



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.10.2023 Patentblatt 2023/40

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B61L 23/04^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23162314.1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B61L 23/047; B61L 23/041

(22) Anmeldetag: **16.03.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Siemens Mobility GmbH**
81739 München (DE)

(72) Erfinder: **Fuchs, Stefan**
15745 Wildau (DE)

(74) Vertreter: **Siemens Patent Attorneys**
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)

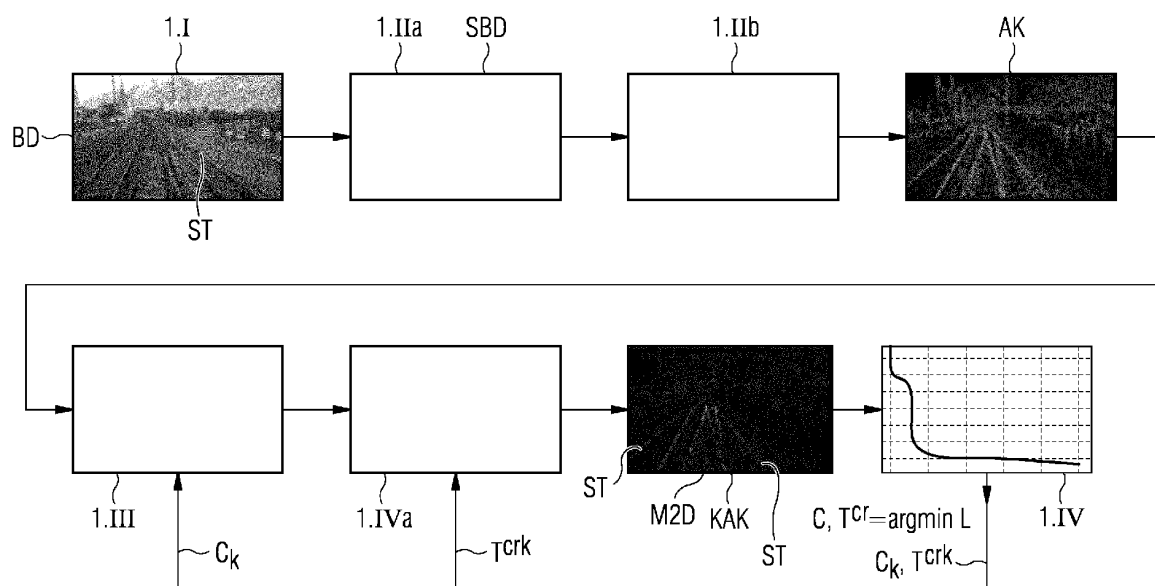
(30) Priorität: **28.03.2022 DE 102022203011**

(54) **JUSTAGE EINER DETEKTION EINES SCHIENENSTRANGS AUF BASIS EINER REGISTRIERUNG EINES SCHIENENMODELLS MIT EINEM KAMERABILD**

(57) Es wird ein Verfahren zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells (M') beschrieben. Das Verfahren umfasst das Erfassen von Bilddaten (BD) von einem Umgebungsbereich (UB) eines Schienenfahrzeugs (1), welcher einen Schienenstrang (ST) umfasst, durch eine an dem Schienenfahrzeug (1) angeordnete Bildaufnahmeeinheit (BA). Auf Basis der erfassten Bilddaten (BD) wird eine Aktivierungskarte (AK)

ermittelt. Schließlich wird das adjustierte parametrisierte 3D-Schienenmodell (M'), welches die Pose (P) des Schienenstrangs (ST) relativ zur Bildaufnahmeeinheit (BA) wiedergibt, auf Basis eines Vergleichs eines parametrisierten 3D-Schienenmodells (M) mit der ermittelten Aktivierungskarte (AK) ermittelt. Es wird auch eine Justage-Einrichtung (40) beschrieben. Weiterhin wird ein Schienenfahrzeug (1) beschrieben.

FIG 6



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells. Bei dem Verfahren werden Bilddaten von einem Umgebungsbereich eines Schienenfahrzeugs durch eine an dem Schienenfahrzeug angeordnete Bildaufnahmeeinheit aufgenommen. Der Umgebungsbereich umfasst einen Schienenstrang. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Justage-Einrichtung. Die Justage-Einrichtung umfasst eine Eingangsschnittstelle zum Empfangen von Bilddaten von einem Umgebungsbereich eines Schienenfahrzeugs, welcher einen Schienenstrang umfasst, von einer an dem Schienenfahrzeug angeordneten Bildaufnahmeeinheit. Überdies betrifft die Erfindung ein Schienenfahrzeug.

[0002] Automatisierte und fahrerlose Zugsysteme werden benötigt, um Objekte entlang einer Schienenstrecke zu erkennen und zu unterscheiden, ob es sich bei diesen Objekten um unbedeutende Infrastrukturanlagen neben dem Gleis oder um gefährliche Hindernisse innerhalb des Lichtraumprofils handelt. Darüber hinaus können lokalisierte Anlagen neben dem Gleis in einen kontinuierlichen Kartierungsansatz integriert werden, um aktualisierte Karten der Eisenbahninfrastruktur abzurufen. Der Einsatz von Kameras für solche Objekterfassungs- und -erkennungsaufgaben ist weit verbreitet. In letzter Zeit haben verschiedene auf maschinellem Lernen basierende Anwendungen mit ihrer überzeugenden Leistung an Popularität gewonnen.

[0003] Grundsätzlich gibt es drei unterschiedliche Möglichkeiten, einen Schienenstrang zu erkennen. Eine erste Möglichkeit besteht darin, den Schienenstrang in dem zur Objekterkennung verwendeten Bildsensor zu erkennen. Somit wird das System unabhängig von einer Kalibrierung (in Bezug auf einen Hilfssensor) gehalten und es wird vermieden, dass zusätzliche systembedingte Fehler auftreten. Bei bildbasierten Ansätzen wird ein Schienenverlauf durch eine Vielzahl von Kantenfiltermethoden oder Methoden des maschinellen Lernens (z. B. panoptische Segmentierung mit KI-basierten Methoden) erkannt. Postprocessing-Ansätze werden angewendet, um die Darstellung und Lokalisierung des Gleisverlaufs zu verbessern oder sogar den Abstand von Objekten auf dem Gleis in Bezug auf die Kamera zu ermitteln. Es gibt Methoden mit Fluchtpunkten oder Hough-Transformation, die auf gerade Schienenverläufe beschränkt sind. Bei anderen Methoden werden nichtlineare Funktionen verwendet, um gekrümmte Schienenformen anzunähern. Die bekannte Spurweite wird verwendet, um auf die Entfernung eines Objekts innerhalb des Lichtraumprofils zu schließen, falls die Gleiserkennung unterbrochen ist. Im Allgemeinen werden bei den zuvor beschriebenen Verfahren weder die Lage der Gleise noch die genauen Abmessungen der Gleise ermittelt. Es wird davon ausgegangen, dass linienartige Merkmale die Gleise darstellen, und die Ergebnisse werden nicht mit einem generativen Gleismodell auf Plausibilität überprüft.

[0004] Eine zweite Möglichkeit betrifft das Hinzufügen einer Hilfskamera oder eines Entfernungssensors (Lidar), um die Gleise zu extrahieren. Lidar-basierte Methoden filtern die Grundebene und die verbleibenden Lidar-Punkte werden verwendet, um Schienenmodelle anzupassen. Zum Beispiel passen sogenannte Markov-Ketten-Monte-Carlo-Methoden (abgekürzt mit dem Akronym MCMC) ein Schienenprofilmodell in die durch das Lidar erzeugte Punktwolke ein und die aufeinanderfolgenden Übereinstimmungen werden verwendet, um den gekrümmten Verlauf des Gleises mit einer Interpolation dritter Ordnung zu erhalten.

[0005] Eine dritte Möglichkeit könnte die Erweiterung mit einem Trägheitsnavigationssystem, auch als INS bezeichnet (INS ist ein Akronym für "inertial navigation system"), sein. Das INS liefert die Pose eines Sensorsystems innerhalb einer genauen Karte. Somit kann direkt auf den Gleisverlauf vor dem Zug geschlossen werden. Die Verwendung zusätzlicher Sensoren ist allerdings fehleranfälliger und erfordert eine anspruchsvolle a-priori-Kalibrierung des Sensorsystems. Eine genaue Karte ist eine entscheidende Voraussetzung für INS-basierte Verfahren. Die Kartenerstellung ist teuer und mühsam und die Karte kann schnell veraltet sein.

[0006] Es besteht also die Aufgabe, eine zuverlässige Detektion eines Schienenverlaufs mit möglichst geringem Aufwand, was die Anordnung zur Erfassung der Umgebung als auch den Rechenaufwand betrifft, anzugeben.

[0007] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells gemäß Patentanspruch 1, eine Justage-Einrichtung gemäß Patentanspruch 12 und ein Schienenfahrzeug gemäß Patentanspruch 13 gelöst.

[0008] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells wird auf Basis der eingangs erwähnten, von einer Bildaufnahmeeinheit eines Schienenfahrzeugs von einem Schienenstrang in der Umgebung des Schienenfahrzeugs erfassten Bilddaten eine Aktivierungskarte erfasst. Als Bilddaten sollen in diesem Zusammenhang zweidimensionale Bilddaten von der Umgebung des Schienenfahrzeugs verstanden werden, die die dreidimensionale Umgebung abbilden.

[0009] Unter einem parametrisierten 3D-Schienenmodell ist ein Schienenmodell zu verstehen, welches die Pose eines oder mehrerer Schienenstränge relativ zur Bildaufnahmeeinheit des Schienenfahrzeugs angibt. Als Pose ist die Orientierung sowie die Relativposition des Schienenstrangs und insbesondere eines Abschnitts eines solchen Schienenstrangs relativ zur Bildaufnahmeeinheit des Schienenfahrzeugs zu verstehen. Das parametrisierte 3D-Schienenmodell umfasst einen Parametersatz, welcher eine Anpassung einer Grundform eines 3D-Schienenmodells an einen realen Verlauf eines Schienenstrangs ermöglicht.

[0010] Die Umgebung des Schienenfahrzeugs umfasst insbesondere die Bereiche, welche in Fahrtrichtung

im Lichtraumprofil des Schienenfahrzeugs und darum herum liegen und daher für die Fahrt des Schienenfahrzeugs von besonderem Interesse sind.

[0011] Eine Aktivierungskarte umfasst eine Merkmalskarte, bei der Merkmale, welche aus Bilddaten extrahiert werden, dargestellt werden. Tatsächlich kommt der Begriff Aktivierungskarte aus der KI (KI ist ein Akronym für künstliche Intelligenz). Dort wird die Ausgabe eines Netzwerks oft in Anlehnung an die Neuronen, die bestimmte Ausgänge aktivieren, als Aktivierung bezeichnet. Daher kann man die Ausgabe eines Netzwerks als Aktivierungskarte bezeichnen.

[0012] Im Zusammenhang mit der Erfindung umfassen die oben genannten Merkmale vorzugsweise Kantendaten oder Umrissdaten von in den Bilddaten vorhandenen Objekten. Zur Generierung der Aktivierungskarte können auch KI-basierte Segmentierungsverfahren, auch als panoptische Segmentierungsverfahren bezeichnet, eingesetzt werden. Dabei kodiert vorzugsweise ein Pixel mit einer vorbestimmten scheinbaren Helligkeit, auch Intensität bezeichnet, eine Wahrscheinlichkeit, dass an dieser Stelle ein Schienenstrang verläuft. Ein solcher Pixel wird im Folgenden auch als Aktivierungspunkt bezeichnet.

[0013] Weiterhin wird das adjustierte parametrisierte 3D-Schienenmodell, dass die Pose des Schienenstrangs relativ zur Bildaufnahmeeinheit wiedergibt, durch einen Vergleich eines parametrisierten 3D-Schienenmodells mit der ermittelten Aktivierungskarte ermittelt. Das parametrisierte 3D-Schienenmodell wird auf Basis des Vergleichs bildlich gesprochen an die Aktivierungskarte angepasst. Hierzu erfolgt zunächst eine Fusion des parametrisierten 3D-Schienenmodells einer zweidimensionalen Repräsentation des parametrisierten 3D-Schienenmodells mit der Aktivierungskarte. Bei der Anpassung werden sowohl ein Modell für das Abbildungsverhalten der Bildaufnahmeeinheit und deren Pose relativ zum Bildbereich als auch das parametrisierte 3D-Schienenmodell so angepasst, dass sie in Einklang mit der Aktivierungskarte zu bringen sind. D.h., die in der Aktivierungskarte dargestellten Strukturen bilden eine Art Vorgabe, an die die zweidimensionale Repräsentation des parametrisierten 3D-Schienenmodells angepasst wird.

[0014] Vorteilhaft wird nur eine einzige Bildaufnahmeeinheit benötigt, um die Pose eines Schienenstrangs zu ermitteln. Durch die Nutzung eines generalisierten 3D-Schienengeometriemodells als parametrisiertes 3D-Schienenmodell kann der erfindungsgemäße Ansatz so verallgemeinert werden, dass auch Übergangskurven, wie zum Beispiel Klothoiden, und auch Weichen oder mehrere parallele Schienenstränge detektiert bzw. einbezogen werden können.

[0015] Die Ermittlung der adjustierten Parameter des Schienenmodells und der Schienenpose ermöglichen es, das Detektionsergebnis des Schienenstrangs semantisch zu prüfen. Weichen die Parameter oder die Schienenpose deutlich von erwarteten Ergebnissen ab, so handelt es sich wahrscheinlich nicht um Schienen.

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren bewältigt

auch spärliche Segmentierungsergebnisse oder eine nicht eindeutige Kantendetektion. Es ist robust gegen fehlende Kantenmerkmale und verrauschte Aktivierungskarten.

[0017] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Schienenmodell adjustiert, mit dem die Pose eines Schienenstrangs relativ zu einer Kamera exakt ermittelt werden kann. Da eine Kamera meist an einem Wagenkasten eines Schienenfahrzeugs montiert ist und das Drehgestell des Schienenfahrzeugs und sein Wagenkasten nicht fest miteinander verbunden sind, gibt es keine konstante extrinsische Kalibration der Kamera mit den Schienen. Daher muss die extrinsische Kameraorientierung bezüglich der Schienen aktualisiert werden. Mithin kann das Ergebnis der erfindungsgemäßen Justierung zusätzlich für andere Anwendungen genutzt werden.

[0018] Solche Anwendungen betreffen die Ermittlung der Orientierung des Wagenkastens zum Gleiskörper mittels hochgenauer Karte und GNSS (ein Akronym für global navigation satellite system = globales Satellitennavigationssystem) und INS (INS steht für "inertial navigation system"). Eine Zusatzinformation anhand der Kamera könnte hier hilfreich sein.

[0019] Die erfindungsgemäße Justage-Einrichtung weist neben der eingangs erwähnten Eingangsschnittstelle zum Empfangen von Bilddaten von einem Umgebungsbereich eines Schienenfahrzeugs auch eine Ermittlungseinheit zum Ermitteln einer Aktivierungskarte auf Basis der erfassten Bilddaten auf.

[0020] Weiterhin umfasst die erfindungsgemäße Justage-Einrichtung eine Justage-Einheit zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells, welches die Pose des Schienenstrangs relativ zur Bildaufnahmeeinheit wiedergibt, durch einen Vergleich des parametrisierten 3D-Schienenmodells mit der ermittelten Aktivierungskarte.

[0021] Die erfindungsgemäße Justage-Einrichtung teilt die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ermitteln eines adjustierten 3D-Schienenmodells.

[0022] Das erfindungsgemäße Schienenfahrzeug, weist eine Bildaufnahmeeinheit zum Akquirieren von Bilddaten von einem Umgebungsbereich des Schienenfahrzeugs, welcher einen Schienenstrang umfasst, auf.

[0023] Teil des erfindungsgemäßen Schienenfahrzeugs ist auch eine erfindungsgemäße Justage-Einrichtung zur Ermittlung eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells.

[0024] Das erfindungsgemäße Schienenfahrzeug weist auch eine Steuereinheit zur Steuerung einer Fahrt des Schienenfahrzeugs auf Basis des adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells auf. Die Steuereinheit umfasst bevorzugt die erfindungsgemäße Justage-Einrichtung. Die Justage-Einrichtung kann aber auch separat zu der Steuereinheit ausgebildet sein und mit dieser zusammenwirken. Das erfindungsgemäße Schienenfahrzeug teilt die Vorteile der erfindungsgemäßen Justage-Einrichtung.

[0025] Ein Großteil der zuvor genannten Komponenten

ten der Justage-Einrichtung können ganz oder teilweise in Form von Softwaremodulen in einem Prozessor eines entsprechenden Rechensystems realisiert werden, z.B. von einer Steuereinheit eines Schienenfahrzeugs. Eine weitgehend softwaremäßige Realisierung hat den Vorteil, dass auch schon bisher verwendete Rechensysteme auf einfache Weise durch ein Software-Update nachgerüstet werden können, um auf die erfindungsgemäße Weise zu arbeiten. Insofern wird die Aufgabe auch durch ein entsprechendes Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm gelöst, welches direkt in ein Rechensystem ladbar ist, mit Programmabschnitten, um die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens, zumindest die durch einen Computer ausführbaren Schritte, insbesondere die Schritte zum Ermitteln einer Aktivierungskarte auf Basis der erfassten Bilddaten und zum Ermitteln des adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells, auszuführen, wenn das Programm in dem Rechensystem ausgeführt wird. Ein solches Computerprogrammprodukt kann neben dem Computerprogramm gegebenenfalls zusätzliche Bestandteile, wie z. B. eine Dokumentation, und/oder zusätzliche Komponenten, auch Hardware-Komponenten, wie z.B. Hardware-Schlüssel (Dongles etc.) zur Nutzung der Software, umfassen.

[0026] Zum Transport zum Rechensystem bzw. zur Steuereinheit und/oder zur Speicherung an oder in dem Rechensystem bzw. der Steuereinheit kann ein computerlesbares Medium, z.B. ein Memorystick, eine Festplatte oder ein sonstiger transportabler oder fest eingebauter Datenträger dienen, auf welchem die von einem Rechensystem einlesbaren und ausführbaren Programmabschnitte des Computerprogramms gespeichert sind. Das Rechensystem kann z.B. hierzu einen oder mehrere zusammenarbeitende Mikroprozessoren oder dergleichen aufweisen.

[0027] Die abhängigen Ansprüche sowie die nachfolgende Beschreibung enthalten jeweils besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung. Dabei können insbesondere die Ansprüche einer Anspruchskategorie auch analog zu den abhängigen Ansprüchen einer anderen Anspruchskategorie und deren Beschreibungsteilen weitergebildet sein. Zudem können im Rahmen der Erfindung die verschiedenen Merkmale unterschiedlicher Ausführungsbeispiele und Ansprüche auch zu neuen Ausführungsbeispielen kombiniert werden.

[0028] In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells umfasst das Ermitteln des adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells:

- i) das Projizieren eines durch Kandidaten-Parameterwerte parametrisierten 3D-Schienenmodells auf die Aktivierungskarte auf Basis einer Kandidaten-Projektionsvorschrift, und
- ii) das Ermitteln von angepassten Parameterwerten des parametrisierten 3D-Schienenmodells und/oder

einer angepassten Projektionsvorschrift auf Basis des Vergleichs des projizierten parametrisierten Schienenmodells mit der Aktivierungskarte.

[0029] Durch die Projektion wird die Fusion der zweidimensionalen Repräsentation des mit Kandidaten-Parameterwerten parametrisierten 3D-Schienenmodells mit der Aktivierungskarte erzielt. Die Kandidaten-Parameterwerte stellen vorbestimmte initiale Parameterwerte dar, mit denen das 3D-Schienenmodell parametrisiert wird. Vorzugsweise umfassen die Kandidaten-Parameterwerte die aktuellen Parameterwerte des 3D-Schienenmodells bzw. die Parameterwerte des 3D-Schienenmodells, die bei der letzten Justage ermittelt wurden und seitdem für die Detektion der Pose eines detektierten Schienenstrangs verwendet werden. Die angepassten Parameterwerte und die angepasste Projektionsvorschrift können als adjustierte Parameterwerte und als adjustierte Projektionsvorschrift verwendet werden.

[0030] Bevorzugt umfasst das Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells das Durchführen eines iterativen Näherungsverfahrens, wobei die Schritte i) und ii) wiederholt werden und bei einer Wiederholung die bei Schritt ii) ermittelten angepassten Parameterwerte bei Schritt i) als Kandidaten-Parameterwerte verwendet werden und/oder die bei dem Schritt ii) ermittelte angepasste Projektionsvorschrift bei Schritt i) als Kandidaten-Projektionsvorschrift verwendet wird. Vorteilhaft kann eine schrittweise Anpassung des parametrisierten 3D-Schienenmodells und seiner Projektion auf die Bilddaten erfolgen, wobei die Präzision der angepassten Parameterwerte und der angepassten Projektionsvorschrift bei jedem Iterationsdurchgang erhöht wird.

[0031] Bevorzugt umfasst der Vergleich das Ermitteln mindestens einer der folgenden Größen:

- eine Abweichung des projizierten Schienenmodells von der Aktivierungskarte,
- eine Korrelation zwischen dem projizierten parametrisierten Schienenmodell mit der Aktivierungskarte.

[0032] Als Abweichung des projizierten parametrisierten Schienenmodells von der Aktivierungskarte soll eine Differenz zwischen Aktivierungswerten von Aktivierungspunkten des auf die Aktivierungskarte projizierten parametrisierten Schienenmodells und Aktivierungswerten von Aktivierungspunkten der Aktivierungskarte, welche bildbasiert, d.h. auf Basis der erfassten Bilddaten erzeugt wurden, verstanden werden. Als Differenz zwischen den einzelnen Aktivierungspunkten soll insbesondere eine Differenz zwischen den Aktivierungswerten, vorzugsweise den Intensitätswerten, d.h. der scheinbaren Helligkeit, der einzelnen Punkten des projizierten parametrisierten Schienenmodells und der jeweils an derselben Position vorhandenen Punkte bzw. Aktivierungspunkte, der bildbasiert erzeugten Aktivierungskarte verstanden werden. Anschaulich gesprochen wird also er-

mittelt, ob das Schienenmodell zu den bildbasiert als Schienen identifizierten Strukturen passt bzw. diese auf der Aktivierungskarte überdeckt.

[0033] Die Aktivierungswerte der einzelnen Punkte des Schienenmodells werden vorzugsweise so festgelegt, dass sie immer 100 % (oder 1) betragen, während die Aktivierungswerte der bildbasiert ermittelten Aktivierungspunkte der Aktivierungskarte, also der durch Segmentierung oder einen Kantenfilter ermittelten Aktivierungspunkte weniger als der Wert 1 bzw. maximal den Wert 1 betragen. Die einzelnen Punkte des Schienenmodells können als eindeutig angesehen werden und daher mit dem Wert 1 belegt werden, während für die bildbasiert, beispielsweise durch ein KI-basiertes Segmentierungsmodell ermittelten "Schienenpunkte" der Aktivierungskarte nur eine gewisse Wahrscheinlichkeit ≤ 1 besteht, dass sie auch Teil der Schienen sind. Die Differenz wird minimiert über die Anpassung der Schienenparameter. D.h. es wird ein Parametersatz für das 3D-Schienenmodell gesucht, bei dem die Summe der Differenzen zwischen den Aktivierungswerten der bildbasiert erzeugten Aktivierungspunkte und den Aktivierungswerten, der jeweils an derselben Position vorhandenen modellbasiert erzeugten Aktivierungspunkte minimal ist. Vorteilhaft kann die ermittelte Abweichung dazu genutzt werden, das 3D-Schienenmodell an den tatsächlichen Verlauf der Schienen anzupassen. Die dabei schrittweise angepassten Parameter bzw. Modellparameter können in den nächsten Iterationsschritt des Justage-Verfahrens eingehen, um die Abweichung zu reduzieren und damit das Ergebnis der Justage schrittweise zu verbessern.

[0034] Alternativ kann anstatt der oben beschriebenen Minimierung der Differenz zwischen den bildbasiert erzeugten Aktivierungspunkten und den modellbasiert erzeugten Aktivierungspunkten auch eine Maximierung der Summe der Aktivierungswerte der bildbasiert erzeugten Aktivierungspunkte und der Aktivierungswerte der modellbasiert erzeugten Aktivierungspunkte erfolgen.

[0035] Insbesondere soll eine solche Abweichung einen sogenannten "matching loss" umfassen. Eine Verlustfunktion (im Englischen "loss function") ist eine spezielle Funktion in der mathematischen Statistik und Teil eines statistischen Entscheidungsproblems. Sie ordnet jeder Entscheidung in Form einer Punktschätzung, einer Bereichsschätzung oder eines Tests den Schaden zu, der durch eine vom wahren Parameter abweichende Entscheidung entsteht.

[0036] Die Korrelation repräsentiert einen Zusammenhang zwischen dem Verlauf des projizierten parametrisierten Schienenmodells und Strukturen in der Aktivierungskarte.

[0037] Bevorzugt weist der Vergleich eine Ermittlung eines Minimums der Abweichung zwischen dem projizierten parametrisierten Schienenmodell und der Aktivierungskarte auf, wenn sie bildlich gesprochen übereinandergelegt werden. D.h., die Parameterwerte des pa-

rametrisierten Schienenmodells und/oder der Projektionsvorschrift werden derart ermittelt, dass bei deren Anwendung die Abweichung des parametrisierten Schienenmodells von Strukturen der bildbasiert erzeugten Aktivierungskarte minimal ist. Vorteilhaft wird ein optimales Justage-Ergebnis durch die Ermittlung des Minimums erreicht.

[0038] Bevorzugt umfasst die ermittelte Abweichung eine Abweichung zwischen scheinbaren Helligkeitswerten des projizierten parametrisierten Schienenmodells und der bildbasiert erzeugten Aktivierungspunkte der Aktivierungskarte an jeweils derselben Position in der Aktivierungskarte. Die scheinbaren Helligkeitswerte geben eine Wahrscheinlichkeit dafür an, dass an einer Position in der Aktivierungskarte ein Schienenstrang verläuft. Vorteilhaft erfolgt die Adaption des projizierten parametrisierten Schienenmodells derart, dass es dort in der Aktivierungskarte positioniert wird, wo die Wahrscheinlichkeit einer Lokalisation eines Schienenstrangs am höchsten ist.

[0039] Bevorzugt weist die Abweichung die Summe der Quadrate der Differenzen zwischen Aktivierungswerten von Aktivierungspunkten des projizierten parametrisierten Schienenmodells und Werten von Aktivierungspunkten der Aktivierungskarte an jeweils derselben Stelle auf. Die Intensitätswerte des projizierten Schienenmodells beziehen sich auf Intensitätswerte von Abtastpunkten bei einer "virtuellen" Abtastung der Umgebung eines Schienenfahrzeugs durch einen abtastenden Sensor, wie zum Beispiel ein LIDARsystem. Die Werte der Aktivierungspunkte beziehen sich vorzugsweise ebenfalls auf Intensitätswerte oder Dichtewerte der bildbasierten Aktivierungspunkte. Die Intensitätswerte oder Dichtewerte geben eine aus der Objektdetektion abgeleitete Wahrscheinlichkeit dafür an, dass an einer Position ein vordefiniertes Objekt, in diesem Fall ein Schienenstrang verläuft. Vorteilhaft erfolgt bei der Ermittlung der Abweichung das Aufaddieren der Fehler bzw. Abweichungen zwischen dem projizierten parametrisierten Schienenmodell und Aktivierungen der Aktivierungskarte, so dass die Abweichung den gesamten Verlauf des Schienenmodells in der Aktivierungskarte berücksichtigt.

[0040] Besonders bevorzugt wird auf Basis des projizierten parametrisierten Schienenmodells und der bildbasiert erzeugten Aktivierungskarte durch Projektion des Schienenmodells auf die bildbasiert erzeugte Aktivierungskarte eine kombinierte Aktivierungskarte erzeugt. Dann erfolgt der Vergleich zwischen Aktivierungswerten von modellbasiert erzeugten Aktivierungspunkten und von Aktivierungswerten von jeweils an derselben Stelle bildbasiert erzeugten Aktivierungspunkten auf der kombinierten Aktivierungskarte.

[0041] Bevorzugt erfolgt das Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells mit einer Methode der lokalen nichtlinearen Optimierung zur Berechnung der Parameter des adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells und der Parameter einer exakten Projektion des adjustierten parametrisierten 3D-Schie-

nenmodells auf die erfassten Bilddaten. Mit Hilfe solcher in der Regel iterativer Näherungsverfahren wird in jedem Schritt ein exakteres parametrisiertes 3D-Schienenmodell und eine exaktere Projektion ermittelt, welche dann eine Basis für das parametrisierte 3D-Schienenmodell und die Projektion im nächsten Schritt bildet. Beispiele für Optimierungsverfahren dieser Kategorie sind der Downhill-Simplex-Algorithmus, das Gauss-Newton-Verfahren oder der Levenberg-Marquardt-Algorithmus.

[0042] Die Projektionsparameter umfassen als Parameter unter anderem die Rotation, die Translation oder die Brennweite und das optische Zentrum, und weisen daher eine unterschiedliche Skalierung auf. Für eine effiziente und robuste Optimierung ist es notwendig, die Größenordnungen dieser Parameter anzugleichen.

[0043] Bevorzugt weist das parametrisierte 3D-Schienenmodell mindestens eines der folgenden Merkmale auf:

- 3D-Punkte, welche entlang eines Schienenkopfes des Schienenstrangs mit einer vorbestimmten Abtastdichte angeordnet sind,
- eine vorbestimmte parametrisierbare Grundform.

[0044] Anders ausgedrückt, werden durch das parametrisierte 3D-Schienenmodell 3D-Punkte entlang des Schienenkopfes generiert. Diese 3D-Punkte können dann für eine Justage auf die Aktivierungskarte projiziert werden und nach der Projektion auf die Aktivierungskarte den darin angeordneten Aktivierungspunkten abgeglichen werden.

[0045] Umfasst das 3D-Schienenmodell eine vorbestimmte parametrisierbare Grundform, so wird die Anpassung des 3D-Schienenmodells an einen realen Schienenverlauf durch eine geeignete Wahl der Parameterwerte ermöglicht.

[0046] Bevorzugt umfasst die Grundform die Form einer der folgenden Objekte:

- eine Klothoide,
- eine Verzweigung,
- parallele Geraden.

[0047] Eine Klothoide, auch als Euler-Spirale bezeichnet, kann eine Schienenübergangskurve modellieren. Eine Abtastdichte ist zum Beispiel von der Entfernung und der Pose eines Schienenstrangs relativ zur Bildaufnahmeeinheit abhängig. Prinzipiell kann man die Abtastdichte so wählen, dass diese mit dem Abstand größer wird, so dass der perspektivischen Abbildung Rechnung getragen wird.

[0048] Eine Grundform einer Verzweigung kann für die Modellierung unterschiedlicher Arten der Abzweigung, wie zum Beispiel eine Kreuzung oder eine Weiche genutzt werden.

[0049] Parallele Geraden können für die Modellierung gerade verlaufender Schienen genutzt werden.

[0050] Bevorzugt wird die Aktivierungskarte durch eine

Segmentierung der Bilddaten ermittelt. Anders ausgedrückt werden auf Basis der erfassten Bilddaten segmentierte Bilddaten ermittelt und die Aktivierungskarte wird auf Basis der segmentierten Bilddaten ermittelt. Eine Segmentierung umfasst eine Einteilung der Bilddaten in Teilbereiche, welche einer Klassifizierung zugeordnet sind. Eine Segmentierung kann eine panoptische Segmentierung umfassen. Eine Klassifizierung einer panoptischen Segmentierung kann zum Beispiel Pixel der Bilddaten, welche zu Personen oder Objekten im Vordergrund der Umgebung eines Fahrzeugs gehören, von Pixeln, die den Hintergrund markieren, unterscheiden. Segmentierung erfolgt vorzugsweise durch ein KI-basiertes Segmentierungsverfahren, wobei jedem Punkt der Bilddaten ein Wahrscheinlichkeitswert zugeordnet wird, dass dieser Punkt Teil eines Schienenstrangs ist. Dieser Wahrscheinlichkeitswert kann bei dem oben genannten Vergleich als Aktivierungswert genutzt werden.

[0051] Die Segmentierung weist vorzugsweise eine Kantendetektion in den Bilddaten auf. Eine Kantendetektion kann zum Beispiel durch ein Sobelfilter realisiert werden.

[0052] Die Aktivierungskarte wird bevorzugt durch eine Glättung der segmentierten Bilddaten ermittelt. Unter einer Glättung, auch als Verwischen oder unscharf machen, im Englischen "blurring", bezeichnet, ist eine, vorzugsweise auf einer Anwendung einer statistischen Funktion basierende Verbreiterung der Verteilung der Aktivierungspunkte über die Aktivierungskarte zu verstehen. Die Glättung erfolgt vorzugsweise durch Anwendung eines Gauss-Kernels auf die segmentierten Bilddaten. Vorteilhaft kann eine solche mehr stetige Verteilung der Aktivierungspunkte effektiver für ein Näherungsverfahren genutzt werden, da die Näherung schrittweise von der Peripherie einer solchen Verteilung zum Zentrum hin erfolgen kann. Anders ausgedrückt gibt die stetige Verteilung dem Näherungsverfahren eine Orientierung, in welche Richtung das Schienenmodell an die bildbasierten Aktivierungspunkte angepasst werden kann. Bei einer nur diskreten bzw. linienartigen, auf einen Bruchteil des Gesamtgebiets beschränkten Verteilung der bildbasierten Aktivierungspunkte kann es zu Problemen bei der Berechnung von Näherungswerten kommen.

[0053] Bevorzugt umfasst die Bildaufnahmeeinheit eine der folgenden Sensorarten:

- eine Bildkamera,
- eine optische Bildkamera,
- eine Infrarotkamera.

[0054] Bevorzugt umfasst die Bildaufnahmeeinheit eine durch Inertialsensoren stabilisierte Bildaufnahmeeinheit, vorzugsweise eine MEMS-basierte Bildaufnahmeeinheit. MEMS-basierte Bildaufnahmeeinheiten umfassen Inertialsensoren, d.h. Beschleunigungs- und Drehsensoren sowie mikromechanische Systeme bzw. Bauelemente zur Stabilisierung einer Bildaufnahmeeinheit. Sie werden zur Lageerkennung eingesetzt. Werden für

die Steuerung der Pose der Bildaufnahmeeinheit mikroelektronische Bauelemente eingesetzt, so ergibt sich aufgrund einer ständigen Ausgleichsbewegung der Stabilisatoren eine ständige Veränderung der Pose der Bildaufnahmeeinheit zum Schienenfahrzeug und auch zum Schienenstrang. Vorteilhaft kann die erfindungsgemäße Justage die dynamischen Veränderungen der Pose der Bildaufnahmeeinheit ausgleichen.

[0055] Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Es zeigen:

FIG 1 ein Flussdiagramm, welches ein Verfahren zum Ermitteln eines adjustierten 3D-Schienenmodells gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht,

FIG 2 ein Flussdiagramm, welches den in FIG 1 veranschaulichten Schritt 1.II zum Ermitteln einer Aktivierungskarte im Detail veranschaulicht,

FIG 3 ein Flussdiagramm, welches den in FIG 1 gezeigten Schritt 1.IV zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells im Detail veranschaulicht,

FIG 4 eine schematische Darstellung einer Justage-Einrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

FIG 5 eine schematische Darstellung der Justage-Einheit der in FIG 4 veranschaulichten Justage-Einrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

FIG 6 eine symbolhafte Darstellung des in FIG 1 bis FIG 3 veranschaulichten Verfahrens,

FIG 7 eine schematische Darstellung eines Schienenfahrzeugs gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

FIG 8 eine schematische Darstellung einer durch Glättung erzeugten bildbasierten Aktivierungskarte.

[0056] In FIG 1 ist ein Flussdiagramm 100 gezeigt, welches ein Verfahren zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells M' gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht.

[0057] Bei dem Schritt 1.I werden mit einer Bildaufnahmeeinheit BA Bilddaten BD von einem Umgebungsbe-
reich UB eines Schienenfahrzeugs 1 (siehe FIG 7) er-
fasst. Die Bilddaten BD umfassen einen Schienenstrang
ST oder auch mehrere Schienenstränge ST (siehe FIG
6), der bzw. die sich im Sichtbereich einer Bildaufnah-
meeinheit BA des Schienenfahrzeugs 1 befindet bzw.
befinden.

[0058] Bei dem Schritt 1.II wird eine Aktivierungskarte

AK auf Basis der erfassten Bilddaten BD ermittelt. Details zur Ermittlung der Aktivierungskarte werden in FIG 2 veranschaulicht.

[0059] Bei dem Schritt 1.III wird ein parametrisiertes 3D-Schienenmodell M mit einem zu adjustierenden Parametersatz C_0 und einer zu adjustierenden Projektionsvorschrift T^{cr0} ermittelt. Die genannten zu adjustierenden Daten können zum Beispiel von einer Steuereinheit 3 des Schienenfahrzeugs 1 (siehe FIG 7) stammen, die mit diesen Daten die Bilddaten BD von der Bildaufnahmeeinheit BA verarbeitet, um eine Pose P der vor dem Schienenfahrzeug 1 liegenden Schienen zu ermitteln.

[0060] Bei dem Schritt 1.IV erfolgt ein Optimierungsschritt, bei dem eine Abweichung L des auf Basis der Projektionsvorschrift T^{cr0} in die Aktivierungskarte AK projizierten, parametrisierten Schienenmodells $M2D$ von der Aktivierungskarte AK ermittelt wird und mit Hilfe eines Iterationsverfahrens minimiert wird. Als Ergebnis werden ein adjustierter Parametersatz C und eine adjustierte Projektionsvorschrift T^{cr} ermittelt.

[0061] Bei dem Schritt 1.V werden der adjustierte Parametersatz C für ein adjustiertes parametrisiertes 3D-Schienenmodell M' und die adjustierte Projektionsvorschrift T^{cr} für die anschließende Ermittlung der Pose P des vor dem Schienenfahrzeug 1 verlaufenden Schienenstrangs ST eingesetzt.

[0062] In FIG 2 ist ein Flussdiagramm, welches den in FIG 1 veranschaulichten Schritt 1.II zum Ermitteln einer Aktivierungskarte AK im Detail veranschaulicht.

[0063] Bei dem Schritt 1.IIa werden die erfassten Bilddaten BD dazu genutzt, segmentierte Bilddaten SBD zu erzeugen. Die segmentierten Bilddaten SBD werden mit einem Kantenfilter erzeugt, der auf Basis von Unterschieden der Helligkeit Kanten erkennt und damit Objekturn-
risse sichtbar macht. Weiterhin kann die Segmentierung
auf Basis eines KI-basierten Klassifikationsmodells er-
folgen.

[0064] Bei dem Schritt 1.IIb wird eine Aktivierungskarte AK erzeugt, wobei die segmentierten Bilddaten SBD durch Anwendung eines Gauss-Kernels GK gewissermaßen geglättet bzw. unscharf gemacht, so dass sie eine gewisse Stetigkeit mit kontinuierlichen Übergängen der Helligkeit aufweisen und so besser für eine Anwendung eines Optimierungsverfahrens geeignet sind.

[0065] In FIG 3 ist ein Flussdiagramm gezeigt, welches den in FIG 1 gezeigten Schritt 1.IV zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells M' im Detail veranschaulicht. Hierzu wird zur Optimierung ein iteratives Näherungsverfahren angewandt. Eine Variante zur Ermittlung der oben genannten Abweichung L , und damit einer Fehlerfunktion, umfasst die Methode der Ermittlung der kleinsten Quadrate.

[0066] Allgemein gesprochen, ist der Schritt des Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells M' mit einer Methode der lokalen nichtlinearen Optimierung zur Berechnung der Parameter C des adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells M' und der Parameter einer exakten Projektion T^{CR} des ad-

justierten parametrisierten 3D-Schienenmodells M' auf die erfassten Bilddaten BD verbunden. Mit Hilfe solcher in der Regel iterativer Näherungsverfahren wird in jedem Schritt ein exakteres parametrisiertes 3D-Schienenmodell und eine exaktere Projektion ermittelt, welche dann eine Basis für das parametrisierte 3D-Schienenmodell und die Projektion im nächsten Schritt bilden. Beispiele für Optimierungsverfahren dieser Kategorie sind der Downhill-Simplex-Algorithmus, das Gauss-Newton-Verfahren oder der Levenberg-Marquardt-Algorithmus.

[0067] Einige dieser Verfahren verlangen nach der 1. oder auch 2. Ableitung der Loss-Funktion hinsichtlich der gesuchten Parameter. In diesem Fall kann die ermittelte Jakobi-Matrix als Qualitätskriterium für die ermittelten Parameter genutzt werden. Die Projektionsparameter umfassen als Parameter unter anderem die Rotation, die Translation oder die Brennweite und das optische Zentrum, und weisen daher eine unterschiedliche Skalierung auf. Für eine effiziente und robuste Optimierung ist es notwendig, die Größenordnungen dieser Parameter anzugleichen.

[0068] Bei dem Schritt 1.IVa erfolgt ein Projizieren des bei dem Schritt 1.III ermittelten parametrisierten 3D-Schienenstrangmodells M mit dem zu adjustierenden Parametersatz C_0 und der zu adjustierenden Projektionsvorschrift T^{cr0} auf die erfassten Bilddaten BD. Dabei wird eine auch als projiziertes parametrisiertes Schienenmodell bezeichnete zweidimensionale Repräsentation $M2D$ des parametrisierten 3D-Schienenmodells M , die in die erfassten zweidimensionalen Bilddaten BD eingefügt wird, erzeugt.

[0069] Bei dem Schritt 1.IVb wird eine Abweichung L zwischen scheinbaren Helligkeitswerten des projizierten parametrisierten Schienenmodells $M2D$ und Aktivierungspunkten der Aktivierungskarte AK ermittelt. Diese Abweichung wird auf Basis der Summe der Quadrate der Differenzen zwischen Intensitätswerten des projizierten parametrisierten Schienenmodells $M2D$ und Aktivierungspunkten der Aktivierungskarte AK ermittelt.

[0070] Bei dem Schritt 1.IVc werden auf Basis der ermittelten Abweichung mit den im Zusammenhang mit Schritt 1.IV genannten Näherungsverfahren angepasste Parameterwerte C^k des parametrisierten Schienenmodells M und eine angepasste Projektionsmatrix T^{crk} ermittelt. Beispielsweise kann im Rahmen des Gauss-Newton-Verfahrens eine Jakobi-Matrix J auf Basis der ermittelten Abweichung L ermittelt werden. Auf Basis der Jakobi-Matrix J können dann angepasste Parameterwerte C^k und eine angepasste Projektionsmatrix T^{crk} ermittelt werden. Alternativ können auch direkt Ableitungen der Abweichung L hinsichtlich der genannten Parameter C^k des parametrisierten Schienenmodells und der die Projektion charakterisierenden Parameter, insbesondere Parameter der Projektionsmatrix T^{crk} , gebildet werden und diese Werte zur Ermittlung von angenäherten Parameterwerten des parametrisierten 3D-Schienenmodells M und der angepassten Projektion genutzt werden.

[0071] Bei dem Schritt 1.IVd wird geprüft, ob die Qua-

lität Q der ermittelten Größen C^k , T^{crk} ein Qualitätskriterium erreicht. Das Qualitätskriterium kann zum Beispiel einen vorbestimmten Schwellwert für die ermittelte Abweichung L umfassen. Wird der Schwellwert unterschritten, so wird das Qualitätskriterium Q erreicht. Außerdem kann die Jakobi-Matrix J bzw. deren Einträge für eine Qualitätsbeurteilung genutzt werden.

[0072] Wird das Qualitätskriterium Q erreicht, was in FIG 3 mit "y" symbolisiert ist, so wird zu dem Schritt 1.IVe übergegangen, und der ermittelte angepasste Parametersatz C_k und die ermittelte angepasste Projektionsmatrix T^{crk} werden als adjustierter Parametersatz C für ein adjustiertes parametrisiertes 3D-Schienenmodell M' und als adjustierte Projektionsmatrix T^{cr} ausgegeben.

[0073] Wird das Qualitätskriterium Q noch nicht erreicht, was in FIG 3 mit "n" gekennzeichnet ist, so wird zu dem Schritt 1.IVa zurückgekehrt und der angepasste Parametersatz C_k und die ermittelte angepasste Projektionsmatrix T^{crk} werden zur Projektion des Schienenmodells M auf die Aktivierungskarte AK verwendet und die Iteration wird weiterverfolgt, bis das Qualitätskriterium Q bei Schritt 1.IVd erfüllt ist.

[0074] In FIG 4 ist eine Justage-Einrichtung 40 gezeigt, welche eine Eingangsschnittstelle 41 zum Empfangen von Bilddaten BD von einem Umgebungsbereich UB eines Schienenfahrzeugs 1 (siehe FIG 7) umfasst. Die Bilddaten BD umfassen einen oder mehrere Schienenstränge ST (siehe FIG 6), die von einer an dem Schienenfahrzeug 1 angeordneten Bildaufnahmeeinheit BA (in FIG 4 nicht gezeigt) aufgenommen werden.

[0075] Die Justage-Einrichtung 40 umfasst auch eine Ermittlungseinheit 42 zum Ermitteln einer Aktivierungskarte AK auf Basis der erfassten Bilddaten BD.

[0076] Teil der Justage-Einrichtung 40 ist auch eine Justage-Einheit 43 zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells M' . Das adjustierte parametrisierte 3D-Schienenmodell M' gibt die Pose P des Schienenstrangs ST relativ zur Bildaufnahmeeinheit BA wieder. Dem adjustierte parametrisierte 3D-Schienenmodell M' sind adjustierte Parameterwerte C zugeordnet. Das Ermitteln des adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells M' erfolgt durch einen iterativen Prozess, der auch als "matching" bezeichnet wird, wobei ein Vergleich eines parametrisierten 3D-Schienenmodells M mit der ermittelten Aktivierungskarte AK erfolgt. Für diesen Vergleich wird eine in diesem Prozess ebenfalls automatisch mitadjustierte Projektionsvorschrift T^{cr} benötigt, um das zu vergleichen Schienenmodell M auf die Aktivierungskarte AK zu projizieren.

[0077] In FIG 5 ist eine schematische Darstellung der in FIG 4 veranschaulichten Justage-Einheit 43 der Justage-Einrichtung 40 gezeigt. Die Justage-Einheit 43 umfasst eine Modellermittlungseinheit 43a zum Empfangen von initialen Parameterwerten als Kandidaten-Parameterwerte C_0 und einer initialen Kandidaten-Projektionsmatrix T^{cr0} , die zum Beispiel von einer Steuereinheit 3 des Schienenfahrzeugs 1 (siehe FIG 7) zur Ermittlung einer Pose P eines Schienenstrangs ST (siehe FIG 6)

genutzt werden.

[0078] Das so spezifizierte parametrisierte 3D-Schienenmodell M und die Aktivierungskarte AK werden an eine Fusionseinheit 43b übermittelt, die das spezifizierte parametrisierte 3D-Schienenstrangmodell M und die Aktivierungskarte AK durch Projektion des spezifizierten parametrisierten 3D-Schienenstrangmodells M auf die Aktivierungskarte AK zu einer kombinierten Aktivierungskarte KAK zusammenführt.

[0079] Die kombinierte Aktivierungskarte KAK wird an eine Abweichungsermittlungseinheit 43c übermittelt, die auf Basis der kombinierten Aktivierungskarte KAK eine Abweichung L zwischen scheinbaren Helligkeitswerten des projizierten parametrisierten Schienenmodells M2D und der Aktivierungskarte AK ermittelt.

[0080] Auf Basis der ermittelten Abweichung L ermittelt eine Adaptionseinheit 43d angepasste Parameter C_k und eine angepasste Projektionsmatrix T^{crk} .

[0081] Eine Qualitätseinheit 43e ermittelt, ob die von der Adaptionseinheit 43d ermittelten Größen C_k , T^{crk} ein Qualitätskriterium Q erreichen.

[0082] Wird das Qualitätskriterium Q erreicht, so werden der ermittelte angepasste Parametersatz C_k und die ermittelte angepasste Projektionsmatrix T^{crk} als adjustierte Parameter C für ein adjustiertes parametrisiertes 3D-Schienenmodell M' und als adjustierte Projektionsmatrix T^{cr} ausgegeben.

[0083] Wird das Qualitätskriterium Q noch nicht erreicht, so werden der angepasste Parametersatz C_k und die ermittelte angepasste Projektionsmatrix T^{crk} an die Fusionseinheit 43b übermittelt und dort zur Projektion des mit dem angepassten Parametersatz C_k parametrisierten 3D-Schienenmodells M auf die Aktivierungskarte AK verwendet.

[0084] In FIG 6 ist eine symbolisierende Darstellung des in FIG 1 bis FIG 3 bereits veranschaulichten Verfahrens gezeigt. Dabei sind einzelne Schritte in einer Abfolge von symbolhaften Bilddarstellungen gezeigt, wobei die Abfolge eine Kette bildet, die von oben links im Bild nach rechts verläuft und dann unten links im Bild weitergeführt wird und in der unteren Reihe ebenfalls von links nach rechts verläuft.

[0085] Links oben wird eine dem Schritt 1.I (siehe FIG 1) entsprechende Erfassung von Bilddaten BD von einem vor einem Schienenfahrzeug 1 in Fahrtrichtung liegenden Sichtbereich mit Schienensträngen ST dargestellt. Als nächster Schritt wird eine dem Schritt 1.IIa (siehe FIG 2) entsprechende Ermittlung von segmentierten Bilddaten SBD auf Basis einer Kantendetektion in den erfassten Bilddaten BD veranschaulicht. Weiterhin erfolgt ein "Verwischen" der segmentierten Bilddaten SBD, was dem Schritt 1.IIb (siehe FIG 2) entspricht und die oben rechts dargestellte Aktivierungskarte AK ergibt.

[0086] Unten links ist ein Schritt einer Generierung eines parametrisierten Schienenmodells M auf Basis von Kandidaten-Parametern C_k symbolisiert. Dieses Vorgehen entspricht dem Schritt 1.III (siehe FIG 1).

[0087] Rechts daneben folgend wird eine Bildprojekti-

on auf Basis einer Kandidaten-Projektionsmatrix T^{crk} symbolisiert. Dieser Schritt entspricht dem Schritt 1.IVa (siehe FIG 3).

[0088] In der unteren Reihe folgend ist eine kombinierte Aktivierungskarte KAK gezeigt, in der sowohl die auf den erfassten Bilddaten BD basierende Aktivierungskarte AK als auch das auf die Aktivierungskarte AK projizierte hell dargestellte und mit einem Schienenstrang ST kreuzende parametrisierte Schienenmodell M2D gezeigt ist.

[0089] Schließlich ist als letzte symbolische Darstellung der Schritt der Minimierung einer Abweichung L des projizierten parametrisierten Schienenmodells M2D von der Aktivierungskarte AK gezeigt. Dieser Schritt entspricht dem Schritt 1.IV (siehe FIG 1). Dabei werden auf Basis der ermittelten Abweichung L angepasste Parameter C_k , die dann wieder zur Ermittlung eines angepassten parametrisierten 3D-Schienenmodells M genutzt werden, und eine angepasste Projektionsmatrix T^{crk} , die zur erneuten Projektion des durch die angepassten Parameter C_k angepassten parametrisierten 3D-Schienenmodells M auf die Aktivierungskarte AK genutzt wird, was durch entsprechende sich zurückbeziehende Pfeile symbolisiert ist, ermittelt.

[0090] In FIG 7 ist eine schematische Darstellung eines Schienenfahrzeugs 1 gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht. Das Schienenfahrzeug 1 bewegt sich in Pfeilrichtung über einen Schienenstrang ST.

[0091] Das Schienenfahrzeug 1 umfasst eine Bildaufnahmeeinheit BA zum Akquirieren von Bilddaten BD von einem Umgebungsbereich UB des Schienenfahrzeugs 1. Der Umgebungsbereich UB umfasst einen vor dem Schienenfahrzeug 1 liegenden Schienenstrang ST. Teil des Schienenfahrzeugs 1 ist auch eine Justage-Einrichtung 40, wie sie in FIG 4 und FIG 5 im Detail veranschaulicht ist, zur Ermittlung eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells M'. Die Justage-Einrichtung 40 übermittelt das adjustierte parametrisierte 3D-Schienenmodell M' mit dem adjustierten Parametersatz C und der adjustierten Projektionsmatrix T^{cr} an eine Steuereinheit 3, welche zur Steuerung einer Fahrt des Schienenfahrzeugs 1 eine Pose des vor dem Schienenfahrzeugs 1 liegenden Schienenstrangs ST auf Basis des adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells M' ermittelt. Ebenfalls können Parameterwerte C^0 , T^{cr0} eines zu adjustierenden 3D-Schienenmodells M, welches gerade von der Steuereinheit 3 genutzt wird, an die Justage-Einrichtung 40 übermittelt werden, um eine Justage dieser Parameterwerte C^0 , T^{cr0} vorzunehmen.

[0092] In FIG 8 ist eine schematische Darstellung einer durch Glättung erzeugten bildbasierten Aktivierungskarte AK dargestellt. Der Einfachheit ist die Aktivierungskarte AK nur als Projektion auf die x-Achse dargestellt. Selbstverständlich ist eine Aktivierungskarte AK üblicherweise zweidimensional, d.h. sie weist für die einzelnen Aktivierungspunkte x-y-Koordinaten auf. In der Aktivierungskarte AK sind diskrete Aktivierungswerte AW

an den Positionen, an denen Schienenstränge ST vorhanden sind, durch rechteckige Balken dargestellt. Außerdem ist ein auf die Aktivierungskarte AK projiziertes parametrisiertes Schienenmodell M2D an den Positionen x_0 und x_0' mit durch gestrichelt gezeichnete rechteckige Balken symbolisierten Aktivierungswerten AW' dargestellt ($AW = 1$, $AW' = 1$). Beginnt eine iterative Ermittlung geeigneter Modellparameter nun beispielsweise mit dem projizierten parametrisierten Schienenmodell M2D an den Positionen x_0 und x_0' zwischen den Schienensträngen ST, so ergibt sich für die Ableitung der Summe der Quadrate der Differenzen zwischen den Aktivierungswerten AW der Schienenstränge ST und den Aktivierungswerten AW' des projizierten parametrisierten Schienenmodells M2D der Wert 0.

[0093] D.h., wird das projizierte parametrisierte Schienenmodell M2D ein wenig in x-Richtung verschoben, so ändern sich die Quadrate der Differenzen zwischen den Aktivierungswerten AW der Schienenstränge ST und den Aktivierungswerten AW' des projizierten parametrisierten Modells M2D nicht. Beispielsweise bleibt der Wert der Summe der Quadrate der Differenzen zwischen den Aktivierungswerten AW der Schienenstränge ST und den Aktivierungswerten AW' des projizierten parametrisierten Modells M2D bei dem Wert 4.

[0094] Damit wäre aber eine ableitungsbasierte Näherung, beispielsweise ein Newtonverfahren mit der Rechenvorschrift $x_{n+1} = x_n - f(x_n)/f'(x_n)$ (Beispielsweise $n = 0, 1, 2, \dots$, $f(x)$ gleich die Summe der Quadrate der Differenzen zwischen den Aktivierungswerten AW der Schienenstränge ST und den Aktivierungswerten AW' des projizierten parametrisierten Modells M2D) nicht anwendbar, denn x_1 hätte dann einen negativen unendlichen Wert. Das Newton-Verfahren soll hier nur der einfachen Veranschaulichung halber, beispielsweise stellvertretend für Näherungsverfahren für Funktionen mit mehrdimensionalen Argumenten oder mehrdimensionalen Funktionen, wie zum Beispiel das Gauss-Newton-Verfahren oder andere vorstehend im Text genannten Näherungsverfahren, gewählt werden.

[0095] Wird nun die diskrete Verteilung der Aktivierungswerte AW des Schienenstrangs ST in eine stetige Verteilung ST' , welche in FIG 8 durch geschwungene durchgezogene Linien dargestellt ist, transformiert, so ergibt sich für die Ableitung der Quadrate der Differenzen zwischen den Aktivierungswerten AW der Schienenstränge ST und den Aktivierungswerten AW' des projizierten parametrisierten Schienenmodells M2D ein von dem Wert 0 unterschiedlicher Wert, so dass die Iteration fortgesetzt werden kann, da X_1 einen endlichen Wert annimmt.

[0096] Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorbeschriebenen Verfahren und Vorrichtungen lediglich um bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung handelt und dass die Erfindung vom Fachmann variiert werden kann, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen, soweit er durch die Ansprüche vorgegeben ist. Es wird der Vollständig-

keit halber auch darauf hingewiesen, dass die Verwendung der unbestimmten Artikel "ein" bzw. "eine" nicht ausschließt, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Ebenso schließt der Begriff "Einheit" nicht aus, dass diese aus mehreren Komponenten besteht, die gegebenenfalls auch räumlich verteilt sein können.

10 Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells (M'), aufweisend die Schritte:

- Erfassen von Bilddaten (BD) von einem Umgebungsbereich (UB) eines Schienenfahrzeugs (1), welcher einen Schienenstrang (ST) umfasst, durch eine an dem Schienenfahrzeug (1) angeordnete Bildaufnahmeeinheit (BA),
- Ermitteln einer Aktivierungskarte (AK) auf Basis der erfassten Bilddaten (BD),
- Ermitteln des adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells (M'), welches die Pose (P) des Schienenstrangs (ST) relativ zur Bildaufnahmeeinheit (BA) wiedergibt, auf Basis eines Vergleichs eines parametrisierten 3D-Schienenmodells (M) mit der ermittelten Aktivierungskarte (AK).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Ermitteln des adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells (M') die folgenden Schritte umfasst:

- i) Projizieren des durch Kandidaten-Parameter (C_0) parametrisierten 3D-Schienenmodells (M) auf die Aktivierungskarte (AK) auf Basis einer Kandidaten-Projektionsvorschrift (T^{cr0}),
- ii) Ermitteln von angepassten Parameterwerten (C_k) des parametrisierten 3D-Schienenmodells (M) und/oder einer angepassten Projektionsvorschrift (T^{crk}) auf Basis des Vergleichs des projizierten parametrisierten Schienenmodells (M2D) mit der Aktivierungskarte (AK).

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells (M') das Durchführen eines iterativen Näherungsverfahrens umfasst, wobei die Schritte i) und ii) wiederholt werden und bei einer Wiederholung die bei Schritt ii) ermittelten angepassten Parameterwerte (C_k) bei Schritt i) als Kandidaten-Parameterwerte (C_0) verwendet werden und/oder die bei Schritt ii) ermittelte angepasste Projektionsvorschrift (T^{crk}) bei Schritt i) als Kandidaten-Projektionsvorschrift (T^{cr0}) verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Ver-

gleich das Ermitteln mindestens einer der folgenden Größen umfasst:

- eine Abweichung (L) des projizierten parametrisierten Schienenmodells (M2D) von der Aktivierungskarte (AK),
- eine Korrelation (K) zwischen dem projizierten parametrisierten Schienenmodell (M2D) mit der Aktivierungskarte (AK) .

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Vergleich eine Ermittlung einer Abweichung (L) aufweist und der Vergleich eine Ermittlung eines Minimums der Abweichung (L) zwischen dem projizierten parametrisierten Schienenmodell (M2D) und der Aktivierungskarte (AK) aufweist. 10
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, wobei der Vergleich eine Ermittlung einer Abweichung (L) aufweist und die ermittelte Abweichung (L) eine Abweichung zwischen Aktivierungswerten (AW') des projizierten parametrisierten Schienenmodells (M2D) und Aktivierungswerten (AW) der Aktivierungskarte (AK) umfasst. 20
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, wobei der Vergleich eine Ermittlung einer Abweichung (L) aufweist und die Abweichung (L) die Summe der Quadrate der Differenzen zwischen Aktivierungswerten (AW') von Aktivierungspunkten des projizierten parametrisierten Schienenmodells (M2D) und Aktivierungswerten (AW) von Aktivierungspunkten der Aktivierungskarte (AK) aufweist. 30
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das parametrisierte 3D-Schienenmodell (M) mindestens eines der folgenden Merkmale aufweist: 35
 - 3D-Punkte, welche entlang eines Schienenkopfes des Schienenstrangs (ST) mit einer vorbestimmten Abtastdichte angeordnet sind, 40
 - eine vorbestimmte parametrisierbare Grundform, welche vorzugsweise die Form eines der folgenden Objekte umfasst: 45
 - eine Klothoide,
 - eine Verzweigung,
 - parallele Geraden.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei auf Basis der Bilddaten (BD) segmentierte Bilddaten (SBD) ermittelt werden und die Aktivierungskarte (AK) auf Basis der segmentierten Bilddaten (SBD) ermittelt wird. 50
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Aktivierungskarte (AK) durch eine Glättung der segmentierten Bilddaten (SBD) ermittelt wird. 55

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Glättung durch Anwendung eines Gauss-Kernels (GK) auf die segmentierten Bilddaten (SBD) erfolgt.

5 12. Justage-Einrichtung (40), aufweisend:

- eine Eingangsschnittstelle (41) zum

- Empfangen von Bilddaten (BD) von einem Umgebungsbereich (UB) eines Schienenfahrzeugs (1), welcher einen Schienenstrang (ST) umfasst, von einer an dem Schienenfahrzeug (1) angeordneten Bildaufnahmeeinheit (BA),

- eine Ermittlungseinheit (42) zum Ermitteln einer Aktivierungskarte (AK) auf Basis der erfassten Bilddaten (BD),
- eine Justage-Einheit (43) zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells (M'), welches die Pose (P) des Schienenstrangs (ST) relativ zur Bildaufnahmeeinheit (BA) wiedergibt, durch einen Vergleich eines parametrisierten 3D-Schienenmodells (M) mit der ermittelten Aktivierungskarte (AK).

13. Schienenfahrzeug (1), aufweisend

- eine Bildaufnahmeeinheit (BA) zum Akquirieren von Bilddaten (BD) von einem Umgebungsbereich (UB) des Schienenfahrzeugs (1), welcher einen Schienenstrang (ST) umfasst,
- eine Justage-Einrichtung (40) nach Anspruch 12 zur Ermittlung eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells (M'),
- eine Steuereinheit (3) zur Steuerung einer Fahrt des Schienenfahrzeugs (2) auf Basis des adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells (M').

14. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells (M') auszuführen.

15. Computerlesbares Speichermedium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des Verfahrens nach Anspruch 1 bis 11 zum Ermitteln eines adjustierten parametrisierten 3D-Schienenmodells (M') auszuführen.

FIG 1

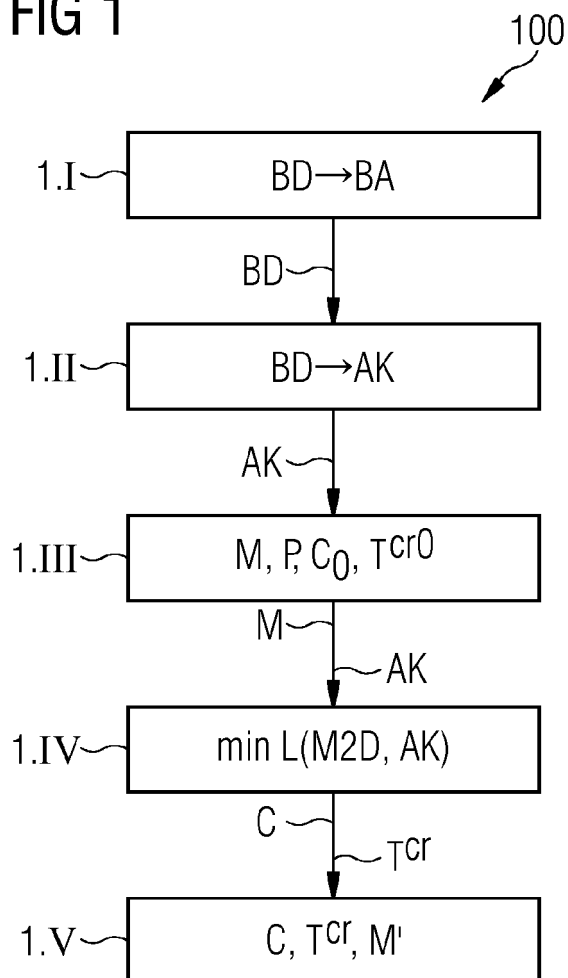


FIG 2

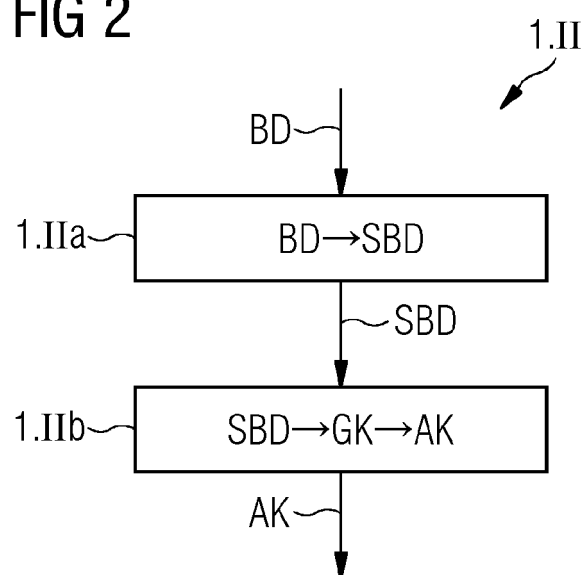


FIG 3

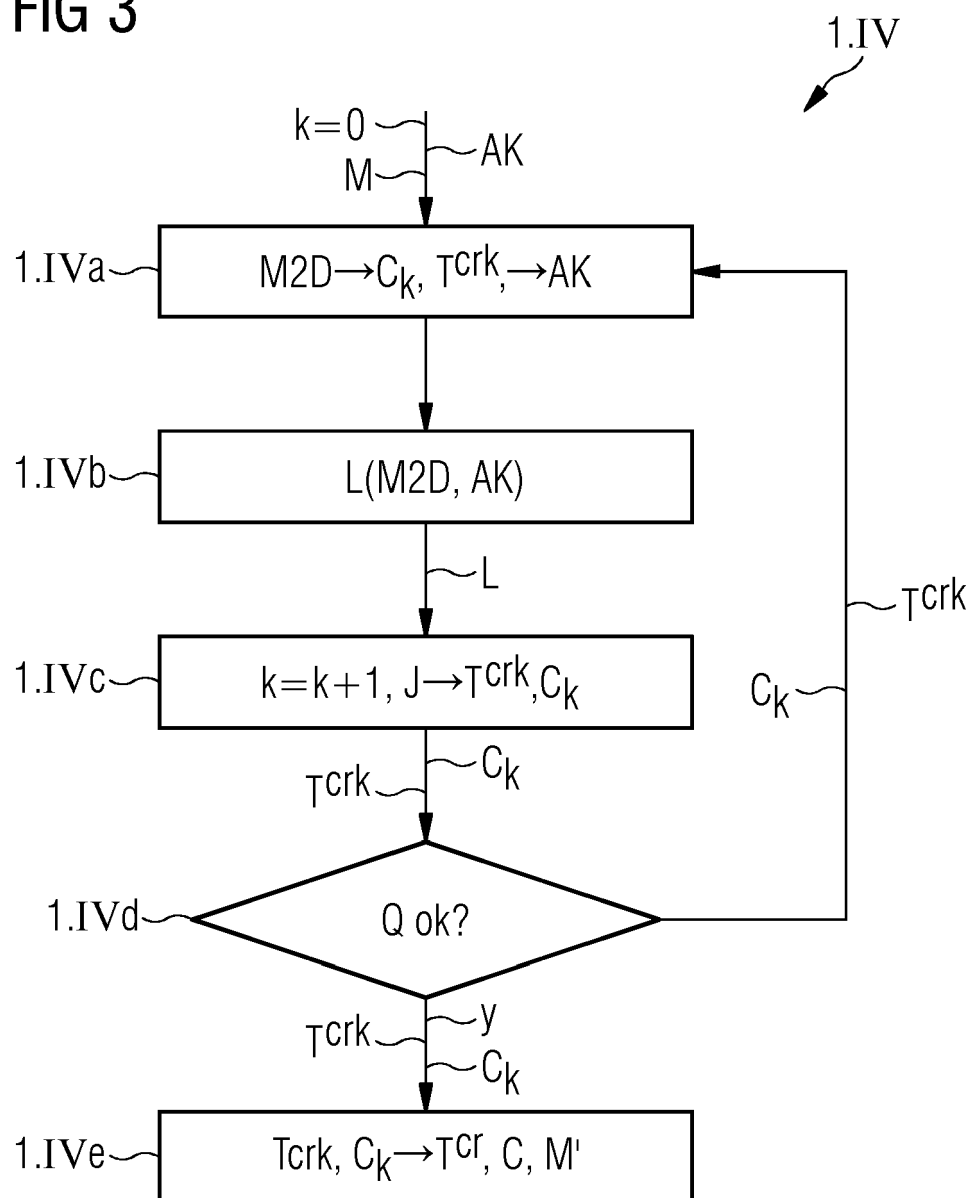


FIG 4

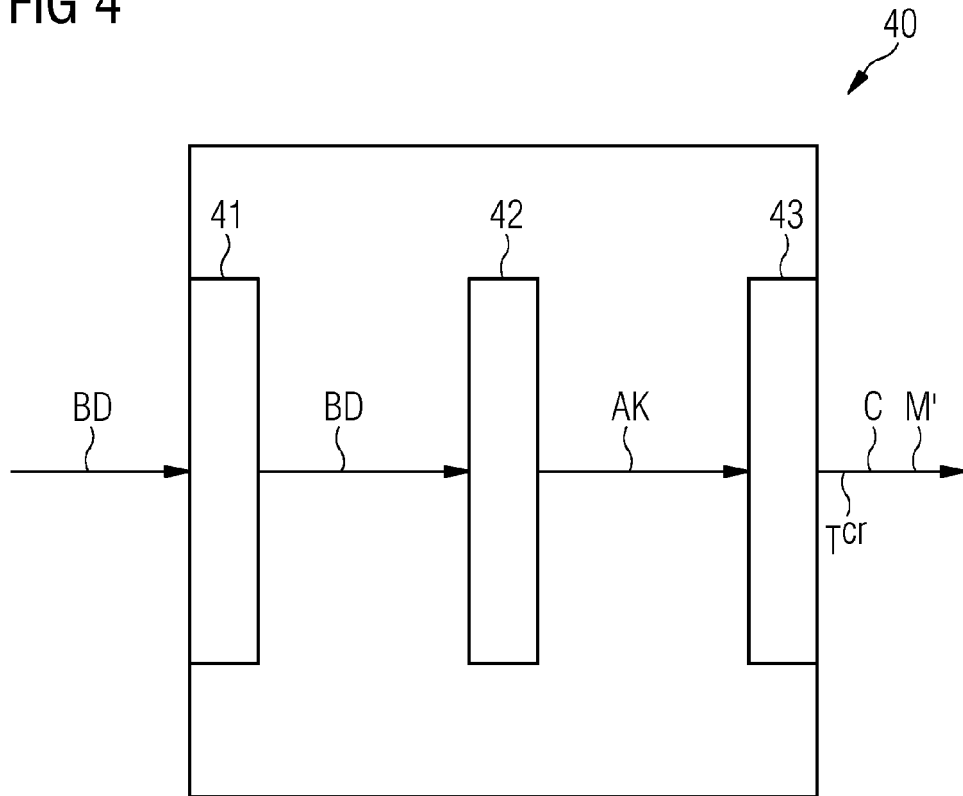


FIG 5

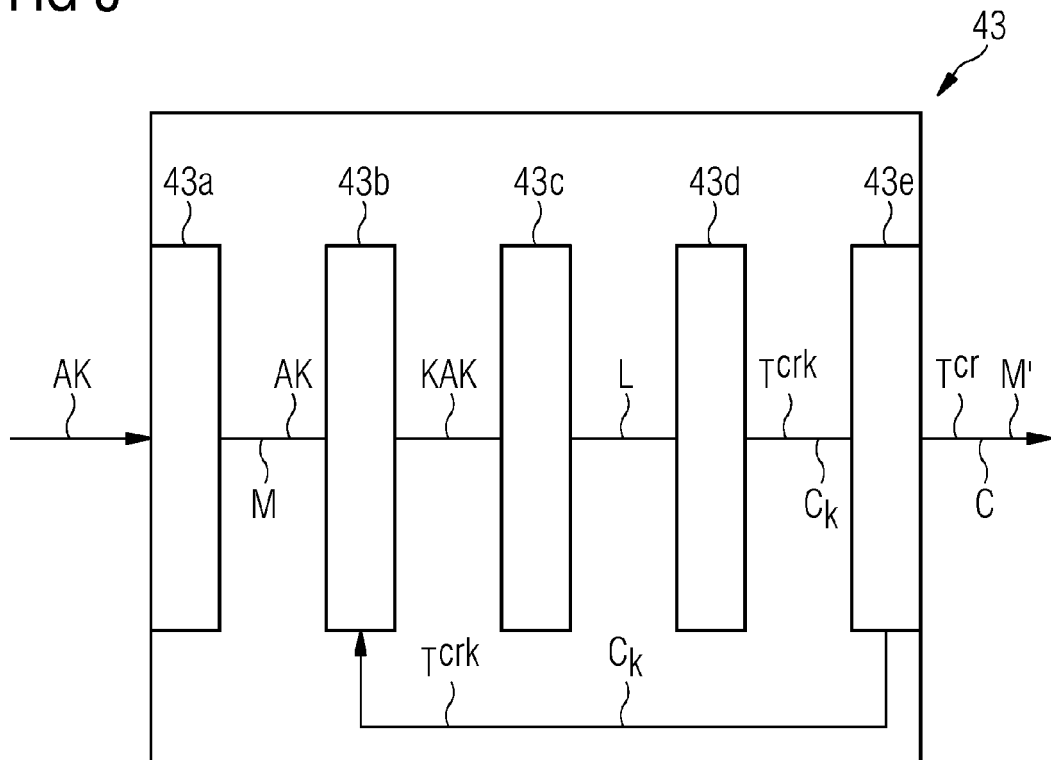


FIG 6

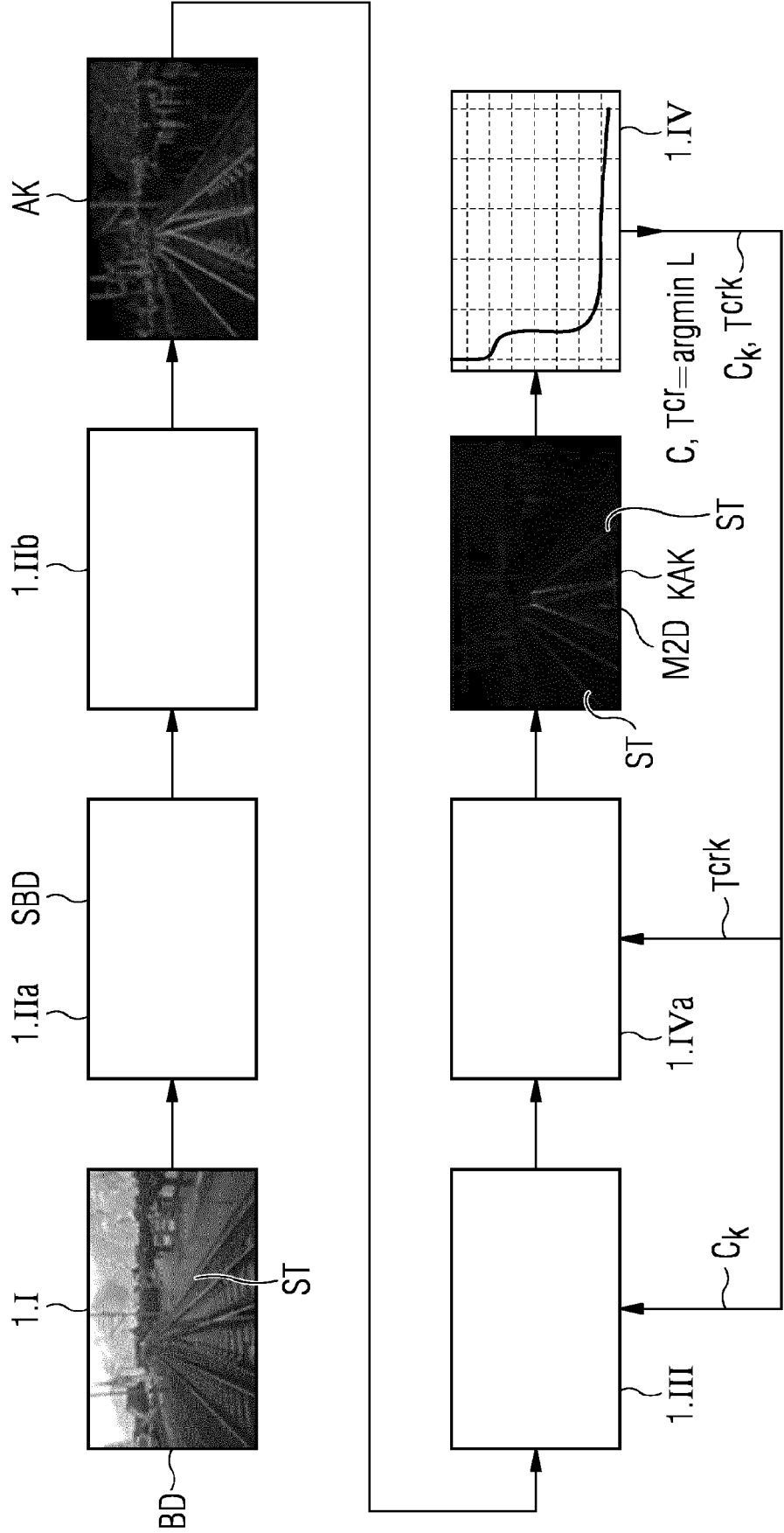


FIG 7

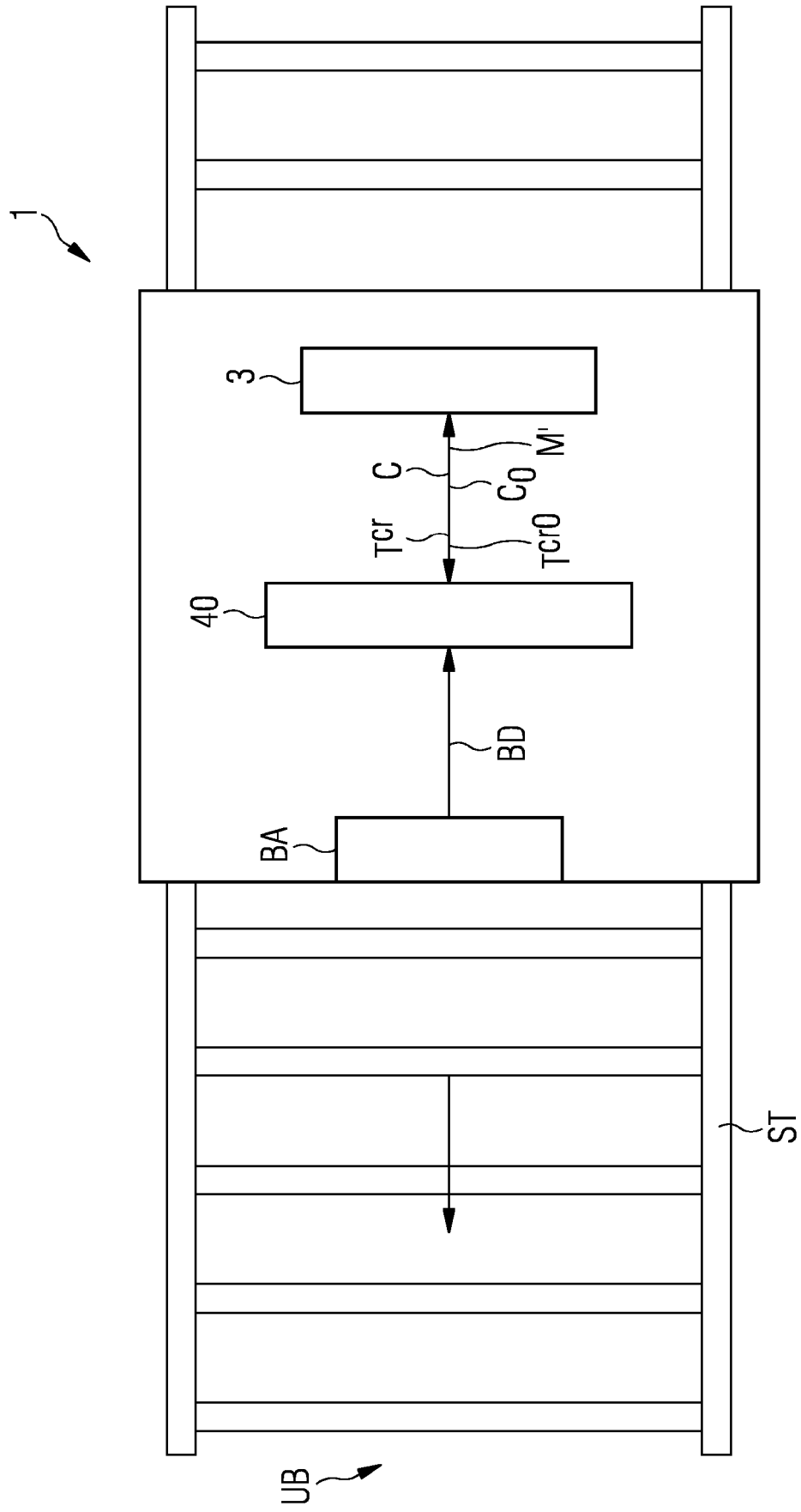
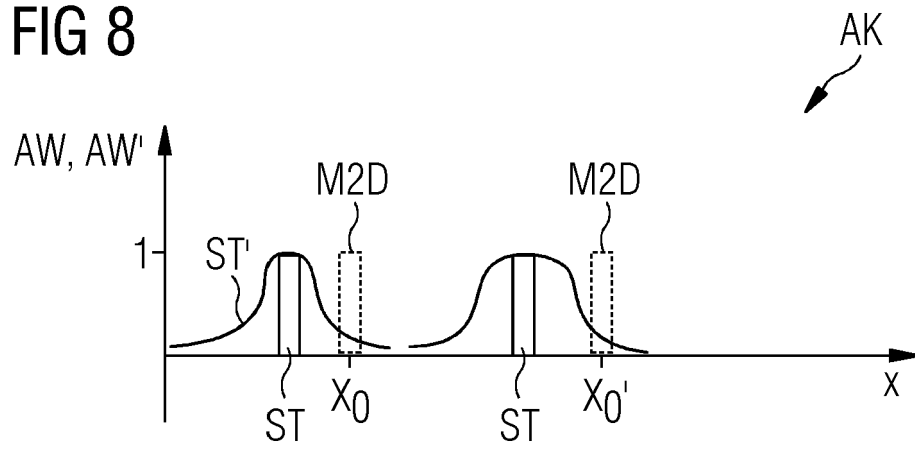


FIG 8





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 2314

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	EP 3 138 753 A1 (RAIL VISION EUROPE LTD [GB]) 8. März 2017 (2017-03-08) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-3,5 * * Absätze [0001], [0010], [0013] - [0023] * * Absätze [0056] - [0059], [0064] * * Absätze [0143] - [0156] * * Absätze [0168] - [0170] * -----	1-15	INV. B61L23/04
Y	Christian Wöhler: "Three-Dimensional Pose Estimation and Segmentation Methods" In: "3D Computer Vision", 1. Januar 2013 (2013-01-01), Springer London, London, XP055307333, ISSN: 1612-1449 ISBN: 978-1-4471-4150-1 Seiten 89-137, DOI: 10.1007/978-1-4471-4150-1_2, * Seiten 90-92 * -----	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) B61L
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 1. August 2023	Prüfer Robinson, Victoria
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 16 2314

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

01-08-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 3138753	A1	08-03-2017	EP	3138753 A1	08-03-2017
				EP	3138754 A1	08-03-2017
15				GB	2536746 A	28-09-2016
				GB	2542115 A	15-03-2017
				US	2017066459 A1	09-03-2017
				US	2017106885 A1	20-04-2017
20	-----					
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82