



(10) **DE 10 2021 100 351 A1** 2021.07.15

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 100 351.2**

(22) Anmeldetag: **12.01.2021**

(43) Offenlegungstag: **15.07.2021**

(51) Int Cl.: **G06K 9/62 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**16/742,961**      **15.01.2020**    **US**

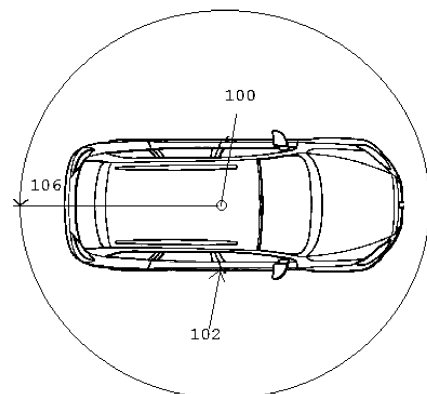
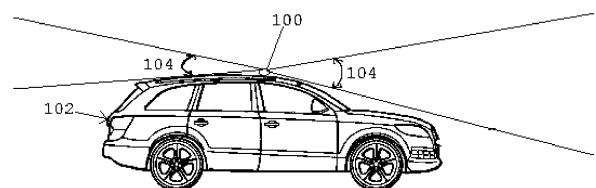
(71) Anmelder:  
**Aptiv Technologies Limited, St. Michael, BB**

(74) Vertreter:  
**Westphal, Mussnug & Partner Patentanwälte mit  
beschränkter Berufshaftung, 81541 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Li, Meng-Hao, Los Angeles, US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **ADAPTIVE UNTERSUCHUNG FÜR LIDAR-BASIERTES GRUPPIEREN**



(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Gruppieren räumlicher Daten beinhaltet das Empfangen einer Punktwolke, die aus mehreren, innerhalb des dreidimensionalen (3D) Raums definierten Punkt besteht. Das Verfahren beinhaltet weiterhin das Auswählen von einem oder mehr anpassbaren Clusterbildungsparametern und das Durchlaufen eines jeden der mehreren Punkte in der Punktwolke und das selektive Hinzufügen der Punkte zu einem oder mehr Clustern basierend auf den einen jeden Punkt zugeordneten, ausgewählten Clusterbildungsparametern.

## Beschreibung

**[0001]** Diese Offenbarung ist allgemein auf die Verarbeitung von Bilddaten, die durch LiDAR-basierte Systeme bereitgestellt werden, und insbesondere auf ein adaptives, Dichte-basiertes System und Verfahren zum Untersuchen und zum Gruppieren von Punkten, um Objekte zu detektieren, gerichtet.

**[0002]** Autonome Verkehrsmittel erfordern die Fähigkeit, verschiedene Arten von Objekten, denen ein Verkehrsmittel begegnet, einschließlich anderer Verkehrsmittel, Fußgänger, Gebäude, Tore, sowie eine Anzahl anderer Objekte, denen autonome Verkehrsmittel begegnen, zu „sehen“. Nicht-autonome Verkehrsmittel profitieren ähnlich von der Fähigkeit, Objekte zu detektieren. Hierzu ist es üblich, dass Verkehrsmittel eine oder mehr Arten von Sensoren verwenden, um Informationen, die analysiert werden, um verschiedene Objekte zu identifizieren, zu sammeln. Insbesondere arbeiten Lichterkennungs- und Entfernungsmess- („light detection and ranging“; LiDAR)-Sensoren, indem sie ein Ziel mit Laserlicht beleuchten und das reflektierte Licht mit einem Sensor messen, um eine Entfernung zu dem Objekt, das die Reflexion verursacht hat, zu ermitteln. Die durch ein LiDAR-System bereitgestellte Ausgabe ist eine Vielzahl von Punkten, die als Punktwolke, die eine 3D-Form oder ein 3D-Merkmal darstellt, bezeichnet werden. Techniken zum maschinellen Lernen wie beispielsweise Cluster-Bildung werden verwendet, um die einzelnen Punkte in einer Sammlung von Clustern, die letztlich verwendet werden, um Objekte zu detektieren und/oder identifizieren, zu organisieren.

**[0003]** Es kann eine Vielzahl verschiedener Cluster-Bildungstechniken einschließlich (1) Partitionieren, (2) hierarchisch, (3) Dichte-basiert und (4) Gitter-basiert verwendet werden. Zum Beispiel besteht eine allgemein verwendete Cluster-Bildungstechnik in der Dichte-basierten räumlichen Clusterbildung von Anwendungen mit Störungen („density-based special clustering of applications“; DBSCAN), welche Punkte, die nahe beieinander gepackt sind, zusammen gruppiert („clusters together“) und jede, die sich in Gebieten mit geringer Dichte befinden, als Ausreißer oder Störungen markiert. Ein Vorteil von DBSCAN besteht darin, dass sie keine Kenntnis von der Anzahl zu bildender Cluster erfordert, was es DBSCAN ermöglicht, Cluster mit beliebigen Formen zu detektieren. Allerdings besitzt DBSCAN, wenn es bei LiDAR-Anwendungen verwendet wird, mehrere Nachteile einschließlich der Unfähigkeit, Objekte, die sich sowohl in der Nähe als auch entfernt von dem Sensor befinden, zu detektieren, der Unfähigkeit, Objekte mit verschiedenen Dichteniveaus (z.B. Gebüsch gegenüber Verkehrsmittel) zu gruppieren, und der Unfähigkeit, Eigenschaften von LiDAR-Sensordaten zu verwenden.

**[0004]** Es wäre daher vorteilhaft, eine Technik zur Clusterbildung, die einen oder mehr der mit traditionellen Clusterbildungs-Algorithmen verbundenen Nachteile überwindet, zu entwickeln.

**[0005]** Gemäß einem Aspekt beinhaltet ein Verfahren zum Gruppieren („Clustering“) räumlicher Daten das Empfangen einer Punktwolke, die aus mehreren, innerhalb eines dreidimensionalen (3D) Raums definierten Punkten besteht. Das Verfahren beinhaltet weiterhin das Auswählen von einem oder mehr anpassbaren Clusterbildungsparametern für jeden der mehreren Punkte. Das Verfahren beinhaltet weiterhin das Durchlaufen eines jeden der mehreren Punkte in der Punktwolke und das selektive Hinzufügen eines jeden der Punkte zu einem oder mehr Clustern basierend auf den zu jedem Punkt gehörenden, ausgewählten Clusterbildungsparametern.

**[0006]** Gemäß einem weiteren Aspekt beinhaltet ein Verfahren zum Gruppieren räumlicher Daten das Empfangen einer Punktwolke, die aus mehreren, innerhalb eines dreidimensionalen (3D) Raums definierten Punkten besteht. Ein zuvor nicht gruppierter Punkt wird aus der Punktwolke ausgewählt und ein neues Cluster wird erzeugt, wenn der ausgewählte Punkt zuvor nicht gruppiert war und basierend auf einer Anzahl von benachbarten Punkten, die sich innerhalb eines Untersuchungsradius' befinden, festgestellt wird, dass er einen Kernpunkt darstellt. Wenn er als Kernpunkt identifiziert wird, werden benachbarte Punkte des identifizierten Kernpunkts einer Nachbarliste hinzugefügt. Für jeden Punkt auf der Nachbarliste wird eine Feststellung getroffen, ob der benachbarte Punkt ebenfalls einen Kernpunkt darstellt. Für einen benachbarten Punkt, der als Kernpunkt erkannt wird, wird der Punkt dem Cluster hinzugefügt und Nachbarn des benachbarten Punkts (d.h. Kernpunkts) werden der Nachbarliste zur Analyse hinzugefügt. Für einen benachbarten Punkt, der nicht als Kernpunkt identifiziert wird, werden der Azimut- und/oder Höhenwinkel zwischen dem benachbarten Punkt und einem daneben befindlichen Punkt mit einem Schwellenwert verglichen, wobei der daneben befindliche Punkt, wenn der Azimut- oder Höhenwinkel zwischen dem benachbarten Punkt und dem daneben befindlichen Punkt geringer als ein Schwellenwert ist, der Nachbarliste hinzugefügt wird, sofern er nicht zuvor einem Cluster zugeordnet wurde.

**[0007]** Gemäß einem weiteren Aspekt beinhaltet ein System zumindest einen Prozessor und ein Clusterbildungsmodul, das, wenn es durch zumindest einen Prozessor ausgeführt wird, dazu ausgebildet ist, einen

Dichte-basierten Clusterbildungsalgorithmus zu implementieren, der mehrere durch das System empfangene Punkte in ein oder mehr Cluster gruppiert. Der Dichte-basierte Clusterbildungsalgorithmus ist dazu ausgebildet, eine Punktwolke, die aus mehreren, innerhalb eines dreidimensionalen (3D) Raums definierten Punkten besteht, zu empfangen, und auf die Punktwolke einen Untersuchungsalgorithmus anzuwenden, wobei der Untersuchungsalgorithmus Clusterbildungsparameter, die einen oder mehr von Minimalpunktschwellenwert und Untersuchungsradius enthalten, für jeden Punkt in der Punktwolke auswählt. Der Dichte-basierte Clusterbildungsalgorithmus ist weiterhin dazu ausgebildet, einen Clusterbildungsalgorithmus auf die Punktwolke anzuwenden, wobei der Clusterbildungsalgorithmus zumindest einige der Punkte in der Punktwolke durchläuft und den Minimalpunktschwellenwert und Untersuchungsradius, die jedem Punkt durch den Untersuchungsalgorithmus zugeordnet sind, verwendet, um Clustern Punkte selektiv hinzuzufügen.

**[0008] Fig. 1a** ist eine Seitenansicht eines Verkehrsmittels, das ein Lichterkennungs- und Abstands-(LiDAR)-basiertes Bildgebungssystem aufweist, gemäß einigen Ausführungsformen.

**[0009] Fig. 1b** ist eine Draufsicht auf ein Verkehrsmittel, das ein LiDAR-basiertes Bildverarbeitungssystem aufweist, gemäß einigen Ausführungsformen.

**[0010] Fig. 2a** ist ein Blockschaltbild eines LiDAR-basierten Bildverarbeitungssystems gemäß einigen Ausführungsformen.

**[0011] Fig. 2b** ist ein Blockschaltbild von Komponenten, die durch das LiDAR-basierte Bildverarbeitungssystem verwendet werden, um die mehreren Punkte zu untersuchen und zu gruppieren, gemäß einigen Ausführungsformen.

**[0012] Fig. 3** ist ein Flussdiagramm, das Schritte, die verwendet werden, um den adaptiven, Dichte-basierten Clusterbildungsalgorithmus zu implementieren, veranschaulicht, gemäß einigen Ausführungsformen.

**[0013] Die Fig. 4a und Fig. 4b** sind Flussdiagramme, die die Schritte, die verwendet werden, um die mehreren Punkte zu untersuchen und zu gruppieren, veranschaulichen, gemäß einigen Ausführungsformen.

**[0014] Fig. 5** ist eine Darstellung, die den Effekt, den veränderliche Untersuchungsradien auf eine Identifizierung von benachbarten Punkten und die Clusterbildung haben, veranschaulicht, gemäß einigen Ausführungsformen.

**[0015] Fig. 6** ist eine Darstellung, die ein Beispiel-Set von gruppierten Punkten veranschaulicht, gemäß einigen Ausführungsformen.

**[0016] Fig. 7** ist eine Darstellung, die den Effekt, den der Einfallswinkel und die Auflösung auf den Abstand zwischen nebeneinander befindlichen Punkten haben, veranschaulicht, gemäß einigen Ausführungsformen.

**[0017]** Um räumliche Daten wie beispielsweise Punktwolken zu nutzen, werden Clusterbildungsalgorithmen verwendet, um Punkte, die sich nahe beieinander befinden, zu gruppieren. Die resultierenden Cluster werden Objekterfassungs-/Erkennungsalgorithmen zugeführt, um Objekte zu klassifizieren. Dichte-basierte Clusterbildungsalgorithmen arbeiten, indem sie jeden Punkt in der Punktwolke als Kernpunkt, Randpunkt oder Störpunkt klassifizieren. Kernpunkte werden als jene Punkte, die innerhalb eines definierten Untersuchungsradius'  $\epsilon$  einen minimalen Schwellenwert (als Minimalpunktschwellenwert bezeichnet) von Nachbarn aufweisen, definiert. Randpunkte sind jene Punkte, die sich innerhalb der Nachbarschaft eines Kernpunkts befinden, die nicht innerhalb eines definierten Radius'  $\epsilon$  den minimalen Schwellenwert von Nachbarn aufweisen. Störpunkte sind jene Punkte, die keine Kernpunkte oder Randpunkte sind. Cluster werden gebildet, indem benachbarte Kernpunkte verbunden und demselben Cluster hinzugefügt werden. Der hierin offenbarte, adaptive Clusterbildungsalgorithmus erlaubt es, dass einer oder mehr der Parameter modifiziert werden. Zum Beispiel kann der Minimalpunktschwellenwert verwendet werden, um festzustellen, ob ein Punkt ein Kernpunkt ist, basierend auf dem Abstand, in dem sich der Punkt von dem Sensor befindet, eingestellt werden. Dies ermöglicht es, dass weiter von dem LiDAR-Sensor entfernte Objekte trotz einer geringeren Dichte von Punkten, die einem oder mehr beabstandeten Objekten zugeordnet sind, gruppiert werden. Zusätzlich erlaubt es der hierin offenbarte, adaptive Clusterbildungsalgorithmus bei einigen Ausführungsformen, dass der Untersuchungsradius  $\epsilon$  modifiziert wird. Das Erhöhen des Untersuchungsradius' erhöht die Anzahl benachbarter Punkte und hilft deshalb, Punkte in Gebieten geringerer Dichte zu gruppieren. Schließlich trägt der hierin beschriebene, adaptive Clusterbildungsalgorithmus bei einigen Ausführungsformen dem Effekt Rechnung, den der Einfallswinkel auf den Abstand zwischen nebeneinander befindlichen Punkten aufweist, was manchmal zu dem Fehler typischer

Dichte-Algorithmen, nebeneinander befindliche Punkte innerhalb desselben Objekts zu verbinden, führt. Bei einigen Ausführungsformen nutzt der adaptive Clusterbildungsalgorithmus die Differenz zwischen den Azimutwinkeln und/oder Höhenwinkeln von nebeneinander befindlichen Punkten, um festzustellen, ob Nachbarn eines Randpunkts (neben einem Kernpunkt befindlich) dem Cluster hinzugefügt werden sollten. Das Verwenden von einer oder mehr dieser Techniken allein oder in Kombination miteinander liefert einen robusteren Dichtebasierten Clusterbildungsalgorithmus, der in der Lage ist, räumliche Datenpunkte genau zu gruppieren.

**[0018]** Fig. 1a ist eine Seitenansicht eines Verkehrsmittels, das einen Lichterkennungs- und Abstandsbestimmungs- (LiDAR)-Sensor **100** gemäß einigen Ausführungsformen aufweist. Bei der in Fig. 1a gezeigten Ausführungsform ist der LiDAR-Sensor **100** auf einem oberen Teil des Verkehrsmittels **102** installiert. Der LiDAR-Sensor **100** arbeitet, indem er Licht- (z.B. Laser)-Pulse innerhalb eines Sichtfelds des Verkehrsmittels emittiert. Das Sichtfeld kann ein Höhengsichtfeld **104**, wie in Fig. 1a gezeigt, (d.h. in der z-Richtung) sowie ein Azimut-Sichtfeld **106**, wie in Fig. 1b gezeigt, (d.h. in der x-y-Ebene) enthalten. Bei einigen Ausführungsformen ist das Höhengsichtfeld geringer als 180°, bei einigen Ausführungsformen geringer als 90° und bei einigen Ausführungsformen geringer als 45°. Bei den in den Fig. 1a und Fig. 1b gezeigten Ausführungsformen beträgt das Azimut-Sichtfeld näherungsweise 360°. Bei einigen Ausführungsformen beträgt das Azimut-Sichtfeld jedoch näherungsweise 180°. Bei anderen Ausführungsformen kann der LiDAR-Sensor **100** an der Vorderseite, der Rückseite oder der Seite des Verkehrsmittels **102** installiert sein, und das Sichtfeld kann basierend auf der Installationsstelle modifiziert werden.

**[0019]** Der LiDAR-Sensor **100** verwendet eine Lichtquelle (z.B. Laser) und einen Detektor. Die Lichtquelle erzeugt einen Lichtpuls und der Detektor überwacht Reflexionen, wobei die mit einer Reflexion verbundene Laufzeit verwendet wird, um den Abstand/die Position des Objekts, das die Reflexion verursacht hat, abzuschätzen. Das Set von räumlichen Daten, das als Ergebnis erzeugt wird, besteht aus mehreren im Raum befindlichen Punkten. Wie unten ausführlicher erörtert wird, werden die räumlichen Daten gruppiert und die gruppierten Daten werden verwendet, um Objekte zu detektieren/erkennen. Als Reaktion auf detektierte Objekte kann das Verkehrsmittel **102** eine Anzahl von Handlungen, die vom Erzeugen von Warnungen für einen Bediener des Verkehrsmittels bis zum Erzeugen von Befehlen, den Betrieb des Verkehrsmittels zu ändern (z.B. autonome Handlungen für selbst fahrende Verkehrsmittel), reichen, vornehmen.

**[0020]** Bezug nehmend auf die Fig. 2a und Fig. 2b sind Komponenten eines LiDAR-basierten Bildverarbeitungssystems **200** in zusätzlicher Ausführlichkeit gezeigt. Bei dem in Fig. 2a gezeigten Blockschaltbild enthält das LiDAR-basierte Bildverarbeitungssystem **200** einen LiDAR-Laser **201**, einen Detektor **202** und ein verarbeitendes System **204**, das einen Prozessor (z.B. zentrale Recheneinheit („central processing unit“; CPU)/ grafische verarbeitende Einheit („graphical processing unit“; GPU)) **206**, ein computerlesbares Medium **208** und ein Punktwolken Speichermedium **210** enthält.

**[0021]** Die LiDAR-Lichtquelle **201** erzeugt den Lichtpuls, der verwendet wird, um den Abstand zu Objekten zu messen. Bei einigen Ausführungsformen kann die LiDAR-Lichtquelle **201** einen Einzellichtpuls (der in mehreren Richtungen zur selben Zeit bereitgestellt wird) oder mehrere einzelne Pulse, die in bestimmten Richtungen zu bestimmten Zeitpunkten bereitgestellt werden, erzeugen. Der erzeugte Lichtpuls läuft von dem Verkehrsmittel weg und interagiert mit Objekten, die sich im Lichtpfad befinden. Licht, das von einem Objekt reflektiert oder zurückgestreut wird, kehrt zu dem Verkehrsmittel zurück und wird durch den Detektor **202** detektiert. Die Laufzeit des Lichtpulses liefert Informationen betreffend den Abstand zwischen dem Objekt und dem Detektor **202**. Jede detektierte Reflexion liefert räumliche Informationen betreffend das umgebende Umfeld, hierin als Punkt bezeichnet. Insbesondere empfängt das verarbeitende System **204** Informationen betreffend die Laufzeit des detektierten Lichtpulses und verwendet die Informationen betreffend den Puls, um einen Ort der Reflexion zu bestimmen. Das verarbeitende System **204** sammelt mehrere Punkte, um eine Punktwolke, die räumliche Informationen betreffend das umgebende Umfeld liefert, zu erzeugen.

**[0022]** Das LiDAR-basierte Bildverarbeitungssystem **200** kann mit einer Vielzahl verschiedener Arten von LiDAR-Systemen, von denen jedes mit der Punktwolke, die aus mehreren Punkten besteht, arbeitet, implementiert werden. Zum Beispiel verwendet Blitz-LiDAR („flash-LiDAR“) eine einzige Lichtquelle, die das gesamte Sichtfeld mit einem einzigen Puls beleuchtet. Eine Fokusebene einer Blitz-LiDAR-Kamera enthält mehrere Zeilen und Spalten von Detektoren, die dazu ausgebildet sind, die Zeit, die der Lichtpuls benötigt, um das Ziel zu treffen und zu dem Array zurückzukehren, aufzuzeichnen, um ein 3D-Bild des umgebenden Gebiets zu erzeugen. Bei anderen Ausführungsformen kann die LiDAR-Lichtquelle **201** mehrere Einzelpulse, die durch das Sichtfeld gesteuert werden, erzeugen, wobei der Detektor **202** die Laufzeit von reflektierten Signalen misst, um den Abstand von dem Detektor zu der Stelle der Reflexion zu bestimmen. Das Steuern der Pulse kann über mechanische, elektromechanische oder elektrische Mittel vorgesehen werden. Zum Beispiel kann eine

mikroelektromechanische Maschine verwendet werden, um einen Spiegel zu drehen, was bewirkt, dass der Laser durch das Sichtfeld gesteuert wird. Bei anderen Ausführungsformen kann ein phasengesteuertes Array („phased array“), das aus mehreren Antennen besteht, verwendet werden, um durch die Steuerung der Zeiteinteilung (Phase) einer jeden Antenne in dem phasengesteuerten Array ein zusammenhängendes Signal („cohesive signal“) zu erzeugen. Detektierte Reflexionen - insbesondere Informationen, die zu detektierten Reflexionen gehören - werden einem verarbeitenden System **204** zur Analyse zugeführt.

**[0023]** Bei der in **Fig. 2a** gezeigten Ausführungsform enthält das verarbeitende System **204** den Prozessor **206**, das computerlesbare Medium **208** und den Punktwolkenpeicher **210**. Das computerlesbare Medium speichert Anweisungen, die, wenn sie durch den Prozessor **206** ausgeführt werden, bewirken, dass der Prozessor **206** verschiedenste Funktionen/Operationen an den durch den Detektor **202** gesammelten Daten implementiert. Zum Beispiel beinhaltet dieses bei einigen Ausführungsformen ein Punktwolkenmodul **220**, ein Cluster-bildendes Modul **222** und ein Objektklassifizierungsmodul **224** (in **Fig. 2b** gezeigt). Bei einigen Ausführungsformen ist das Punktwolkenmodul **220** dazu ausgebildet, die Punktwolke basierend auf den durch den Detektor **202** detektierten Reflexionen zu erzeugen. Das Cluster-bildende Modul **222** analysiert die Punktwolke und gruppiert die mehreren einzelnen Punkte in ein oder mehr eindeutige Cluster. Die durch das Cluster-bildende Modul **222** ausgeführte Funktionsweise wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 3**, **Fig. 4a** und **Fig. 4b** unten ausführlicher beschrieben. Das Objektklassifizierungsmodul **224** detektiert Objekte innerhalb des Sichtfelds des LiDAR-basierten Bildverarbeitungssystems **200** basierend auf den empfangenen Clustern. Detektierte Objekte - einschließlich Informationen betreffend die Stelle des Objekts und/oder des Abstands zu dem Objekt können als Ausgabe an andere Systeme bereitgestellt werden.

**[0024]** **Fig. 3** ist ein Flussdiagramm, das den Algorithmus **300** zur adaptiven Untersuchung/LiDAR-basierten Clusterbildung gemäß einiger Ausführungsformen veranschaulicht. Die Eingabe an den Algorithmus **300** zur adaptiven Untersuchung /LiDAR-basierten Clusterbildung ist die Punktwolke - die aus mehreren einzelnen Punkten besteht - gesammelt durch den LiDAR-Laser **201** und den Detektor **202** (in **Fig. 2a** gezeigt). Bei Schritt **301** wird die Punktwolke, die aus mehreren innerhalb des dreidimensionalen Raums definierten Punkten besteht, empfangen. Bei Schritt **302** wird die Punktwolke durch Besuchen der mehreren Punkte und Auswählen von einem oder mehr anpassbaren Clusterbildungsparametern (z.B. Minimalpunktschwellenwert  $\text{MinPt}$  und/oder Untersuchungsradius  $\epsilon$ ) für jeden Punkt untersucht.

**[0025]** Bei einigen Ausführungsformen verwendet Schritt **302** den Abstand des Punkts von dem LiDAR-Sensor, um einen oder mehr Clusterbildungsparameter zu modifizieren. Zum Beispiel werden bei einigen Ausführungsformen, wenn festgestellt wird, dass sich der analysierte Punkt in einem kurzen Abstand von dem LiDAR-Sensor befindet, die Clusterbildungsparameter in der Erwartung relativ nah beabstandeter Punkte auf ein erstes Set von Werten eingestellt. Wenn festgestellt wird, dass sich der analysierte Punkt in einem größeren Abstand von dem LiDAR-Sensor befindet, werden die Clusterbildungsparameter in der Erwartung relativ weit beabstandeter Punkte auf ein zweites Set von Werten eingestellt. Zum Beispiel kann der Untersuchungsradius  $\epsilon$  für Punkte, die weiter von dem LiDAR-Sensor entfernt sind, erhöht werden. Wie unter Bezugnahme auf **Fig. 4a** ausführlicher erläutert, wird bei einigen Ausführungsformen während der Untersuchung bei Schritt **302** ein Minimalpunktschwellenwert verwendet, um festzustellen, ob ein Punkt ein Kernpunkt ist, und der Minimalpunktschwellenwert kann basierend auf dem Abstand des Punkts von dem LiDAR-Sensor modifiziert werden.

**[0026]** Bei einigen Ausführungsformen modifiziert Schritt **302** einen oder mehr anpassbare Clusterbildungsparameter als Reaktion darauf, dass eine erste Analyse unzureichende Dichteinformationen liefert (wie unter Bezugnahme auf Schritt **304** beschrieben). Wenn zum Beispiel die Anzahl von in einer ersten Untersuchung gefundenen Nachbarn - basierend auf einem ersten Untersuchungsradius  $\epsilon$  - nicht ausreicht ist, um eine aussagekräftige Dichteermittlung durchzuführen, kann unter Verwendung eines zweiten, größeren Untersuchungsradius'  $\epsilon$  eine zweite Untersuchung des Punkts durchgeführt werden. Basierend auf dem größeren Untersuchungsradius können zusätzliche benachbarte Punkte detektiert und verwendet werden, um die zu dem analysierten Punkt gehörenden Dichteinformationen zu bestimmen. Bei einigen Ausführungsformen wird der größere Untersuchungsradius  $\epsilon$  dem Punkt zugeordnet und während nachfolgender Clusterbildungsschritte verwendet.

**[0027]** Bei Schritt **304** wird in Bezug auf jeden der mehreren Punkte eine Dichte berechnet. Bei einigen Ausführungsformen wird das Dichtenniveau des Punkts basierend auf der Anzahl von mit dem Untersuchungsradius  $\epsilon$  für den analysierten Punkt gefundenen Punkten bestimmt. Bei einigen Ausführungsformen wird die Auswahl von einem oder mehr anpassbaren Clusterbildungsparametern bei Schritt **302** auch verwendet, um genauere Dichteberechnungen zu liefern. Zum Beispiel basiert bei einigen Ausführungsformen die Dichte von Punkten um einen Punkt nicht nur auf dem den LiDAR-Laser reflektierenden Objekt, sondern auch auf dem

Abstand des Objekts von dem LiDAR-Sensor. Zum Beispiel können massive Objekte eine Anzahl von dicht beabstandeten Punkten liefern, aber andere Objekte (z.B. Blätter) können zu Punkten, die weniger beanstandet sind, führen. Zusätzlich kann, weil der Abstand zwischen benachbarten LiDAR-Pulsen weiter von dem LiDAR-Sensor anwächst, der Abstand zwischen nebeneinander befindlichen Punkten bei größeren Abständen ebenfalls anwachsen. Eine Modifikation von einem oder mehr Clusterbildungsparametern bei Schritt **302** stellt sicher, dass man bei Schritt **304** für jeden Punkt unter Beibehaltung einer guten Leistungsfähigkeit aussagekräftige Dichteinformationen erhält.

**[0028]** Bei Schritt **306** werden die bei Schritt **302** gemachten Dichtebestimmungen verwendet, um die mehreren Punkte zu sortieren. Zum Beispiel werden die Punkte bei einigen Ausführungsformen von am dichtesten zu am wenigsten dicht sortiert. Die Ausgabe von Schritt **306** besteht deshalb in einer geordneten (sortierten) Liste von Punkten, wobei jeder Punkt die Parameter, die während des Untersuchungsschritts (Schritt **302**) verwendet wurden, um den Punkt zu analysieren, enthält. Dies kann den Untersuchungsradius  $\epsilon$  und den Minimum-Punktschwellenwert (MinPt), die verwendet wurden, um den Punkt zu analysieren, beinhalten.

**[0029]** Bei Schritt **308** werden die mehreren Punkte in der Punktwolke einer nach dem anderen durchlaufen und basierend auf in Schritt **302** gewählten, anpassbaren Clusterbildungsparametern, die verwendet werden, um die Nähe der Punkte zueinander zu bewerten, in Clustern platziert. Bei einigen Ausführungsformen basiert die Reihenfolge, in der Punkte durchlaufen werden, auf der bei Schritt **306** vorgenommenen Sortierung der Punkte. Zum Beispiel wird bei einigen Ausführungsformen der Punkt mit der höchsten Dichte zuerst analysiert, wobei das Bilden der Cluster das Prüfen der Nachbarn des ausgewählten Punkts und das Feststellen, ob benachbarte Punkte demselben Cluster hinzugefügt werden sollten, beinhaltet. Dieser Prozess geht weiter, bis alle Punkte einem oder mehr erzeugten Clustern hinzugefügt oder als Störpunkte identifiziert wurden. Wie unten unter Bezugnahme auf **Fig. 4b** ausführlicher beschrieben, beinhaltet der Clusterbildungsprozess das Klassifizieren von Punkten als Kernpunkte, Randpunkte oder Störpunkte basierend auf einer Feststellung, ob der Punkt eine Minimalzahl von Punkten innerhalb eines gegebenen Untersuchungsradius aufweist. Wie unter Bezugnahme auf Schritt **302** beschrieben, wird der Minimalpunktschwellenwert bei einigen Ausführungsformen basierend auf dem Abstand des Punkts von dem LiDAR-Sensor modifiziert. Daher können verschiedene Punkte verschiedene Parameter (z.B. MinPt, Untersuchungsradius) verwenden, um festzustellen, ob ein Punkt einem Cluster hinzugefügt werden sollte. Daher hat die Reihenfolge, mit der Punkte gruppiert werden, eine Auswirkung auf die finalen Cluster-Ergebnisse. Im Gegensatz dazu gäbe es, wenn dieselben Parameter für sämtliche Punkte verwendet würden, beim Feststellen, ob ein Punkt einem bestimmten Cluster hinzugefügt wird, Bi-Direktionalität (das heißt, die Reihenfolge, in der die Punkte zur Clusterbildung analysiert würden, hätte keine Auswirkung auf zugehörige Cluster). Daher werden die Punkte bei der in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsform basierend auf der ermittelten Dichte sortiert und verwendet, um die Reihenfolge, in der die Punkte gruppiert werden, zu bestimmen.

**[0030]** Zusätzlich wird bei Schritt **308** bei einigen Ausführungsformen der Unterschied der Azimut-/Höhenwinkel zwischen nebeneinander befindlichen Punkten - wobei die Azimut-/Höhenwinkel auf dem Winkel zwischen dem LiDAR-Sensor und dem Punkt basieren - verwendet, um die Clusterbildung zu modifizieren. Zum Beispiel kann ein Punkt, der basierend auf dem Clusterbildungsalgorithmus so eingestuft wurde, dass er keinen Kernpunkt darstellt, nichtsdestotrotz für Clusterbildungszwecke als Kernpunkt identifiziert werden, wenn die Differenz der Azimut-/Höhenwinkel zwischen dem Punkt und einem daneben befindlichen Punkt geringer als ein Schwellenwert ist - was anzeigt, dass die Punkte Nachbarn darstellen und zusammen gruppiert werden sollten. Dieser Prozess wird auch unter Bezugnahme auf **Fig. 4b** und **Fig. 6** unten ausführlicher beschrieben.

**[0031]** Die Ausgabe der adaptiven Untersuchung/des LiDAR-basierten Clusterbildungsalgorithmus' 300 sind mehrere Cluster, denen jeweils mehrere Punkte zugeordnet sind. Wie oben unter Bezugnahme auf **Fig. 2b** beschrieben, werden die mehreren Cluster einem Objektklassifizierungsmodul zugeführt, um Objekte zu erkennen/klassifizieren.

**[0032]** Die **Fig. 4a** und **Fig. 4b** sind Flussdiagramme, die die adaptive Untersuchung für einen LiDAR-basierten Clusterbildungsalgorithmus **400** gemäß einigen Ausführungsformen veranschaulichen. Insbesondere veranschaulicht **Fig. 4a** eine Untersuchungsphase des Algorithmus' **400**, und **Fig. 4b** veranschaulicht eine Clusterbildungsphase des Algorithmus' **400**. Die dem LiDAR-basierten Clusterbildungsalgorithmus **400** zugeführte Eingabe ist eine Punktwolke, die aus mehreren Punkten besteht. Jeder Punkt ist durch eine Stelle im Raum relativ zu der LiDAR-Lichtquelle **201** und dem Detektor **202** gekennzeichnet. Wie in den **Fig. 4a** und **Fig. 4b** gezeigt, sind einige der Schritte in dem Flussdiagramm mit gestrichelten Kästen gekennzeichnet, was anzeigt, dass der Schritt optional als Teil der adaptiven Untersuchung und des Algorithmus' zur Clusterbildung enthalten sein kann.

**[0033]** Bei Schritt **402** werden ein oder mehr Parameter initialisiert, einschließlich zum Beispiel eines Minimalpunktschwellenwerts  $\text{minPt}$  und Untersuchungsradius'  $\epsilon$ . Bei einigen Ausführungsformen sind die Anfangsparameter vorgegeben und werden immer auf einen bestimmten Wert initialisiert. Bei anderen Ausführungsformen können die Parameter auf irgendeine Eingabe hin initialisiert werden. Zum Beispiel können externe Bedingungen (z.B. Regen, Schnee, Tageszeit, Lichtmenge, etc.) als Eingabe verwendet werden, um den Wert des einen oder der mehr Parameter festzulegen. Bei einigen Ausführungsformen stellt das Initialisieren des Untersuchungsradius'  $\epsilon$  auf einen relativ kleinen Wert die lokale Dichte um den untersuchten Punkt genauer dar. Außerdem verringert ein kleinerer Untersuchungsradius  $\epsilon$  die Zeit, die erforderlich ist, um die Untersuchung zu vervollständigen, da weniger Punkte als potentiell innerhalb des Untersuchungsradius'  $\epsilon$  befindlich analysiert werden müssen.

**[0034]** Bei Schritt **404** wird ein zuvor nicht definierter Punkt aus der Punktwolke ausgewählt. Bei einigen Ausführungsformen ist die Reihenfolge, in der die Punkte während der Untersuchungsphase des Algorithmus' ausgewählt und analysiert werden, nicht wichtig. Während der Untersuchungsphase wird jeder Punkt analysiert und die Reihenfolge, in der die Punkte geprüft und analysiert werden, wirkt sich nicht auf das Ergebnis der Untersuchungsphase aus.

**[0035]** Bei einigen Ausführungsformen wird in Schritt **406** der Abstand zu dem analysierten Punkt verwendet, um einen oder mehr Parameter selektiv zu modifizieren. Bei einigen Ausführungsformen enthalten die modifizierten Parameter einen oder mehr von dem Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$  und dem Untersuchungsradius  $\epsilon$ . Der Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$  und Untersuchungsradius  $\epsilon$  werden verwendet, um festzustellen, ob ein Punkt als Kernpunkt, als Nachbarpunkt oder als Störpunkt klassifiziert werden sollte. Der Untersuchungsradius  $\epsilon$  bestimmt das Gebiet, das nach benachbarten Punkten untersucht wird. Um als Kernpunkt klassifiziert zu werden, muss der analysierte Punkt eine Anzahl von Nachbarn, die sich innerhalb des Untersuchungsradius'  $\epsilon$ , der größer als der Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$  ist, befinden, besitzen. Allerdings wirkt sich der Abstand zu einem Objekt auf die Auflösung des Objekts auf. Das heißt, wenn sich Lichtpulse von dem LiDAR-Sensor ausbreiten, erhöht sich der Abstand zwischen jeweils benachbarten Lichtpulsen (von denen jeder einen geringfügig anderen Einfallswinkel aufweist). Infolgedessen kann es sein, dass Reflexionen, die weiter von dem LiDAR-Sensor auftreten, einfach als Funktion der LiDAR-Auflösung bei diesem Abstand weniger dicht beabstandet sind. Bei einigen Ausführungsformen wird der Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$ , um die aus den Abstandsunterschieden zu jedem Punkt resultierende Änderung der Punktdichte abzuschwächen, basierend auf dem Abstand zu dem analysierten Punkt modifiziert. Bei einigen Ausführungsformen wird der Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$  für Punkte, die sich nahe an dem LiDAR-Sensor befinden, erhöht und für Punkte, die weiter von dem LiDAR-Sensor entfernt sind, verringert. Zum Beispiel wird bei einer Ausführungsform für jeden Punkt  $p_i$ , der sich innerhalb eines ersten (nahen) Bereichs befindet, der Minimalpunktschwellenwert auf einem ersten konstanten Wert  $\text{minPt}_{\text{close}}$  eingestellt, für jeden Punkt  $p_i$ , der sich innerhalb eines zweiten (entfernten) Bereichs befindet, wird der Minimalpunktschwellenwert auf einen zweiten Wert  $\text{minPt}_{\text{far}}$  eingestellt, und für jeden Punkt, der sich zwischen dem ersten Bereich und dem zweiten Bereich befindet, wird der Minimalpunktschwellenwert auf einen Wert, der basierend auf dem Abstand zu dem Punkt variiert, eingestellt. Dieser Zusammenhang kann mathematisch wie folgt ausgedrückt werden:

$$\text{MinPts}_i = \begin{cases} \text{MinPts}_{\text{close}} & \text{if } \text{dist}(p_i, \text{sensor}) < \text{range}_{\text{close}} \\ \left[ \frac{\text{MinPts}_{\text{close}} - \text{MinPts}_{\text{far}}}{\text{range}_{\text{far}} - \text{range}_{\text{close}}} * (\text{dist}(p_i, \text{sensor}) - \text{range}_{\text{close}}) \right] & \\ \text{MinPts}_{\text{far}} & \text{if } \text{distance}(p_i, \text{sensor}) < \text{range}_{\text{far}} \end{cases} \quad \text{Gl. (1)}$$

wobei  $\text{dist}(p_i, \text{sensor})$  den Abstand zu dem Punkt  $p_i$  darstellt und  $\text{range}_{\text{close}}$  einen Schwellenwert für den minimalen Abstand zu dem Punkt darstellt,  $\text{MinPts}_{\text{close}}$  der Minimalpunktschwellenwert ist, wenn der Abstand zu dem Punkt geringer als der Abstand  $\text{range}_{\text{close}}$  ist,  $\text{range}_{\text{far}}$  einen Schwellenwert für den maximalen Abstand zu dem Punkt darstellt und  $\text{MinPts}_{\text{far}}$  der Minimalpunktschwellenwert ist, wenn der Abstand zu dem Punkt größer als der Abstand  $\text{range}_{\text{far}}$  ist. Bei anderen Ausführungsformen variiert der Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$  basierend auf dem Abstand zu dem Punkt kontinuierlich.

**[0036]** Bei einigen Ausführungsformen kann der Untersuchungsradius  $\epsilon$ , entweder allein oder in Kombination mit Modifikationen des minimalen Schwellenwerts der Punkte  $\text{minPt}$ , modifiziert werden. Bei einigen Ausführungsformen kann der Untersuchungsradius, wie bei Schritt **413** beschrieben, modifiziert werden, um den Untersuchungsradius  $\epsilon$  selektiv zu vergrößern, wenn eine erste Iteration keine ausreichende Anzahl von Punkten ergibt. Jedoch kann der Untersuchungsradiusparameter  $\epsilon$  bei einigen Ausführungsformen auch bei Schritt

**406** basierend auf einem oder mehr Faktoren modifiziert werden. Zum Beispiel kann der anfängliche Untersuchungsradius  $\epsilon_{1st,i}$  zumindest teilweise basierend auf dem Abstand des Punkts zu dem LiDAR-Sensor und/oder basierend auf der Auflösung des LiDAR-Sensors modifiziert werden. Zum Beispiel kann die Auswahl des anfänglichen Untersuchungsradiusparameters  $\epsilon_{1st,i}$  mathematisch wie folgt ausgedrückt werden:

$$\epsilon_{1st,i} = \begin{cases} \epsilon_{min} & \text{if } \epsilon_{min} > k_{\epsilon} * range(p_i) * resol \\ k_{\epsilon} * range(p_i) * resol & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{Gl. (2)}$$

wobei  $k_{\epsilon}$  der konstante Untersuchungsfaktor („constant gain of searching“) ist und  $resol$  die LiDAR-Auflösung, ausgedrückt in Radian, ist,  $range(p_i)$  der Abstand zu dem untersuchten Punkt ist und  $\epsilon_{1st,i}$  ist der bei der ersten Iteration verwendete Untersuchungsradius oder der erste Untersuchungsradius. Bei dieser Ausführungsform wird ein minimaler Untersuchungsradius  $\epsilon_{min}$  verwendet, wenn der Ausdruck  $k_{\epsilon} * range(p_i) * resol$  geringer als ein minimaler Radius  $\epsilon_{min}$  ist. Wie gezeigt, hängt der Untersuchungsradius  $\epsilon_{1st,i}$  direkt mit dem Abstand des Punkts von dem LiDAR-Sensor ( $range(p_i)$ ) und mit der Auflösung des LiDAR-Systems ( $resol$ ) zusammen. Wenn sich zum Beispiel der Abstand des Punkts von dem LiDAR-Sensor ( $range(p_i)$ ) erhöht, erhöht sich der Untersuchungsradius  $\epsilon_{1st,i}$ . Gleichermaßen erhöht sich der Untersuchungsradius  $\epsilon_{1st,i}$ , wenn sich die Auflösung des LiDAR-Sensors ( $resol$ ) erhöht. Auf diese Weise werden bei einigen Ausführungsformen ein oder mehr Parameter (z.B. Minimalpunktschwellenwert  $minPt$ , Untersuchungsradius  $\epsilon$ ) bei Schritt **406** basierend auf dem Abstand des Punkts von dem LiDAR-Sensor modifiziert.

**[0037]** Bei Schritt **408** wird die Nachbarschaft von Punkten innerhalb des Radius'  $\epsilon$  (bei der ersten Iteration, Untersuchungsradius  $\epsilon_{1st,i}$ ) gesammelt. Bei Schritt **410** wird basierend auf einem Vergleich der Anzahl von Punkten, die sich innerhalb des Radius'  $\epsilon$  befinden, mit dem ausgewählten Minimalpunktschwellenwert  $minPt$  eine Feststellung getroffen, ob der Punkt einen Kernpunkt darstellt. Wenn die Anzahl von Punkten, die sich innerhalb des Radius'  $\epsilon$  von dem Punkt befinden, größer als der Minimalpunktschwellenwert  $minPt$  ist, dann wird festgelegt, dass der Punkt ein Kernpunkt ist und der Prozess geht weiter zu Schritt **414**. Wenn die Anzahl von Punkten, die sich innerhalb des Radius'  $\epsilon$  des Punkts befinden, geringer als der Minimalpunktschwellenwert ist, dann stellt der Prozess bei Schritt **412** bei einigen Ausführungsformen fest, ob dies die erste Untersuchung (z.B. die erste Iteration) oder zweite Untersuchung ist. Anstelle den Punkt lediglich als Störpunkt identifizieren und die Untersuchung mit dem letzten Punkt fortzusetzen, kann bei einigen Ausführungsformen bei den Schritten **412** und **413** der Untersuchungsradius  $\epsilon$  modifiziert (d.h. erhöht) werden, und der Punkt wird innerhalb des aktualisierten und größeren Untersuchungsradius'  $\epsilon_{2nd,i}$  wieder nach Nachbarn untersucht. Bei der in **Fig. 4a** gezeigten Ausführungsform wird der Radiusparameter  $\epsilon$  nur nach der ersten Iteration modifiziert. Das heißt, bei Schritt **412** wird eine Feststellung getroffen, ob dies die erste Iteration der Untersuchung an dem Punkt  $p_i$  oder die zweite Iteration der Untersuchung an dem Punkt  $p_i$  ist. Wenn in Schritt **410** festgestellt wird, dass die Untersuchung des Punkt  $p_i$  keinen Kernpunkt ergibt und darüber hinaus das Ergebnis einer zweiten Iteration der Untersuchung des Punkts  $p_i$  ist, dann wird in Bezug auf den Punkt  $p_i$  keine weitere zusätzliche Untersuchung durchgeführt und der Prozess geht weiter zu Schritt **414**. Wenn umgekehrt bei Schritt **410** festgestellt wird, dass die Untersuchung des Punkts  $p_i$  keinen Kernpunkt ergibt und weiterhin das Ergebnis einer ersten Iterationsuntersuchung des Punkts  $p_i$  ist, dann wird der Untersuchungsradiusparameter  $\epsilon$  bei Schritt **413** modifiziert (d.h. erhöht) und eine zweite Prüfung des Punkts  $p_i$  wird basierend auf dem größeren Untersuchungsradius durchgeführt (und vermutlich werden basierend auf dem modifizierten Untersuchungsradius zusätzliche Punkte aufgespürt).

**[0038]** Bei einigen Ausführungsformen ermöglicht es das Modifizieren/Erhöhen des anfänglichen Untersuchungsradius'  $\epsilon_{1st,i}$  nach einer anfänglichen Feststellung, dass sein Punkt kein Kernpunkt ist (d.h., sich zu wenig Nachbarn innerhalb des Untersuchungsradius' befinden), dem Algorithmus, nützliche Dichteinformationen in Bezug auf Gebiete geringer Dichte zu gewinnen. Dies kann Gebiete einschließen, die sich weiter von dem LiDAR-Sensor entfernt befinden und/oder zu Objekten gehören, die keine große Anzahl reflektierter Punkte oder Oberflächen bieten. Daher besteht, wenn ein minimaler Schwellenwert von Punkten, der ausreicht, um den Punkt als Kernpunkt zu klassifizieren, bereits gesammelt wurde, kein Erfordernis, den Untersuchungsradius zu erhöhen und zusätzliche Informationen betreffend die Nachbarn der Punkte zu sammeln. In gleicher Weise muss, wenn nach dem Erhöhen des Untersuchungsradius' eine nachfolgende Untersuchung des Punkts keine nützlichen Dichteinformationen liefert, der Untersuchungsradius  $\epsilon_{2nd,i}$  nicht erneut erhöht werden, um zu verhindern, dass der Untersuchungsradius so groß wird, dass er in Bezug auf benachbarte Punkte Bedeutung verliert.

**[0039]** Bei einigen Ausführungsformen wird der Untersuchungsradius  $\epsilon_{1st,i}$  bei Schritt **413** um einen vorgegebenen Betrag modifiziert. Bei anderen Ausführungsformen wird der anfängliche Untersuchungsradius  $\epsilon_{1st,i}$  bei



Schritt **413** basierend auf der Anzahl der während der ersten Iteration lokalisierten Punkte modifiziert. Wenn zum Beispiel bei einigen Ausführungsformen in Bezug auf den analysierten Punkt keine benachbarten Punkte gefunden wurden, dann wird der Untersuchungsradius  $\varepsilon_{1st,i}$  auf einen maximalen Radius (z.B.  $k_\varepsilon * \varepsilon_{1st,i}$ ) erhöht. Anderenfalls wird bei einigen Ausführungsformen der Untersuchungsradius  $\varepsilon_{1st,i}$  um einen Betrag, der auf die Anzahl während der ersten Iteration lokalisierten benachbarten Punkte bezogen ist, erhöht. Zum Beispiel ist die Erhöhung des Untersuchungsradius' bei einigen Ausführungsformen durch die folgenden Gleichungen definiert:

$$\varepsilon_{2nd,i} = \begin{cases} \varepsilon_{1st,i} & \text{if } num_{\varepsilon-ngbh} > MinPts_i \rightarrow \text{Search is done} \\ k_\varepsilon * \varepsilon_{1st,i} & \text{if } num_{\varepsilon-ngbh} = 1 \\ \sqrt{\frac{MinPts_i}{num_{\varepsilon-ngbh}}} * \varepsilon_{1st,i} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{Gl. 3}$$

wobei  $\varepsilon_{2nd,i}$  der bei der zweiten Iteration für den Punkt  $i$  verwendete Untersuchungsradius ist,  $num_{\varepsilon-ngbh}$  die Anzahl von während der ersten Untersuchung gefundenen Punkte ist und  $\varepsilon_{1st,i}$  der bei der ersten Iteration verwendete Untersuchungsradius ist. Wenn bei dieser Ausführungsform ein einziger Punkt, der er selbst ist, gefunden wird (d.h. wenn  $num_{\varepsilon-ngbh} = 1$ ), dann wird ein maximaler Untersuchungsradius gewählt, der gleich  $k_\varepsilon * \varepsilon_{1st,i}$  ist, anderenfalls wird der Untersuchungsradius unter Verwendung des Untersuchungsradius'  $\varepsilon_{1st,i}$  der ersten Iteration auf einen Wert, der auf die Anzahl detektierter Punkte  $num_{\varepsilon-ngbh}$  bezogen ist, eingestellt. Je größer die Anzahl benachbarter Punkte, die unter Verwendung des Untersuchungsradius'  $\varepsilon_{1st,i}$  detektiert werden, desto geringer ist die Erhöhung des Untersuchungsradius'  $\varepsilon_{2nd,i}$  der zweiten Iteration, wie durch die Gleichung

angabe angegeben wird.

**[0040]** Bei Schritt **408** werden die benachbarten Punkte basierend auf dem modifizierten Untersuchungsradius  $\varepsilon_{2nd,i}$  aufgespürt, und bei Schritt **410** wird der Punkt erneut analysiert, um festzustellen, ob er als Kernpunkt angesehen werden sollte. Bei einigen Ausführungsformen geht der Prozess nach der zweiten Iteration unabhängig davon, ob festgestellt wurde, dass der Punkt ein Kernpunkt oder ein Störpunkt ist, weiter zu Schritt **414**.

**[0041]** Bei Schritt **414** wird die Dichte des Punkts  $p_i$  basierend auf dem Untersuchungsradius und der Anzahl der innerhalb des Untersuchungsradius' befindlichen benachbarten Punkte bestimmt. Wie oben erörtert, wird das Dichteniveau, weil der Untersuchungsradius während des Untersuchungsprozesses modifiziert werden kann, unter Verwendung des Untersuchungsradius', der verwendet wird, um die zu dem Punkt  $p_i$  gehörenden benachbarten Punkte zurückzugeben, bestimmt. Bei einigen Ausführungsformen wird die Dichte berechnet, indem die Anzahl benachbarter Punkte durch das Quadrat des Untersuchungsradius' (d.h.  $\varepsilon^2$ ) dividiert wird. Bei einigen Ausführungsformen wird  $\varepsilon^2$  anstelle von  $\varepsilon^3$  verwendet, weil die Oberfläche, die das Licht reflektiert, nicht zulässt, dass Licht von hinter der Oberfläche reflektiert wird. Bei Schritt **416** wird eine Feststellung getroffen, ob alle Punkte untersucht wurden oder ob zusätzliche Punkte untersucht oder klassifiziert werden müssen. Wenn zusätzliche Punkte untersucht und klassifiziert werden müssen, dann geht der Prozess bei Schritt **404** mit der Auswahl eines neuen, zuvor nicht klassifizierten Punkts weiter. Wenn keine zusätzlichen Punkte untersucht und klassifiziert werden müssen, dann ist der Untersuchungsprozess abgeschlossen. Bei einigen Ausführungsformen werden die mehreren Punkte vor dem Initiieren des (in **Fig. 4b** gezeigten) Clusterbildungsprozesses bei Schritt **416** basierend auf der Dichte sortiert. Bei einigen Ausführungsformen kommt es, weil der Radius, der verwendet wird, um nach Nachbarn zu untersuchen, für jeden Punkt variabel ist, auf die Reihenfolge, in der die Punkte gruppiert werden, an. Es wird Bezug genommen auf **Fig. 5**, die zeigt, wie variable Untersuchungsradien, die bei den Schritten **406** und/oder **413** eingeführt werden, die Clusterbildungsphase beeinflussen. Bei dem in **Fig. 5** gezeigten Beispiel ist Punkt **500** (mit „x“ bezeichnet) als Kernpunkt gekennzeichnet und alle Punkte, die sich innerhalb eines Untersuchungsradius' **510** befinden, sind als benachbarte Punkte gekennzeichnet. Gleichermaßen sind Punkte **502** (mit „z“ bezeichnet) und **504** (mit „y“ bezeichnet) als Kernpunkte gekennzeichnet, und Punkte, die sich innerhalb eines Untersuchungsradius' **512** bzw. **514** befinden, sind als benachbarte Punkte eingeschlossen. Bei diesem Beispiel befindet sich Punkt **506** (mit „n“ bezeichnet) außerhalb des Untersuchungsradius' **514** und ist deshalb nicht als Nachbar von Punkt **504** enthalten. Allerdings führt die Untersuchung von Punkt **506** zu einer Zuordnung eines Untersuchungsradius' **516**, der größer als die Untersuchungsradien **510**, **512** und **514** ist. Infolgedessen wird Punkt **504** als Nachbar von Punkt **506** identifiziert. Das Beispiel veranschaulicht, wie die Modifikation des Untersuchungsradiuspara-

mers  $\epsilon$  bedeutet, dass der bidirektionale Zusammenhang zwischen Punkten (z.B. Klassifikation eines zweiten Punkts als Nachbar eines ersten Punkts bedeutet, dass der erste Punkt auch als Nachbar des zweiten Punkts klassifiziert werden kann) nicht länger gilt. Infolgedessen bestimmt die Reihenfolge, in der die Punkte gruppiert werden, ob die Punkte in einem Cluster enthalten sind oder nicht. Zum Beispiel würde es, wenn bei der in **Fig. 5** gezeigten Ausführungsform der Punkt **506** zuerst gruppiert wurde, dazu führen, dass der Punkt **506** einem Cluster, das den Punkt **504** enthält, zugeordnet wird. Allerdings würde es, wenn Punkt **504** zuerst gruppiert würde, dazu führen, dass der Punkt **504** einem Cluster, das die Punkte **500** und **502**, aber nicht den Punkt **506** enthält, zugeordnet wird. Bei einigen Ausführungsformen sollten Punkte in Gebieten hoher Dichte gruppiert werden, bevor Punkte in Gebieten geringer Dichte gruppiert werden. Allerdings kann es bei anderen Ausführungsformen wünschenswert sein, Punkte in der entgegengesetzten Reihenfolge - von Gebieten geringer Dichte zu Gebieten hoher Dichte - zu gruppieren. Infolgedessen kann es bei einigen Ausführungsformen wichtig sein, dass die Dichte eines jeden Punkts bekannt ist und sortiert wird, um zu ermöglichen, dass Punkte in Gebieten höherer Dichte zuerst gruppiert werden.

**[0042]** **Fig. 4b** veranschaulicht die Clusterbildung der mehreren Punkte gemäß einigen Ausführungsformen. Bei einigen Ausführungsformen enthält die dem Schritt zur Clusterbildung zugeführte Eingabe mehrere Punkte, die - basierend auf der Dichte geordnet - und einem Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$  und/oder Untersuchungsradius  $\epsilon$ , wie während der zweiten Untersuchungsphase festgelegt, zugeordnet sind. Bei der Beschreibung des Schritts zur Clusterbildung wird durchgängig Bezug genommen auf **Fig. 6**, die zumindest einen Teils des Schritts zur Clusterbildung gemäß einigen Ausführungsformen veranschaulicht.

**[0043]** Bei Schritt **422** wird ein zuvor nicht gruppierter Punkt  $P$  ausgewählt. Zusätzlich wird bei einigen Ausführungsformen das Sortieren der bei Schritt **418** bereitgestellten Punkte (in **Fig. 4a** gezeigt) verwendet, um den nächsten zu gruppierenden Punkt auszuwählen, wobei der nächste Punkt den Punkt höchster Dichte, der nicht gruppiert bleibt, darstellt.

**[0044]** Bei Schritt **424** wird basierend auf dem Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$  eine Feststellung getroffen, ob der ausgewählte Punkt  $P$  ein Kernpunkt ist. Das heißt, die Anzahl von Nachbarn, die dem Punkt  $P$  zugeordnet ist, wird mit dem Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$  verglichen, wobei der Punkt, wenn die Anzahl von benachbarten Punkten größer als ein Schwellenwert ist, als Kernpunkt identifiziert wird, und der Prozess geht bei Schritt **428** weiter. Bei einigen Ausführungsformen werden die Parameter, die verwendet werden, um Punkte als Kernpunkte oder Störpunkt zu identifizieren (z.B. Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$ , Untersuchungsradius  $\epsilon$ ) durch die Untersuchungsphase für jeden Punkt, wie oben in Bezug auf **Fig. 4a** beschrieben, bereitgestellt. Das heißt, bei einigen Ausführungsformen kann jeder Punkt ein anderes Set von Parametern (z.B. Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$  und/oder Untersuchungsradius  $\epsilon$ ) verwenden. Wenn die Anzahl benachbarter Punkte geringer als der Minimalpunktschwellenwert  $\text{minPt}$  ist, dann wird der Punkt bei Schritt **426** als Störung identifiziert und der Prozess geht bei Schritt **422** mit der Auswahl eines neuen, zuvor nicht gruppierten Punkts  $P$  weiter.

**[0045]** Bei Schritt **428** wird basierend auf der Identifizierung eines Kernpunkts bei Schritt **424** ein neues Cluster erzeugt und einer Cluster-ID  $ID$  zugeordnet, und eine neue Liste von Nachbarn wird erzeugt. Bei Schritt **430** werden der Liste von Nachbarn Nachbarn des ausgewählten Kernpunkts hinzugefügt. Bei einigen Ausführungsformen enthalten Nachbarn jene Punkte, die sich innerhalb des Untersuchungsradius'  $\epsilon$  des Eingangspunkts befinden. Bei Schritt **432** wird der ausgewählte Kernpunkt der Cluster-ID  $ID$  zugeordnet. Nachfolgende Schritte stellen fest, wie viele zusätzliche Punkte der Cluster-ID  $ID$  hinzugefügt werden sollten. Unter Bezugnahme auf **Fig. 6** wird die Clusterbildung von mehreren Punkten in Schritten **600**, **602** und **604** veranschaulicht. Wenn unter der Annahme, dass Punkt **606** (mit „X“ bezeichnet), der bei Schritt **422** ausgewählte und bei Schritt **424** als Kernpunkt identifizierte Punkt ist, dann werden bei Schritt **430** alle Nachbarn von Punkt **606** (d.h., alle Punkte innerhalb des Untersuchungsradius' **608**) der Liste von Nachbarn hinzugefügt, einschließlich Punkt **610** (mit 'Y' bezeichnet).

**[0046]** Bei Schritt **434** wird jeder in der Nachbarschaft enthaltene Punkt geprüft, um festzustellen, ob der Punkt bereits einem anderen Cluster zugeordnet wurde. Für jene schon einem Cluster zugeordneten Punkte können sie nicht der gegenwärtigen Cluster-ID  $ID$  zugeordnet werden. Das heißt, der Status benachbarter, bereits einem Cluster zugeordneter Punkte bleibt unverändert und es erfolgt keine weitere Aktion in Bezug auf den bereits einem Cluster zugeordneten, benachbarten Punkt. Wenn der benachbarte Punkt keinem anderen Cluster zugeordnet ist, dann wird bei Schritt **436** eine Feststellung getroffen, ob der benachbarte Punkt ein Kernpunkt ist (z.B., wenn die Anzahl benachbarter Punkte größer als der minimale Schwellenwert ( $\text{minPt}$ ) ist). Wenn der Punkt kein Kernpunkt ist, dann wird der Punkt bei Schritt **438** als Randpunkt identifiziert und bei Schritt **432** wird er der Cluster-ID  $ID$  zugeordnet. Das heißt, Punkte, die als Randpunkte identifiziert werden, werden in

das Cluster einbezogen, werden aber - zumindest typischerweise - nicht weiter analysiert, um benachbarte Punkte zu identifizieren. Bei einigen Ausführungsformen werden jedoch Punkte, die bei Schritt **436** als Randpunkte (d.h. nicht als Kernpunkte) identifiziert wurden, weiter analysiert, um festzustellen, ob irgendwelche neben dem Randpunkt befindliche Punkte durch einen relativ geringen (d.h. geringer als ein Schwellenwert) Azimut-Höhenwinkel relativ zu dem LiDAR-Sensor voneinander getrennt sind. Für Punkte, die dem Azimut-/Höhenwinkeltest genügen, werden die Punkte bei den Schritten **448** und **450** (unten ausführlicher erläutert) geprüft, um zu bestimmen, wie sie klassifiziert werden sollten. Der Prozess geht dann bei Schritt **434** mit der Auswahl eines anderen zu analysierenden Nachbarpunkts von der Liste von Nachbarn weiter. Unter Bezugnahme auf Schritt **602** bei dem in **Fig. 6** gezeigten Beispiel wird der benachbarte Punkt **610** („Y“) als Kernpunkt identifiziert, weil er innerhalb des Untersuchungsradius'  $\epsilon$  eine Anzahl von Nachbarn größer oder gleich dem Minimalpunktschwellenwert MinPt (bei diesem Beispiel z.B. vier) enthält.

**[0047]** Wenn bei Schritt **436** festgestellt wird, dass der Nachbarpunkt ein Kernpunkt ist, dann wird jeder Nachbar des identifizierten Kernpunkts analysiert. Ein als Kernpunkt ermittelter Nachbarpunkt wird bei Schritt **432** der Cluster-ID ID zugeordnet und benachbarte Punkte des Kernpunkts werden der Liste von Nachbarn hinzugefügt (nicht ausdrücklich als Schritt gezeigt, aber benachbarte Punkte des identifizierten Kernpunkts werden analysiert). Der Klarheit halber wird hierin der Nachbarpunkt, der bei Schritt **436** als Kernpunkt identifiziert wurde, als Eingangspunkt bezeichnet, weil dieser Punkt als Eingang für die bei den Schritten **440-446** durchgeführte Analyse wirkt. Bei Schritt **440** wird für jeden Nachbarpunkt des Eingangspunkts eine Feststellung getroffen, ob der Nachbarpunkt bereits zu einem anderen Cluster gehört. Wenn der Nachbarpunkt bereits zu einem anderen Cluster gehört, kann der Nachbarpunkt nicht der gegenwärtigen Cluster-ID ID hinzugefügt werden, und der Prozess geht bei Schritt **440** mit dem nächsten Nachbarpunkt weiter. Wenn bei Schritt **440** festgestellt wird, dass der Nachbarpunkt nicht zu einem anderen Cluster gehört, dann wird bei Schritt **442** eine Feststellung getroffen, ob der Nachbarpunkt ein Kernpunkt ist. Wenn der Nachbarpunkt kein Kernpunkt ist, wird der Punkt bei einigen Ausführungsformen bei Schritt **438** als Randpunkt identifiziert und der Cluster-ID ID bei Schritt **432** hinzugefügt, aber es wird keiner der Nachbarn des Punkts dem Cluster hinzugefügt oder weiter analysiert. Unter Bezugnahme auf Schritt **604** in **Fig. 6** werden, weil Punkt **610** („Y“) als Kernpunkt bestimmt wurde, die Nachbarn des Eingangspunkts **610** - einschließlich Punkt **614** (mit „Z“ bezeichnet) bei den Schritten **440** und **442** weiter analysiert. Bei dem in **Fig. 6** gezeigten Beispiel gehört Punkt **614** („Z“) nicht zu einem anderen Cluster. Bei Schritt **442** wird festgestellt, dass der Nachbarpunkt **614** kein Kernpunkt ist, weil er nicht genügend benachbarte Punkte innerhalb des Untersuchungsradius' **616** des Punkts **614** enthält. Bei einigen Ausführungsformen würde der Nachbarpunkt **614** bei Schritt **438** als Randpunkt identifiziert und würde bei Schritt **432** dem Cluster hinzugefügt - würde aber nicht dazu führen, dass irgendeiner der Nachbarn des Randpunktes dem Cluster hinzugefügt wird. Zum Beispiel würde der Nachbarpunkt **620** (mit „W“ bezeichnet) nicht der Liste der Nachbarn hinzugefügt und würde deshalb nicht dem gegenwärtigen Cluster hinzugefügt.

**[0048]** Wenn bei Schritt **442** festgestellt wird, dass der Nachbarpunkt ein Kernpunkt ist, dann wird bei Schritt **446** jeder Nachbar des bei Schritt **442** identifizierten Kernpunkts geprüft. Wiederum wird der Klarheit halber der bei Schritt **442** als Kernpunkt identifizierte benachbarte Punkt als Eingangspunkt für Schritt **448** bezeichnet. Bei Schritt **448** wird jeder benachbarte Punkt des Eingangspunkts geprüft, um festzustellen, ob er zuvor besucht wurde. Wenn der benachbarte Punkt zuvor besucht wurde, dann wird bei Schritt **450** eine Feststellung getroffen, ob der benachbarte Punkt zuvor als Störpunkt bestimmt wurde. Wenn der benachbarte Punkt zuvor als Störpunkt bestimmt wurde, dann wird diese Bezeichnung bei Schritt **438** auf Randpunkt geändert und bei Schritt **432** wird der benachbarte Punkt der Cluster-ID ID hinzugefügt. Wenn der benachbarte Punkt zuvor besucht wurde, aber zuvor nicht als Störpunkt festgelegt wurde, dann bedeutet dies, dass der Punkt zuvor einem anderen Cluster hinzugefügt wurde und es sollte in Bezug auf diesen Punkt keine weitere Maßnahme ergriffen werden. In diesem Fall geht der Prozess bei Schritt **446** mit dem nächsten Nachbarn in der for-Schleife bei Schritt **446** weiter. Wenn der benachbarte Punkt, wie bei Schritt **448** festgelegt, zuvor nicht besucht wurde, dann wird dieser Punkt bei Schritt **452** der Liste von Nachbarn hinzugefügt und bei Schritt **432** der (bei Schritt **436** und/oder Schritt **442** als Kernpunkt identifizierte) Eingangspunkt der Cluster-ID ID zugeordnet. Dieser Prozess geht weiter, bis sämtliche Nachbarpunkte in der Liste von Nachbarn analysiert wurden.

**[0049]** Allerdings kann, wie oben in Bezug auf Schritt **436** oben erörtert, bei einigen Ausführungsformen eine Festlegung, dass ein Nachbarpunkt kein Kernpunkt ist (und deshalb ein Randpunkt ist) weiterhin eine Prüfung der Azimut-/Höhenwinkel zwischen dem Randpunkt (hierin als Eingangspunkt bezeichnet) und benachbarten Punkten des Randpunkts (als daneben befindliche Punkte bezeichnet, um von dem Ausdruck benachbarter Punkt zu unterscheiden) beinhalten. Bei Schritt **444** wird der dem Randpunkt (z.B. Eingangspunkt) zugeordnete Azimut- und/oder Höhenwinkel mit dem Azimut- und/oder Höhenwinkel von benachbarten Punkten (d.h. daneben befindlichen Punkten) verglichen. Das über die Hinzufügung von Schritt **444** gelöste Problem wird veranschaulicht in **Fig. 7**, in der mehrere Punkte **702**, **704** und **706** einem Cluster hinzugefügt wurden, aller-

dings ist Punkt **706** als Randpunkt identifiziert. Dies würde typischerweise bedeuten, dass Punkt **708** nicht demselben Cluster hinzugefügt würde. Allerdings ist bei diesem Beispiel der Abstand zwischen den Punkten **706** und **708** ein Ergebnis des Abstandes des Punkts **708** von dem LiDAR-Sensor **700** sowie des Winkels (Azimut-Winkel), den der LiDAR-Strahl mit dem Punkt einschließt. Bei dem in **Fig. 7** gezeigten Beispiel sind die Punkte **700-716** sämtlich einem Sattelschlepper, der sich auf der Seite des Verkehrsmittels befindet, zugeordnet, obwohl der Abstand zwischen nebeneinander befindlichen Punkten, wenn sich die Punkte weiter von dem LiDAR-Sensor weg bewegen und bei einem anderen Azimut-Winkel, ansteigt. Dies wird durch Prüfen der Differenz der Azimut-/Höhenwinkel zwischen dem nicht als Kernpunkt (d.h. als Randpunkt) identifizierten Punkt **706** und dem daneben befindlichen Punkt **708** behoben. Wenn die Differenz der Azimut-/Höhenwinkel geringer als ein Schwellenwert ist, dann kann der daneben befindliche Punkt **708** der Liste von Nachbarn (und daher dem Cluster) hinzugefügt werden.

**[0050]** Wenn bei der in **Fig. 4b** gezeigten Ausführungsform bei Schritt **444** der Unterschied der Azimut-/Höhenwinkel nicht geringer als ein Schwellenwert ist, zeigt dies an, dass sich die Punkte unter dem Aspekt von LiDAR-Pulsen nicht nebeneinander befinden. In diesem Fall geht der Prozess bei **438** weiter, wobei der bei Schritt **442** nicht als Kernpunkt identifizierte Nachbarpunkt als Randpunkt identifiziert und bei Schritt **432** der Cluster-ID hinzugefügt wird. Wenn im Gegensatz dazu der Unterschied der Azimut-/Höhenwinkel geringer als ein Schwellenwert ist, zeigt dies an, dass sich die Punkte wahrscheinlich nebeneinander befinden, und bei Schritt **448** wird eine Feststellung getroffen, ob der Punkt zuvor zu Zwecken der Clusterbildung besucht wurde. Wenn bei Schritt **448** festgestellt wird, dass der Punkt zuvor besucht wurde, dann wird bei Schritt **450** eine Feststellung getroffen, ob der Punkt zuvor als Störpunkt identifiziert wurde. Wenn der Punkt als Störpunkt identifiziert wird, dann wird der Punkt stattdessen bei Schritt **438** als Randpunkt identifiziert und bei Schritt **432** der Cluster-ID ID zugeordnet. Wenn umgekehrt der Punkt bei Schritt **450** nicht als Störung identifiziert wird, dann bedeutet dies, dass der Punkt zuvor einem anderen Cluster hinzugefügt wurde und es sollte in Bezug auf diesen Punkt keine weitere Maßnahme ergriffen werden. In diesem Fall geht der Prozess bei Schritt **446** mit dem nächsten Nachbarn in der for-Schleife weiter. Wenn bei Schritt **448** festgestellt wird, dass der Punkt nicht besucht wurde, dann wird der Punkt (d.h. der daneben befindliche Punkt) bei Schritt **452** der Liste der Nachbarn hinzugefügt und bei Schritt **432** der Cluster-ID ID zugeordnet.

**[0051]** Unter Bezugnahme auf **Fig. 6** ist der (mit „Z“ bezeichnete) Punkt **614** der bei Schritt **442** analysierte Nachbarpunkt. Bei diesem Beispiel ist der Nachbarpunkt **614** kein Kernpunkt, weshalb der Nachbarpunkt **614** bei Schritt **438** bei einigen Ausführungsformen als Randpunkt identifiziert wurde. Allerdings wird der benachbarte Punkt **614** bei einigen Ausführungsformen als Eingabe der Azimut-/Höhenanalyse bei Schritt **444** zugeführt, um zu bestimmen, ob neben dem benachbarten Punkt **614** befindliche Punkte der Liste von Nachbarn hinzugefügt werden sollten. Bei Schritt **444** wird der benachbarte Punkt **614** der Eingangspunkt und die Nachbarn von Punkt **614** (d.h. daneben befindliche Punkte) werden analysiert, um festzustellen, ob der Unterschied der Höhen-/Azimutwinkel zwischen den Eingangspunkt **614** und daneben befindlichen Punkten (z.B. der mit „W“ bezeichnete Punkt **620**) geringer als ein Schwellenwert ist. Falls nicht, wird der daneben befindliche Punkt (z.B. Punkt **620** „W“) weder als Randpunkt identifiziert noch als Teil des Clusters aufgenommen. Dies hat zur Folge, dass der Prozess zu Schritt **438** weiter geht, wo der Eingangspunkt **614** wie erwartet (als Ergebnis der bei Schritt **442** getroffenen Feststellung) als Randpunkt identifiziert wird. Wenn ja, wird bei Schritt **448** eine Feststellung getroffen, ob der daneben befindliche Punkt (z.B. Punkt **620** „W“) zuvor besucht wurde. Wenn der daneben befindliche Punkt **620** („W“) zuvor besucht wurde, dann wird bei Schritt **450** festgestellt, ob der Punkt ein Störpunkt ist oder nicht. Wenn der daneben befindliche Punkt **620** („W“) ein Störpunkt ist, dann wird der Punkt bei Schritt **438** als Randpunkt identifiziert und bei Schritt **432** der Cluster-ID ID hinzugefügt. Wenn der daneben befindliche Punkt **620** („W“) kein Störpunkt ist (und deshalb zuvor gruppiert wird), erfolgen keine zusätzlichen Schritte. Weil es keine weiteren benachbarten Punkte von Punkt **614** gibt, geht der Prozess bei Schritt **434** mit dem nächsten Nachbarn in der Liste von Nachbarn weiter. Wenn der daneben befindliche Punkt **620** (z.B. „W“) nicht besucht wurde, dann wird der Punkt **620** bei Schritt **438** der Liste von Nachbarn hinzugefügt und bei Schritt **432** der Cluster-ID ID hinzugefügt. Auf diese Weise wird der daneben befindliche Punkt **620** dem Cluster trotz der Identifikation von Punkt **614** als Randpunkt, was typischerweise die Hinzufügung des daneben befindlichen Punkts **620** zu demselben Cluster ausschließen würde, hinzugefügt.

**[0052]** Auf diese Weise liefert die in Bezug auf die **Fig. 4a** und **Fig. 4b** beschriebene, adaptive Untersuchung zur LiDAR-basierten Clusterbildung als Ausgabe ein oder mehr Cluster, wobei jedem Cluster ein oder mehr Punkte zugeordnet werden. Wie zuvor unter Bezugnahme auf **Fig. 2b** beschrieben, werden die Cluster dem Modul zur Objektklassifizierung, das die Cluster verwendet, um Objekte innerhalb des Sichtfeldes des LiDAR-Sensors zu identifizieren, als Eingabe zugeführt. Wie oben beschrieben, ermöglicht die adaptive Untersuchung zur LiDAR-basierten Clusterbildung bei einigen Ausführungsformen die Modifikation von Clusterbildungsparametern einschließlich einem oder mehr von Minimalpunktschwellenwerten (verwendet, um Punkte als Kern-

punkte zu klassifizieren) und Untersuchungsradius. Insbesondere hilft das Zulassen, dass der Untersuchungsradius modifiziert wird, beim Identifizieren von Objekten, die unterschiedliche Dichten aufweisen, oder Gebiete verschiedener Dichten (z.B. kann ein Busch mit Blättern eine andere Punktdichte als ein Auto aufweisen). Zusätzlich ermöglicht es die Modifikation der Parameter zur Clusterbildung dem Algorithmus zur Clusterbildung, dem Rechnung zu tragen, dass sich das Objekt in verschiedenen Abständen von dem LiDAR-Sensor befindet. Das heißt, je weiter entfernt sich ein Objekt von dem LiDAR-Sensor befindet, desto größer ist der Abstand zwischen zwei nebeneinander befindlichen Punkten und desto weniger Punkte befinden sich insgesamt an dem Objekt. Das Modifizieren der Parameter wie beispielsweise Minimalpunktschwellenwert und Untersuchungsradius ermöglicht es, dem Algorithmus zur Clusterbildung, Punkte, die sowohl zu weit entfernten Objekten als auch zu nahen Objekten gehören, zu gruppieren. Bei einigen Ausführungsformen ermöglicht die adaptive Untersuchung zur LiDAR-basierten Clusterbildung auch die Verbindung von dicht gruppierten Punkten mit dünn gruppierten Punkten. Insbesondere werden die Unterschiede bei den Azimut- und/oder Höhenwinkeln geprüft, um festzustellen, ob eine Verbindung zwischen einem Randpunkt und einem Kernpunkt hergestellt werden sollte. Auf diese Weise ist die adaptive Untersuchung zur LiDAR-basierten Clusterbildung dazu in der Lage, verschiedene Arten von Objekten, die sich in verschiedenen Abständen und Winkeln relativ zu dem LiDAR-Sensor befinden, zu gruppieren.

#### Erörterung möglicher Ausführungsformen

**[0053]** Das Folgende sind nicht-abschließende Beschreibungen möglicher Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

**[0054]** Gemäß einem Aspekt beinhaltet ein Verfahren zum Gruppieren räumlicher Daten das Empfangen einer Punktwolke, die aus mehreren, innerhalb des dreidimensionalen (3D) Raums definierten Punkten besteht. Das Verfahren beinhaltet weiterhin das Auswählen von einem oder mehr anpassbaren Clusterbildungsparametern für jeden der mehreren Punkte und das Durchlaufen eines jeden der mehreren Punkte in der Punktwolke und selektives Hinzufügen eines jeden der Punkte zu einem oder mehr Clustern basierend auf den jedem Punkt zugeordneten Clusterbildungsparametern.

**[0055]** Das Verfahren gemäß dem vorangehenden Absatz kann optional zusätzlich und/oder alternativ ein (e) beliebige(s), ein(e) oder mehr des/der folgenden Merkmale, Konfigurationen und/oder zusätzlichen Komponenten enthalten.

**[0056]** Zum Beispiel kann das Auswählen von einem oder mehr Clusterbildungsparametern das Auswählen eines Minimalpunktschwellenwertparameters und/oder eines Untersuchungsradiusparameters beinhalten.

**[0057]** Bei einigen Ausführungsformen wird der Minimalpunktschwellenwertparameter und/oder der Untersuchungsradiusparameter basierend auf einem Abstand zu dem Punkt ausgewählt.

**[0058]** Bei einigen Ausführungsformen wird der Minimalpunktschwellenwertparameter verringert, wenn der ermittelte Abstand zu dem Punkt ansteigt.

**[0059]** Bei einigen Ausführungsformen wird der Untersuchungsradius erhöht, wenn der ermittelte Abstand zu dem Punkt ansteigt.

**[0060]** Bei einigen Ausführungsformen beinhaltet das Verfahren weiterhin das Berechnen einer Dichte, die jedem der mehreren Punkte zugeordnet wird, basierend auf einer Anzahl von benachbarten Punkten, die sich innerhalb eines Untersuchungsradius' des Punkts befinden.

**[0061]** Bei einigen Ausführungsformen beinhaltet das Berechnen der jedem der mehreren Punkte zugeordneten Dichte das Identifizieren des Punkts als Kernpunkt basierend auf einem Vergleich einer Anzahl benachbarter Punkte, die sich innerhalb eines Untersuchungsradius' des Punkts befinden, mit dem definierten Minimalpunktschwellenwert und das Erhöhen des Untersuchungsradius', wenn der Punkt nicht als Kernpunkt identifiziert wird und Aufspüren zusätzlicher benachbarter Punkte basierend auf dem erhöhten Untersuchungsradius, wobei das Berechnen der Dichte des Punkts auf dem erhöhten Untersuchungsradius und zusätzlichen benachbarten Punkten basiert.

**[0062]** Bei einigen Ausführungsformen werden die mehreren Punkte basierend auf der berechneten Dichte eines jeden Punkts sortiert.

**[0063]** Bei einigen Ausführungsformen wird jeder der mehreren Punkte in der Punktwolke basierend auf der sortierten Dichte der mehreren Punkte durchlaufen, wobei die Punkte von dicht nach dünn durchlaufen werden.

**[0064]** Bei einigen Ausführungsformen beinhaltet das Durchlaufen eines jeden der mehreren Punkte in der Punktwolke und das selektive Hinzufügen eines jeden der Punkte zu einem oder mehr das Auswählen eines zuvor nicht gruppierten Punkts und das Erzeugen eines neuen Clusters, wenn der ausgewählte Punkt ein Kernpunkt ist und zuvor nicht gruppiert wurde. Benachbarte Punkte werden einer Liste von Nachbarn, die dem neuen Cluster zugeordnet ist, hinzugefügt, wenn der Punkt ein Kernpunkt ist, wobei sich benachbarte Punkte innerhalb eines Untersuchungsradius' des Kernpunkts befinden. Jeder Punkt auf der Liste von Nachbarn wird geprüft und entweder als Kernpunkt oder als Randpunkt identifiziert, wobei ein als Nachbarpunkt identifizierter Kernpunkt dem neuen Cluster zugeordnet wird und Nachbarn des als Nachbarpunkt identifizierten Kernpunkts der Liste von Nachbarn hinzugefügt werden, wobei ein als Randpunkt identifizierter Nachbarpunkt dem neuen Cluster zugeordnet wird, aber Nachbarn des Randpunkts der Liste von Nachbarn nicht hinzugefügt werden.

**[0065]** Bei einigen Ausführungsformen werden als Reaktion auf die Identifizierung eines Punkts als Randpunkt Einfallswinkel zwischen dem Randpunkt und neben dem Randpunkt befindliche Punkten mit einem Schwellenwert verglichen, wobei, wenn die Differenz geringer als der Schwellenwert ist, der daneben befindliche Punkt der dem neuen Cluster zugeordneten Liste von Nachbarn hinzugefügt wird, wenn er nicht zuvor einem Cluster hinzugefügt wurde.

**[0066]** Bei einigen Ausführungsformen sind die Einfallswinkel Azimutwinkel oder Höhenwinkel.

**[0067]** Gemäß einem weiteren Aspekt beinhaltet ein Verfahren zum Gruppieren räumlicher Daten das Empfangen einer Punktwolke, die aus mehreren innerhalb des dreidimensionalen (3D) Raums definierten Punkten besteht. Ein zuvor nicht gruppierter Punkt wird aus der Punktwolke ausgewählt und ein neues Cluster wird erzeugt, wenn der ausgewählte Punkt zuvor nicht gruppiert war und basierend auf einer Anzahl benachbarter Punkte, die sich innerhalb eines Untersuchungsradius' befinden, festgestellt wird, dass er ein Kernpunkt ist. Wenn festgestellt wird, dass er ein Kernpunkt ist, werden benachbarte Punkte des identifizierten Kernpunkts einer Liste von Nachbarn hinzugefügt. Für jeden Punkt auf der Liste von Nachbarn wird eine Feststellung getroffen, ob der benachbarte Punkt auch ein Kernpunkt ist. Für einen als Kernpunkt identifizierten, benachbarten Punkt wird der Punkt dem Cluster hinzugefügt und Nachbarn des benachbarten Punkts (d.h. Kernpunkts) werden der Liste von Nachbarn zur Analyse hinzugefügt. Für einen nicht als Kernpunkt identifizierten, benachbarten Punkt werden der Azimut- und/oder Höhenwinkel zwischen dem benachbarten Punkt und einem daneben befindlichen Punkt mit einem Schwellenwert verglichen, wobei, wenn der Azimut- und/oder Höhenwinkel zwischen dem benachbarten Punkt und dem daneben befindlichen Punkt geringer als ein Schwellenwert ist, der daneben befindliche Punkt der Liste von Nachbarn hinzugefügt wird, wenn er nicht zuvor einem Cluster zugeordnet wurde.

**[0068]** Das Verfahren gemäß dem vorangehenden Absatz kann optional zusätzlich und/oder alternativ ein (e) beliebige(s), ein(e) oder mehr des/der folgenden Merkmale, Konfigurationen und/oder zusätzlichen Komponenten enthalten.

**[0069]** Wenn zum Beispiel der Azimut- und/oder Höhenwinkel zwischen dem benachbarten Punkt und dem daneben befindlichen Punkt größer als ein Schwellenwert ist, wird der benachbarte Punkt als Randpunkt identifiziert und dem Cluster hinzu gefügt und es wird keine weitere Maßnahme in Bezug auf den daneben befindlichen Punkt ergriffen.

**[0070]** Bei einigen Ausführungsformen beinhaltet das Verfahren weiterhin das Feststellen, ob der daneben befindliche Punkt besucht wurde, wobei der daneben befindliche Punkt der Liste von Nachbarn hinzugefügt wird, wenn der daneben befindliche Punkt nicht besucht wurde.

**[0071]** Bei einigen Ausführungsformen wird der daneben befindliche Punkt, wenn der daneben befindliche Punkt besucht wurde und der daneben befindliche Punkt zuvor als Störpunkt ermittelt wurde, als Randpunkt identifiziert und dem Cluster hinzugefügt.

**[0072]** Bei einigen Ausführungsformen wird der zweite Punkt, wenn der daneben befindliche Punkt besucht wurde und der daneben befindliche Punkt zuvor nicht als Störpunkt ermittelt wurde, dem gegenwärtigen Cluster nicht hinzugefügt.

**[0073]** Gemäß einem weiteren Aspekt enthält ein System zumindest einen Prozessor und ein Modul zur Clusterbildung, das, wenn es durch den zumindest einen Prozessor ausgeführt wird, dazu ausgebildet ist, einen Dichte-basierten Clusterbildungsalgorithmus, der mehrere von dem System empfangene Punkte in ein oder mehr Cluster gruppiert, zu implementieren. Der Dichte-basierte Clusterbildungsalgorithmus ist dazu ausgebildet, eine aus mehreren, innerhalb des dreidimensionalen (3D) Raums definierten Punkten bestehende Punktwolke zu empfangen und einen Untersuchungsradius auf die Punktwolke anzuwenden, wobei der Untersuchungsradius Clusterbildungsparameter einschließlich eines oder mehr von einem Minimalpunktschwellenwert und Untersuchungsradius für jeden Punkt in der Punktwolke auswählt. Der Dichte-basierte Clusterbildungsalgorithmus ist weiterhin dazu ausgebildet, einen Algorithmus zur Clusterbildung auf die Punktwolke anzuwenden, wobei der Algorithmus zur Clusterbildung zumindest einige Punkte in der Punktwolke durchläuft und dem Minimalpunktschwellenwert und Untersuchungsradius, die jedem Punkt durch den Untersuchungsalgorithmus zugeordnet wurden, verwendet, um den Clustern selektiv Punkte hinzuzufügen.

**[0074]** Das Verfahren gemäß dem vorangehenden Absatz kann optional zusätzlich und/oder alternativ ein (e) beliebige(s), ein(e) oder mehr des/der folgenden Merkmale, Konfigurationen und/oder zusätzlichen Komponenten enthalten.

**[0075]** Zum Beispiel kann das Anwenden des Untersuchungsalgorithmus' weiterhin das Ermitteln eines Abstandes zu einem Punkt und das Auswählen eines Minimalpunktschwellenwerts für den Punkt basierend auf dem ermittelten Abstand zu dem Punkt beinhalten.

**[0076]** Bei einigen Ausführungsformen beinhaltet das Anwenden des Untersuchungsalgorithmus' weiterhin das Identifizieren des Punkts als Kernpunkt basierend auf einem Vergleich einer Anzahl benachbarter Punkte, die sich innerhalb des definierten Untersuchungsradius' des Punkts befinden, mit dem definierten Minimum-Punktschwellenwert und Erhöhen des Untersuchungsradius', wenn der Punkt nicht als Kernpunkt identifiziert wird und Aufspüren zusätzlicher benachbarter Punkte basierend auf dem erhöhten Untersuchungsradius.

**[0077]** Bei einigen Ausführungsformen beinhaltet das Anwenden des Untersuchungsalgorithmus' weiterhin das Berechnen einer jedem der Punkte zugeordneten Dichte basierend auf einer Anzahl von Nachbarn, die sich innerhalb des jedem Punkt zugeordneten Untersuchungsradius' befinden.

**[0078]** Bei einigen Ausführungsformen beinhaltet das Anwenden des Algorithmus' zur Clusterbildung weiterhin das Durchlaufen zumindest einiger der Punkte in der Punktwolke basierend auf der einem jeden Punkt zugeordneten, berechneten Dichte, wobei die Punkte von dicht nach dünn durchlaufen werden.

**[0079]** Bei einigen Ausführungsformen beinhaltet das Anwenden des Algorithmus' zur Clusterbildung für jeden Punkt in der Punktwolke weiterhin das Auswählen eines zuvor nicht gruppierten Punkts und das Erzeugen eines neuen Clusters, wenn der ausgewählte Punkt ein Kernpunkt ist und zuvor nicht gruppiert wurde. Benachbarte Punkte werden einer dem neuen Cluster zugeordneten Liste von Nachbarn hinzugefügt, wenn der Punkt ein Kernpunkt ist, wobei sich die benachbarten Punkte innerhalb eines Untersuchungsradius' des Kernpunkts befinden. Jeder Punkt der Liste von Nachbarn wird geprüft und entweder als Kernpunkt oder als Randpunkt identifiziert, wobei ein als Kernpunkt identifizierter Nachbarpunkt dem neuen Cluster zugeordnet wird und Nachbarn des als Kernpunkt identifizierten Nachbarpunkts der Liste von Nachbarn hinzugefügt werden. Im Gegensatz dazu wird ein als Randpunkt identifizierter Nachbarpunkt dem neuen Cluster zugeordnet, aber Nachbarn des Randpunkts werden der Liste von Nachbarn nicht hinzugefügt.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Gruppieren räumlicher Daten, wobei das Verfahren aufweist: Empfangen einer Punktwolke, die aus mehreren, innerhalb des dreidimensionalen (3D) Raums definierten Punkten besteht; Auswählen von einem oder mehr anpassbaren Clusterbildungsparametern für jeden der mehreren Punkte; und Durchlaufen eines jede der mehreren Punkte in der Punktwolke und selektives Hinzufügen eines jeden der Punkte zu einem oder mehr Clustern basierend auf den jedem Punkt zugeordneten Clusterbildungsparametern.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Auswählen von einem oder mehr anpassbaren Clusterbildungsparametern das Auswählen eines Minimalpunktschwellenwertparameters oder eines Untersuchungsradiusparameters beinhaltet.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei der Minimalpunktschwellenwertparameter oder Untersuchungsradiusparameter basierend auf einem Abstand zu dem Punkt ausgewählt wird.
4. Verfahren gemäß Anspruch 3, wobei der Minimalpunktschwellenwertparameter verringert wird, wenn der ermittelte Abstand zu dem Punkt ansteigt.
5. Verfahren gemäß Anspruch 3, wobei der Untersuchungsradius erhöht wird, wenn der ermittelte Abstand zu dem Punkt ansteigt.
6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, das weiterhin aufweist:  
Berechnen einer Dichte, die jedem der mehreren Punkte zugeordnet wird, basierend auf einer Anzahl von benachbarten Punkten, die sich innerhalb eines Untersuchungsradius' des Punkts befinden.
7. Verfahren gemäß Anspruch 6, wobei das Berechnen der jedem der mehreren Punkte zugeordneten Dichte beinhaltet:  
Identifizieren des Punkts als Kernpunkt basierend auf einem Vergleich einer Anzahl benachbarter Punkte, die sich innerhalb eines Untersuchungsradius' des Punkts befinden, mit dem definierten Minimalpunktschwellenwert; und  
Erhöhen des Untersuchungsradius', wenn der Punkt nicht als Kernpunkt identifiziert wird und Aufspüren zusätzlicher benachbarter Punkte basierend auf dem erhöhten Untersuchungsradius, wobei das Berechnen der Dichte des Punkts auf dem erhöhten Untersuchungsradius und zusätzlichen benachbarten Punkten basiert.
8. Verfahren gemäß Anspruch 6 oder 7, das weiterhin beinhaltet Sortieren der mehreren Punkte basierend auf der berechneten Dichte eines jeden Punkts.
9. Verfahren gemäß Anspruch 8, wobei das Durchlaufen eines jeden der mehreren Punkte in der Punktwolke das Durchlaufen der Punkte basierend auf der sortierten Dichte der mehreren Punkte basiert, wobei die Punkte von dicht nach dünn durchlaufen werden.
10. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Durchlaufen eines jeden der mehreren Punkte in der Punktwolke und das selektive Hinzufügen eines jeden der Punkte zu einem oder mehr Clustern beinhaltet:  
Auswählen eines zuvor nicht gruppierten Punkts;  
Erzeugen eines neuen Clusters, wenn der ausgewählte Punkt ein Kernpunkt ist und zuvor nicht gruppiert wurde;  
Hinzufügen benachbarter Punkte zu einer Liste von Nachbarn, die dem neuen Cluster zugeordnet ist, wenn der Punkt ein Kernpunkt ist, wobei sich benachbarte Punkte innerhalb eines Untersuchungsradius' des Kernpunkts befinden; und  
Prüfen eines jeden Punkts auf der Liste von Nachbarn und Identifizieren eines jeden Punkts als Kernpunkt oder als Randpunkt, wobei ein als Nachbarpunkt identifizierter Kernpunkt dem neuen Cluster zugeordnet wird und Nachbarn des als Nachbarpunkt identifizierten Kernpunkts der Liste von Nachbarn hinzugefügt werden, wobei ein als Randpunkt identifizierter Nachbarpunkt dem neuen Cluster zugeordnet wird, aber Nachbarn des Randpunkts der Liste von Nachbarn nicht hinzugefügt werden.
11. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei als Reaktion auf die Identifizierung eines Punkts als Randpunkt Einfallswinkel zwischen dem Randpunkt und neben dem Randpunkt befindlichen Punkten mit einem Schwellenwert verglichen werden, wobei, wenn die Differenz geringer als der Schwellenwert ist, der daneben befindliche Punkt der dem neuen Cluster zugeordneten Liste von Nachbarn hinzugefügt wird, wenn er nicht zuvor einem Cluster hinzugefügt wurde.
12. Verfahren gemäß Anspruch 11, wobei die Einfallswinkel Azimutwinkel oder Höhenwinkel sind.
13. Verfahren zum Gruppieren räumlicher Daten, wobei das Verfahren aufweist:  
Empfangen einer Punktwolke, die aus mehreren innerhalb des dreidimensionalen (3D) Raums definierten Punkten besteht;  
Auswählen eines zuvor nicht gruppierten Punkts aus der Punktwolke;  
Erzeugen eines neuen Clusters, wenn der ausgewählte Punkt zuvor nicht gruppiert war und festgestellt wird, dass er ein Kernpunkt ist, basierend auf einer Anzahl benachbarter Punkte, die sich innerhalb eines Untersuchungsradius' befinden;  
Hinzufügen benachbarter Punkte des ausgewählten Punkts zu einer Liste von Nachbarn;



Feststellen, ob der Nachbarpunkt ein Kernpunkt ist, für jeden Punkt auf der Liste von Nachbarn; für einen als Kernpunkt identifizierten, benachbarten Punkt, Hinzufügen des benachbarten Punkts zu dem Cluster; und für nicht als Kernpunkt identifizierte benachbarte Punkte, Feststellen ob ein Azimut- oder Höhenwinkel zwischen dem benachbarten Punkt und einem daneben befindlichen Punkt geringer als ein Schwellenwert ist, wobei, wenn der Azimut- oder Höhenwinkel zwischen dem benachbarten Punkt und dem daneben befindlichen Punkt geringer als ein Schwellenwert ist, der daneben befindliche Punkt der Liste von Nachbarn hinzugefügt wird, wenn er nicht zuvor einem Cluster zugeordnet wurde.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, wobei, der benachbarte Punkt, wenn der Azimut- oder Höhenwinkel zwischen dem benachbarten Punkt und dem daneben befindlichen Punkt größer als ein Schwellenwert ist, als Randpunkt identifiziert und dem Cluster hinzu gefügt wird und keine weitere Maßnahme in Bezug auf den daneben befindlichen Punkt ergriffen wird.

15. Verfahren gemäß Anspruch 13 oder 14, das weiterhin das Feststellen, ob der daneben befindliche Punkt besucht wurde, beinhaltet, wobei der daneben befindliche Punkt der Liste von Nachbarn hinzugefügt wird, wenn der daneben befindliche Punkt nicht besucht wurde.

16. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei der daneben befindliche Punkt, wenn der daneben befindliche Punkt besucht wurde und der daneben befindliche Punkt zuvor als Störpunkt ermittelt wurde, als Randpunkt identifiziert und dem Cluster hinzugefügt wird.

17. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei der daneben befindliche Punkt, wenn der daneben befindliche Punkt besucht wurde und der daneben befindliche Punkt zuvor nicht als Störpunkt ermittelt wurde, dem gegenwärtigen Cluster nicht hinzugefügt wird.

18. System, das aufweist:  
 zumindest einen Prozessor; und  
 ein Modul zur Clusterbildung, das, wenn es durch den zumindest einen Prozessor ausgeführt wird, dazu ausgebildet ist, einen Dichte-basierten Clusterbildungsalgorithmus, der mehrere von dem System empfangene Punkte in ein oder mehr Cluster gruppiert, zu implementieren, wobei der Dichte-basierte Clusterbildungsalgorithmus dazu ausgebildet ist:  
 eine aus mehreren, innerhalb des dreidimensionalen (3D) Raums definierten Punkten bestehende Punktwolke zu empfangen;  
 einen Untersuchungsradius auf die Punktwolke anzuwenden, wobei der Untersuchungsradius Clusterbildungsparameter einschließlich eines oder mehr von einem Minimalpunktschwellenwert und Untersuchungsradius für jeden Punkt in der Punktwolke auswählt; und  
 Anwenden eines Algorithmus' zur Clusterbildung auf die Punktwolke, wobei der Algorithmus zur Clusterbildung zumindest einige Punkte in der Punktwolke durchläuft und dem Minimalpunktschwellenwert und Untersuchungsradius, die jedem Punkt durch den Untersuchungsalgorithmus zugeordnet wurden, verwendet, um den Clustern selektiv Punkte hinzuzufügen.

19. System gemäß Anspruch 18, wobei das Anwenden des Untersuchungsalgorithmus' für jeden Punkt in der Punktwolke beinhaltet:  
 Ermitteln eines Abstandes zu einem Punkt; und  
 Auswählen eines Minimalpunktschwellenwerts für den Punkt basierend auf dem ermittelten Abstand zu dem Punkt.

20. System gemäß Anspruch 18 oder 19, wobei das Anwenden des Untersuchungsalgorithmus' weiterhin beinhaltet:  
 Identifizieren des Punkts als Kernpunkt basierend auf einem Vergleich einer Anzahl benachbarter Punkte, die sich innerhalb des definierten Untersuchungsradius' des Punkts befinden, mit dem definierten Minimalpunktschwellenwert; und  
 Erhöhen des Untersuchungsradius', wenn der Punkt nicht als Kernpunkt identifiziert wird und Aufspüren zusätzlicher benachbarter Punkte basierend auf dem erhöhten Untersuchungsradius.

21. System gemäß einem der Ansprüche 18 bis 20, wobei das Anwenden des Untersuchungsalgorithmus' weiterhin das Berechnen einer jedem der Punkte zugeordneten Dichte basierend auf einer Anzahl von Nachbarn, die sich innerhalb des jedem Punkt zugeordneten Untersuchungsradius' befinden, beinhaltet.

22. System gemäß Anspruch 21, wobei das Anwenden des Algorithmus' zur Clusterbildung weiterhin das Durchlaufen zumindest einiger der Punkte in der Punktwolke basierend auf der einem jeden Punkt zugeordneten, berechneten Dichte beinhaltet, wobei die Punkte von dicht nach dünn durchlaufen werden.

23. System gemäß einem der Ansprüche 18 bis 22, wobei das Anwenden des Algorithmus' zur Clusterbildung für jeden Punkt in der Punktwolke weiterhin beinhaltet:

Auswählen eines zuvor nicht gruppierten Punkts;

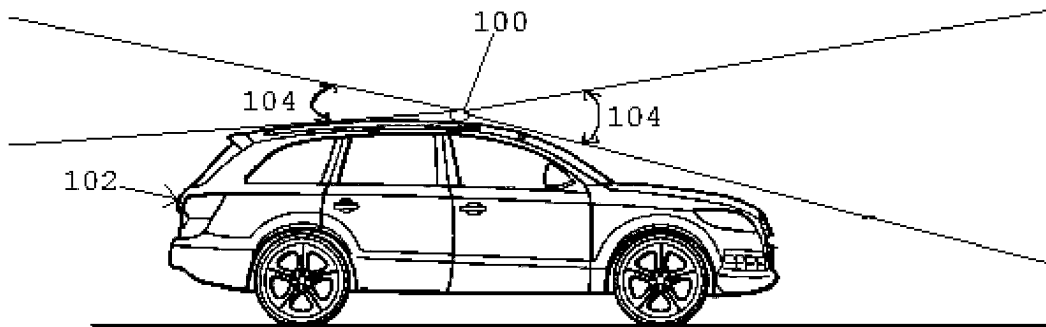
Erzeugen eines neuen Clusters, wenn der ausgewählte Punkt ein Kernpunkt ist und zuvor nicht gruppiert wurde;

Hinzufügen benachbarter Punkte zu einer dem neuen Cluster zugeordneten Liste von Nachbarn, wenn der Punkt ein Kernpunkt ist, wobei sich die benachbarten Punkte innerhalb eines Untersuchungsradius' des Kernpunkts befinden; und

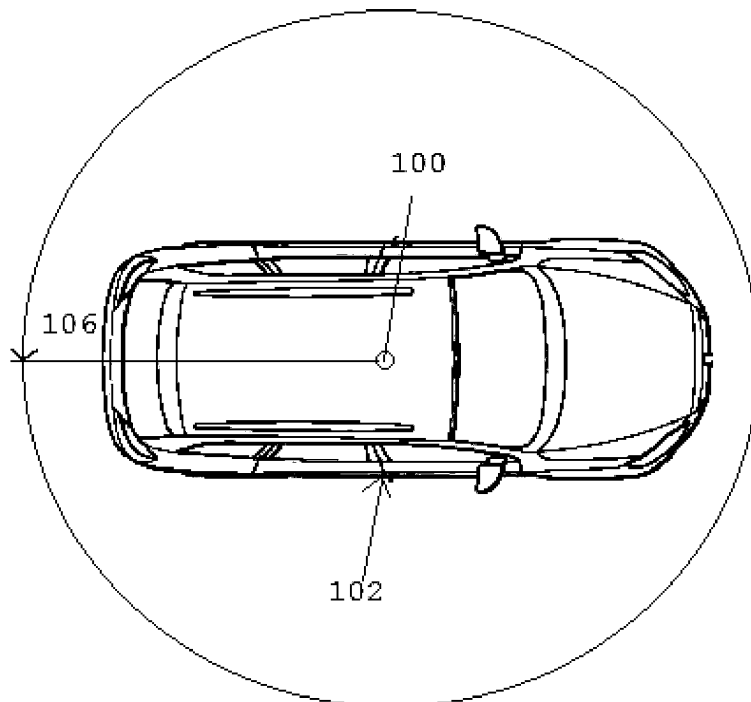
Prüfen eines jeden Punkts der Liste von Nachbarn und identifizieren eines jeden Punkts als Kernpunkt oder als Randpunkt, wobei ein als Kernpunkt identifizierter Nachbarpunkt dem neuen Cluster zugeordnet wird und Nachbarn des als Kernpunkt identifizierten Nachbarpunkts der Liste von Nachbarn hinzugefügt werden, wobei ein als Randpunkt identifizierter Nachbarpunkt dem neuen Cluster zugeordnet wird, aber Nachbarn des Randpunkts der Liste von Nachbarn nicht hinzugefügt werden.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

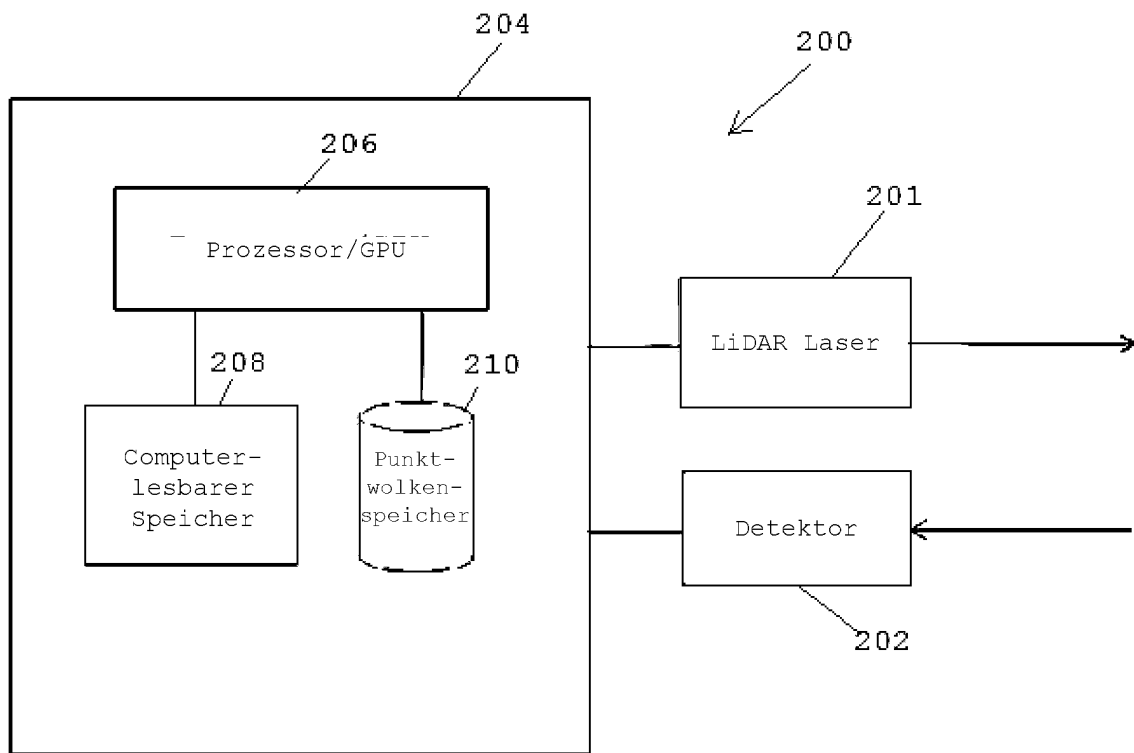
Anhängende Zeichnungen



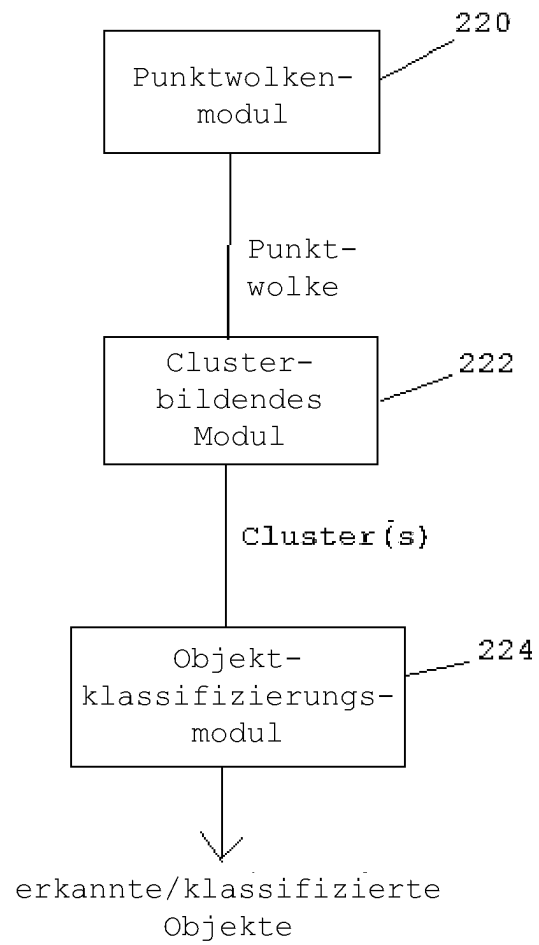
Figur 1a



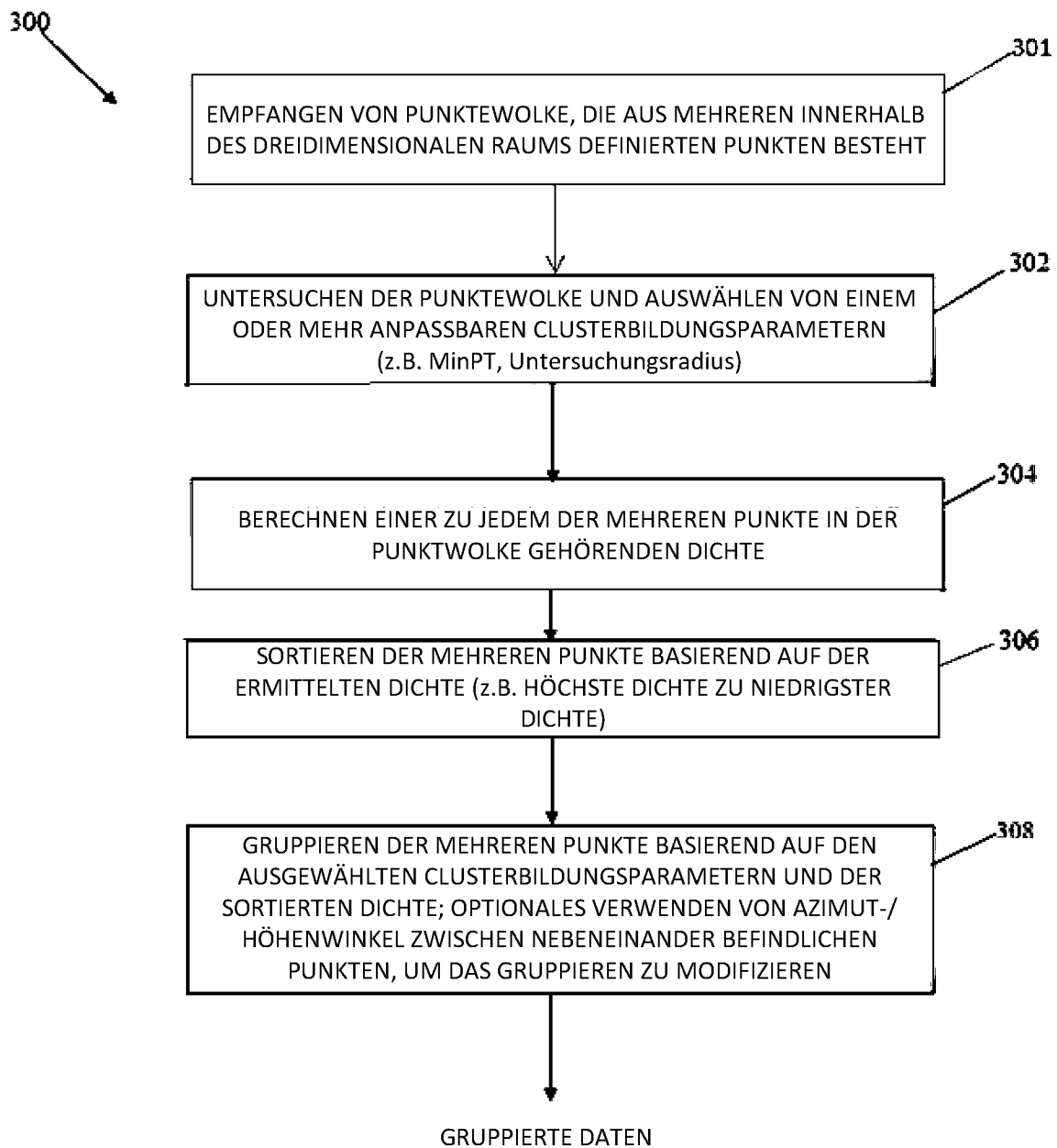
Figur 1b



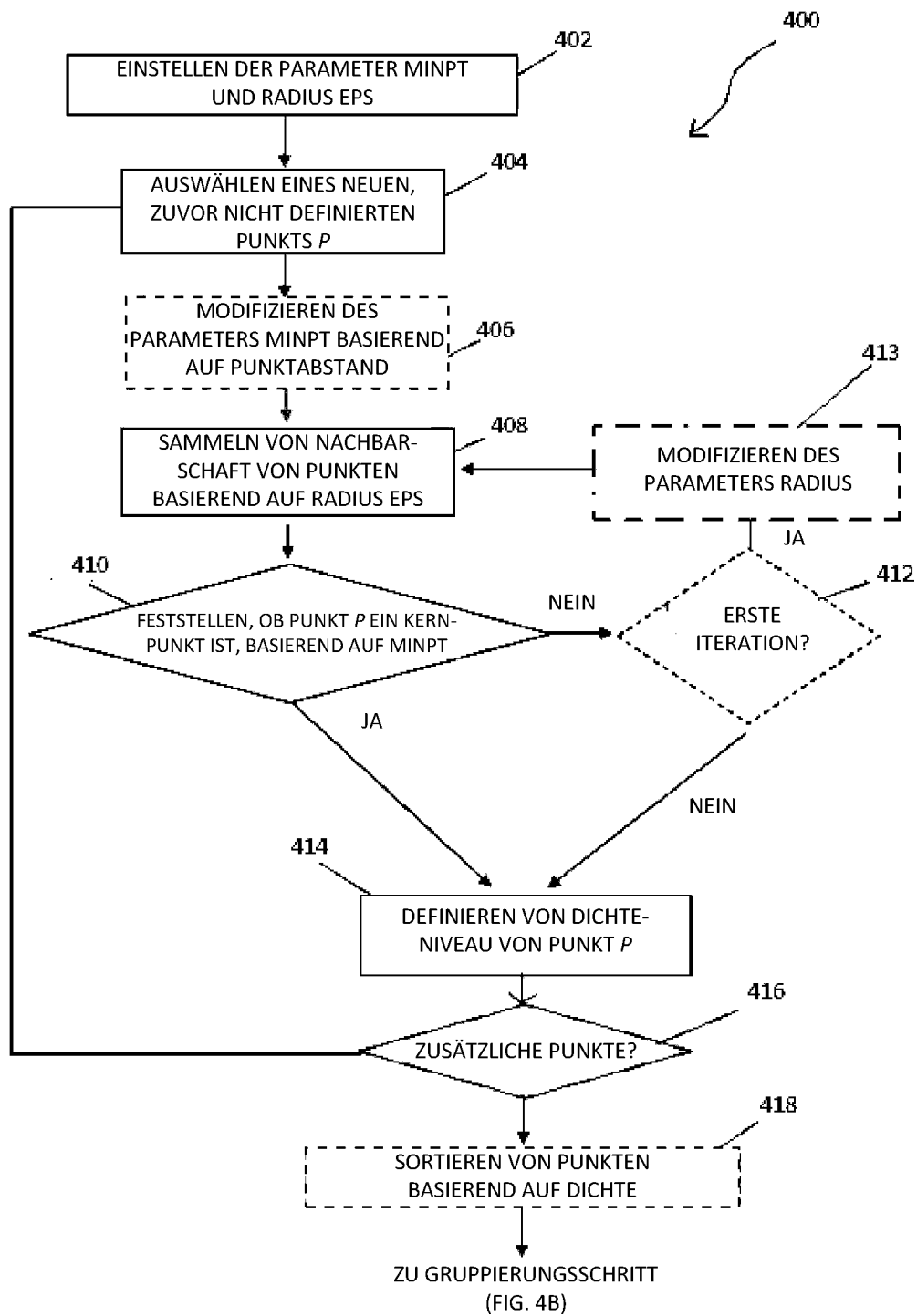
Figur 2a



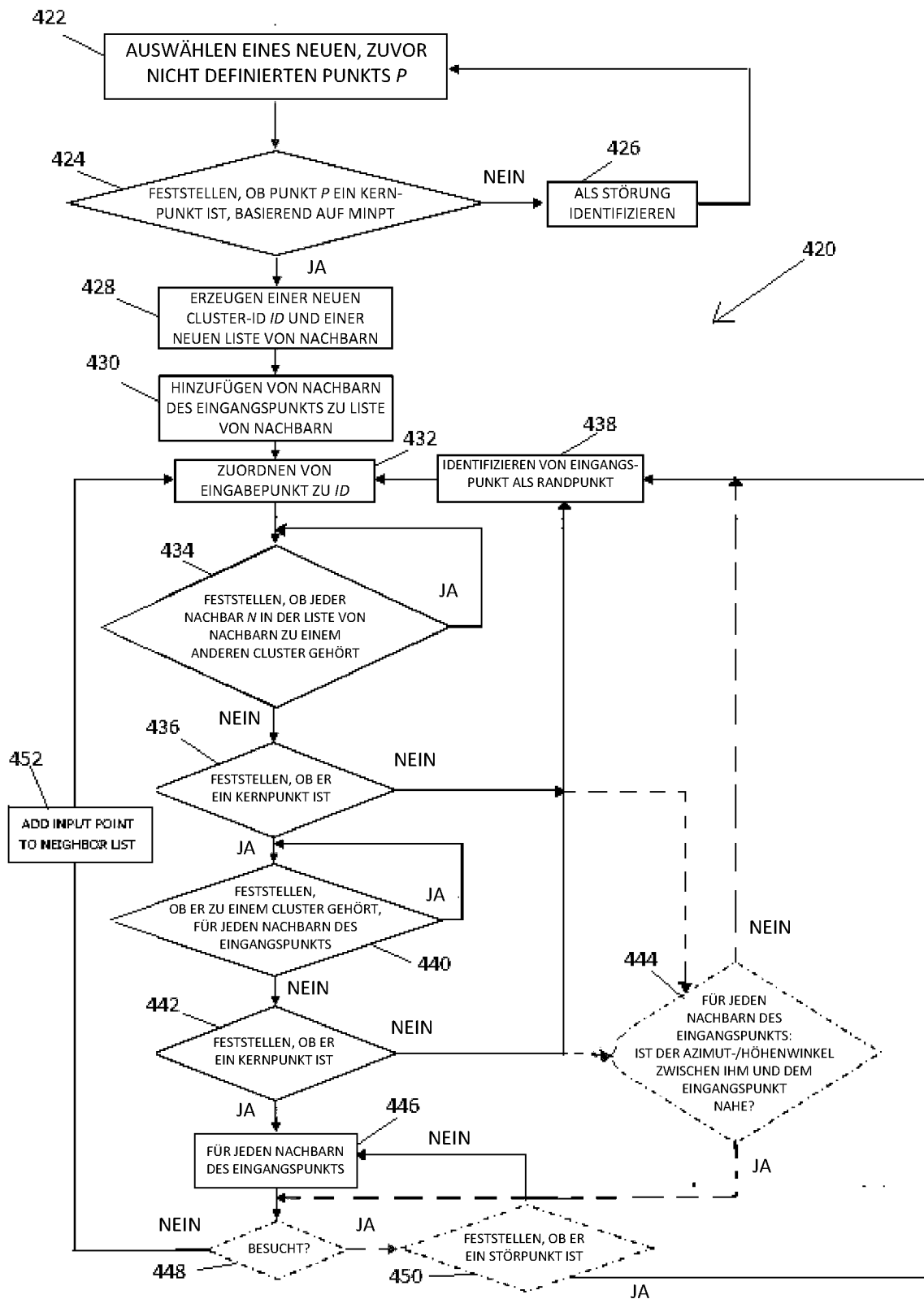
**Figur 2b**



Figur 3



Figur 4a



Figur 4b



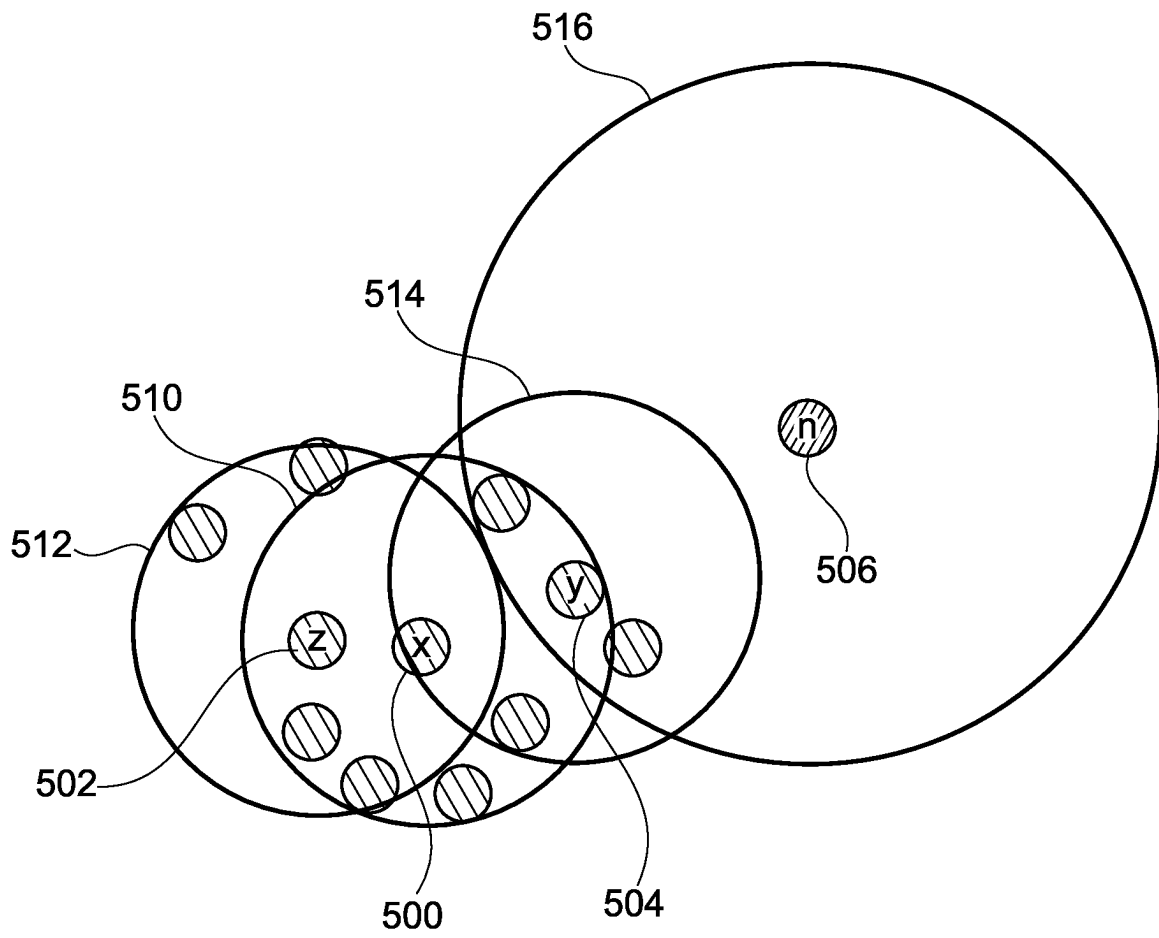


Fig. 5

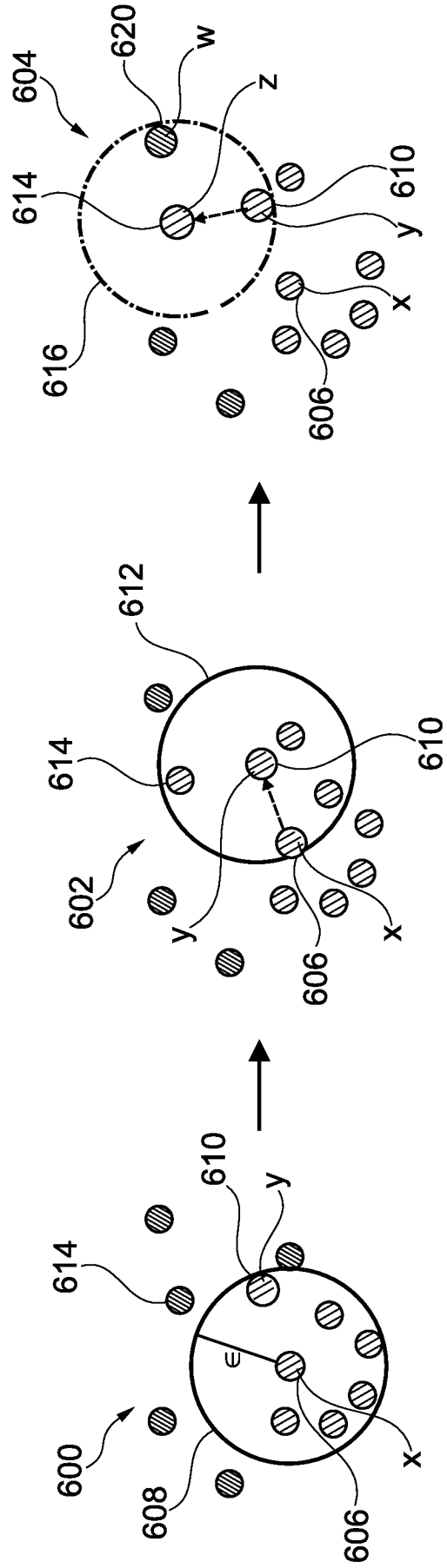


Fig. 6

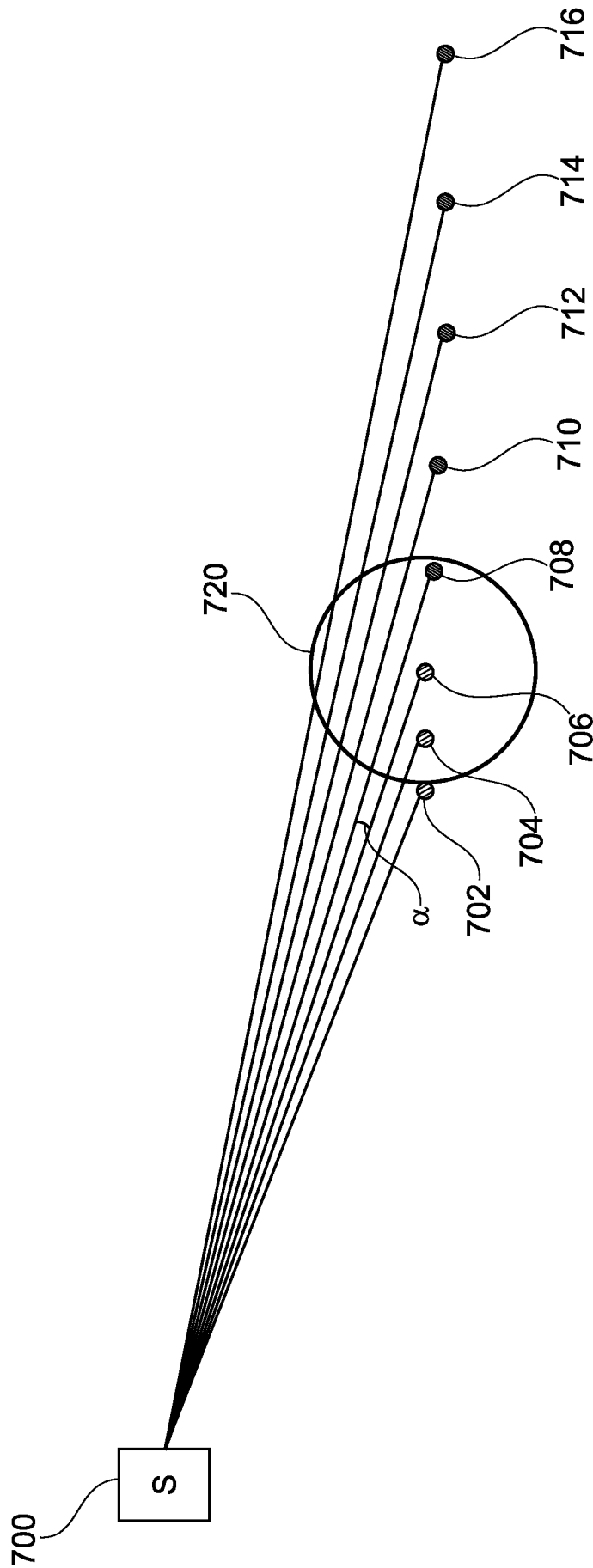


Fig. 7