahrzeugs (100) durch Fusionieren von Sensordaten (112) der mindestens zwei Sensoreinheiten (104, 106, 108) aufweist, wobei das Verfahren (200) umfasst:

Bestimmen (210) einer Existenzwahrscheinlichkeit und einer Erfassungswahrscheinlichkeit für jedes der erkannten Objekte basierend auf den Sensordaten (112), wobei die Existenzwahrscheinlichkeit anzeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das erkannte Objekt ein reales Objekt (113) in der Umgebung des Fahrzeugs (100) repräsentiert, und die Erfassungswahrscheinlichkeit anzeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das erkannte Objekt durch die Sensorik erfasst werden kann, wobei die Existenzwahrscheinlichkeit und die Erfassungswahrscheinlichkeit für jede der mindestens zwei Sensoreinheiten (104, 106, 108) separat bestimmt werden; und Bestimmen (220) anhand der Existenzwahrscheinlichkeiten und der Erfassungswahrscheinlichkeiten, ob sich das Fahrzeugsystem (102) in einem robusten Zustand befindet oder nicht.

2. Verfahren (200) nach Anspruch 1, wobei die Sensorik mindestens eine erste Sensoreinheit (104), eine zweite Sensoreinheit (106) und eine dritte Sensoreinheit (108) umfasst; wobei bestimmt wird, dass sich das Fahrzeugsystem (102) in einem nicht robusten Zustand befindet, wenn bezüglich eines erkannten Objekts eine der ersten Sensoreinheit (104) zugeordnete Existenzwahrscheinlichkeit außerhalb eines Erwartungsbereichs

liegt, eine der zweiten Sensoreinheit (106) zugeordnete Existenzwahrscheinlichkeit und eine der dritten Sensoreinheit (108) zugeordnete Existenzwahrscheinlichkeit jeweils innerhalb des Erwartungsbereichs liegen und den jeweiligen Sensoreinheiten (104, 106, 108) zugeordnete Erfassungswahrscheinlichkeiten jeweils als hoch erkannt werden.

3. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Sensorik mindestens eine erste Sensoreinheit (104), eine zweite Sensoreinheit (106) und eine dritte Sensoreinheit (108) umfasst; wobei bestimmt wird, dass sich das Fahrzeugsystem (102) in einem nicht robusten Zustand befindet, wenn bezüglich eines erkannten Objekts eine der ersten Sensoreinheit (104) zugeordnete Erfassungswahrscheinlichkeit und eine der zweiten Sensoreinheit (106) zugeordnete Erfassungswahrscheinlichkeit jeweils als niedrig und eine der dritten Sensoreinheit (108) zugeordnete Erfassungswahrscheinlichkeit und eine der dritten Sensoreinheit (108) zugeordnete Existenzwahrscheinlichkeit jeweils als hoch erkannt werden.

4. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Sensordaten (112) durch die jeweilige Sensoreinheit (104, 106, 108) erkannte Merkmale der Objekte (113) in der Umgebung des Fahrzeugs (100) umfassen; wobei basierend auf den Sensordaten (112) eine Mehrzahl möglicher Zuordnungsmatrizen, die jeweils mögliche Zuordnungen zwischen den Merkmalen und den erkannten Objekten und/oder zwischen den erkannten Objekten und mindestens einem Vorverarbeitungsalgorithmus beschreiben, generiert wird; wobei aus der Mehrzahl der möglichen Zuordnungsmatrizen eine Zuordnungsmatrix zum Aktualisieren der erkannten Objekte ausgewählt wird; wobei ferner dann bestimmt wird, dass sich das Fahrzeugsystem (102) in einem nicht robusten Zustand befindet, wenn innerhalb einer vordefinierten Zeitspanne mindestens zwei unterschiedliche Zuordnungsmatrizen und/oder zwei unterschiedliche Vorverarbeitungsalgorithmen abwechselnd ausgewählt werden.

5. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erkannten Objekte in einem die Umgebung des Fahrzeugs (100) repräsentierenden Umgebungsmodell gespeichert werden; wobei ferner in Abhängigkeit davon, wie häufig das Umgebungsmodell innerhalb einer vordefinierten Zeitspanne von einem aktuellen Zustand in einen als vertrauenswürdig eingestuften Zustand zurückfällt, bestimmt wird, ob sich das Fahrzeugsystem (102) in einem robusten Zustand befindet oder nicht.

6. Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend:

Versetzen des Fahrzeugsystems (102) in einen Sicherheitsmodus, wenn bestimmt wurde, dass sich das Fahrzeugsystem (102) in einem nicht robusten Zustand befindet.

7. Auswerteeinheit (110), die konfiguriert ist, um das Verfahren (200) nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.

8. Fahrzeugsystem (102), umfassend: eine Sensorik mit mindestens zwei Sensoreinheiten (104, 106, 108) zum Erfassen einer Umgebung des Fahrzeugs (100); und die Auswerteeinheit (110) nach Anspruch 7.

9. Computerprogramm, umfassend Befehle, die bei Ausführung des Computerprogramms durch einen Computer den Computer dazu veranlassen, das Verfahren (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 6 auszuführen.

10. Computerlesbares Medium, auf dem das Computerprogramm nach Anspruch 9 gespeichert ist.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

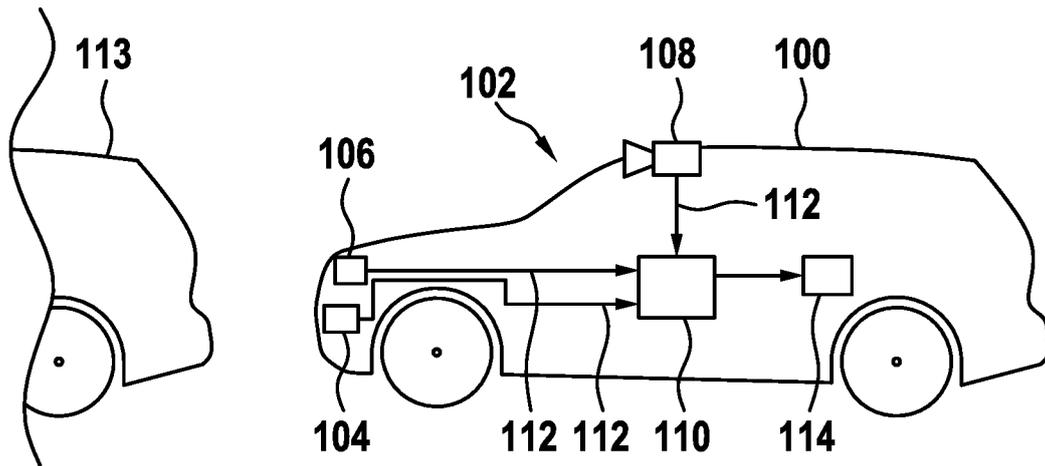


Fig. 2

