

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. Dezember 2024 (12.12.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/251542 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H04N 13/239 (2018.01) H04N 13/254 (2018.01)
H04N 13/243 (2018.01) H04N 13/296 (2018.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/064363

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. Mai 2024 (24.05.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 205 343.8
07. Juni 2023 (07.06.2023) DE

(71) Anmelder: TRIPLEYE GMBH [DE/DE]; Alter Schlachthof 27, 76131 Karlsruhe (DE).

(72) Erfinder: SCHICK, Jens; Im Seele 8, 71083 Herrenberg (DE).

(74) Anwalt: RAU, SCHNECK & HÜBNER PATENTANWÄLTE RECHTSANWÄLTE PARTGMBB; Königstraße 2, 90402 Nürnberg (DE).

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY,

(54) Title: DEVICE FOR CAPTURING A SPATIAL IMAGE OF A SURROUNDING AREA WHICH IS MOVING RELATIVE TO THE DEVICE, AND METHOD FOR OPERATING SAME

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR RÄUMLICHEN BILDERFASSUNG EINER RELATIV ZUR VORRICHTUNG BEWEGTEN UMGEBUNG SOWIE BETRIEBSVERFAHREN HIERFÜR

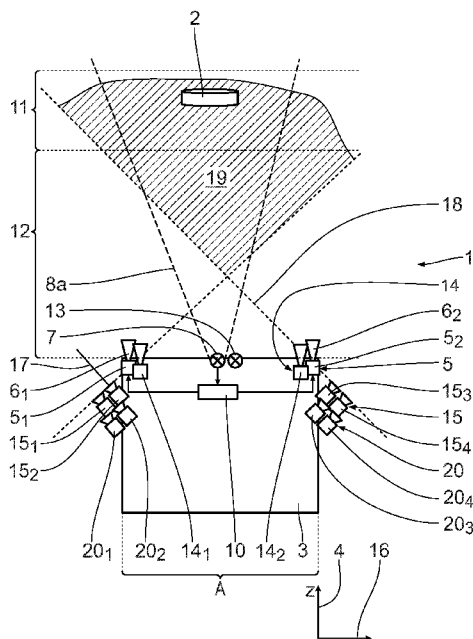


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a device (1) which is used to capture a spatial image of a surrounding area. The image capturing device (1) has at least one stereo camera (5, 14, 15, 20) for determining the object distance of the device (1) to the surrounding area using triangulation. At least one flash light source (7, 13) is used to illuminate the surrounding area. Each of the cameras of the stereo camera has a sensor array. A controller (10) is connected to the cameras so as to transmit signals and is used to specify image capturing parameters in a temporally synchronized manner, namely a flash illumination start, a flash illumination duration of the flash light source, and a detection start and a detection duration of the camera. The result is an image capturing device which is well adapted for the practice of capturing images in order to ensure a supporting or autonomous drive.

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung (1) dient zur räumlichen Bilderfassung einer Umgebung. Die Bilderfassungs-Vorrichtung (1) hat mindestens eine Stereokamera (5, 14, 15, 20) zur triangulatorischen Objekt-Abstandsbestimmung der Vorrichtung (1) zur Umgebung. Mindestens eine Blitzlichtquelle (7, 13) dient zur Umgebungsbeleuchtung. Kameras der Stereokamera haben jeweils ein Sensor-Array. Eine Steuereinrichtung (10) steht mit den Kameras in Signalverbindung und dient zur zeitlich synchronisierten Vorgabe von Bilderfassungsparametern, nämlich eines Blitzbeleuchtungsbeginns, einer Blitzbeleuchtungsdauer der Blitzlichtquelle sowie eines Detektionsbeginns und einer Detektionsdauer der Kameras. Es resultiert eine Bilderfassungs-Vorrichtung, die an die Praxis insbesondere der Bilderfassung zur Sicherstellung eines unterstützenden oder autonomen Fahrens gut angepasst ist.

KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

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

Vorrichtung zur räumlichen Bilderfassung einer relativ zur Vorrichtung bewegten Umgebung sowie Betriebsverfahren hierfür

Die vorliegende Patentanmeldung nimmt die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10
5 2023 205 343.8 in Anspruch, deren Inhalt durch Bezugnahme hierin aufgenommen wird.

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur räumlichen Bilderfassung einer relativ zur Vorrichtung bewegten Umgebung. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betrieb einer derartigen Vorrichtung.

10

Derartige Vorrichtungen sind bekannt aus der WO 2022/069 424 A1, der WO 2022/069 425 A2, der WO 2022/179 998 A1 und der DE 10 2011 080 702 B3.

15

Die WO 2014/009 945 A1 offenbart ein Stereo-Abbildungssystem und ein zugehöriges Abbildungsverfahren. Die US 2014/0 282 224 A1 offenbart eine Detektion einer Scroll-Geste. Die WO 2017/189 185 A1 offenbart 3D-Abbildungssysteme.

20

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung zur räumlichen Bilderfassung zu schaffen, die an die Praxis insbesondere der Bilderfassung zur Sicherstellung eines unterstützenden oder autonomen Fahrens gut angepasst ist.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen.

25

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass sich die Funktionen einerseits mindestens einer Stereokamera und andererseits einer Bilderfassung mittels eines Beleuchtungs-Laufzeitverfahrens vorteilhaft ergänzen. Sowohl die Stereokamera als auch die ein Laufzeitverfahren ermöglichenden Komponenten Blitzlichtquelle und Sensor-Array, über die Laufzeitverfahrens-Bilderfassungsparameter vorgegeben werden können, erlauben die Ermittlung eines Abstandes von Objekten innerhalb der Umgebung.

30

Die Vorrichtung kann zur räumlichen Bilderfassung einer relativ zur Vorrichtung bewegten Umgebung dienen. Die mindestens eine Stereokamera kann zur triangulatorischen Objekt-Abstandsbestimmung innerhalb der erfassten Umgebung in Vorwärtsrichtung einer Relativbewegung der Vorrichtung zur Umgebung dienen. Dies kann zur Verbesserung einer Sicherheit der Umgebungserfassung insbesondere im Zusammenhang mit einem fahrerunterstützenden oder auch einem autonomen Fahren genutzt werden. Die Vorrichtung kann Bestandteil eines Fahrzeugs, beispielsweise eines PKW oder LKW, sein.

Die Steuereinrichtung kann insbesondere einen Delay-Zeitraum zwischen dem Blitzbeleuchtungsbeginn der mindestens einen Blitzlichtquelle und dem Detektionsbeginn des jeweiligen Sensor-Arrays der Kameras der mindestens einen Stereokamera vorgeben. Der Abstand der Kameras der Stereokamera zueinander ergibt eine Länge einer Baseline, also eines Abstandes von Zentren von Eintrittspupillen der Kameras der mindestens einen Stereokamera. Mit der Vorrichtung können Prinzipien einer TOF (Time of Flight)-Kamera mit einer triangulatorisch abstandsvermessenden Stereokamera verknüpft werden. Eine entsprechende TOF-Bilderfassung ist beschrieben beispielsweise in der US 2019/056 498 A1. Die Blitzlichtquelle kann so ausgeführt sein, wie dies prinzipiell von TOF-Kameras oder von LIDAR-Systemen bekannt ist. Entsprechendes gilt für die Sensor-Arrays der Kameras. Ein Sensor-Array, das bei der TOF-Bilderfassung genutzt wird, kann als Single Photon Avalanche Diode (SPAD)-Array aufgebaut sein. Ein derartiges SPAD-Array und seine Anwendung im Zusammenhang mit einer TOF-Messung ist bekannt aus einem Fachartikel von T. Swedish et al.: „Beyond the Line of Sight? What’s New in Optical Perception“, AUVSI XPONENTIAL 2022-SWEDISH (Konferenz-Handout), S. 1-8, https://www.xponential.org/xponential2022/Custom/Handout/Speaker51584_Session4220_1.pdf und aus der US 2022/0174255 A1.

Zur triangulatorischen Objekt-Abstandsbestimmung sind die beiden Kameras der Stereokamera über eine Synchronisierungseinheit miteinander synchronisiert. Durch diese Synchronisation kann insbesondere eine exakt zeitgleiche Erfassung des jeweiligen Objekts über die Kameras der Stereokamera erreicht werden. Dies unterscheidet eine Stereokamera zur triangulatorischen Objekt-Abstandsbestimmung von einer stereoskopischen Kamera, über die ausschließlich ein Raumeindruck einer Bilderfassung erzeugt wird und die beispielsweise beschrieben ist in der US

2015/296 200 A1. Der Einsatz eines SPAD-Arrays kann zu einer Verringerung einer Bewegungsunschärfe führen und kann zur Kontrastverbesserung einer Bilderfassung genutzt werden.

Die Synchronisation und insbesondere die zeitgleiche Objekterfassung bei der triangulatorischen Objekt-Abstandsbestimmung ermöglicht es, auch fremdbewegte Objekte in ihrer Entfernung präzise zu erfassen, da dann der Einfluss einer zusätzlichen Relativgeschwindigkeit aufgrund der Fremdbewegung des Objekts die Entfernungsbestimmung nicht beeinflusst.

Eine Brennweite f der jeweiligen Kamera einer Stereokamera, die Baseline b der Stereokamera sowie eine Disparität D , also ein Unterschied zwischen Bildkoordinaten von Abbildungspositionen des gleichen Punktes auf den Sensor-Arrays der Kameras der Stereokamera, werden so aufeinander abgestimmt, dass unter Einbeziehung der Beziehung

$$d = f b / D$$

für den zu erfassenden Objekt-Abstandswert d gilt:

$$3 \text{ m} \leq d \leq 300 \text{ m}$$

Zusätzlich kann die Vorrichtung so ausgelegt sein, dass ein entsprechender Objekt-Entfernungsbereich über die TOF-Bilderfassungsfunktionalität der Vorrichtung erfasst wird.

Bei der Blitzlichtquelle kann es sich um eine gesteuerte Blitzlampe handeln oder auch um eine entsprechend zeitgesteuerte LED- oder Laser-Lichtquelle. Es können Blitzlichtquellen zum Einsatz kommen, die zum Einsatz beispielsweise bei LIDAR-Vorrichtungen bekannt sind.

Eine Blitzbeleuchtungsdauer der Blitzlichtquelle kann im Bereich zwischen 10 ns und 200 ns, beispielsweise im Bereich von 100 ns, liegen.

Eine Detektionsdauer der Sensor-Arrays der mindestens einen Stereokamera ist regelmäßig so vorgegeben, dass sie doppelt so groß ist wie die Blitzbeleuchtungsdauer der Blitzlichtquelle. Die

Detektionsdauer kann im Bereich zwischen 20 ns und 400 ns, beispielsweise im Bereich von 200 ns, liegen.

5 Sowohl die Blitzbeleuchtungsdauer als auch die Detektionsdauer können über die Steuereinrichtung einstellbar vorgebbar sein.

10 Die Synchronisierungseinheit kann Teil der Steuereinrichtung sein. Teil der Steuereinrichtung kann eine Speichereinheit insbesondere in Form eines Flash-Speichers sein. Die Synchronisationseinheit kann Bestandteil einer Synchronisationseinrichtung zur Synchronisation der Blitzlichtquelle und der Sensor-Arrays der Kameras der mindestens einen Stereokamera sein. Die Synchronisationseinrichtung kann wiederum Bestandteil der Steuereinrichtung der Bilderfassungsvorrichtung sein.

15 Eine Synchronisation, die über die Synchronisationseinrichtung bereitgestellt werden kann, kann besser sein als 5 ns, kann besser sein als 2 ns, kann besser sein als 1 ns und kann auch noch besser sein.

20 Die Kameras der Stereokamera können lateral zur Vorwärtsrichtung voneinander beabstandet sein. Je nach Erfassungswinkel der Kameras und je nach Anwendungszweck und Haupt-Erfassungsrichtung der Stereokamera sind auch andere Kamera-Anordnungen der Stereokamera möglich.

25 Die Kameras der mindestens einen Stereokamera können eine Tele-Optik zur Erfassung von Objekten im Entfernungsbereich zwischen 50 m und 300 m aufweisen. Je nach Anwendungszweck können die Kameras der Stereokamera auch mit Optiken anderer Brennweiten ausgerüstet sein. Diese Kameraoptiken sind so ausgeführt, dass ein gesamter vorgegebener Entfernungsbereich insbesondere zwischen 3 m und 300 m abgedeckt wird. Grundsätzlich können auch noch kleinere Entfernungen abgedeckt werden.

30 Die Entfernungsbereiche der triangulatorischen Objekterfassung einerseits und der TOF-Entfernungserfassung andererseits sind aufeinander abgestimmt und können beispielsweise gleich sein. Auch eine Teilüberdeckung dieser Entfernungsbereiche ist möglich, sodass in einem

Entfernungsbereich beide Entfernungsbestimmungsprinzipien „triangulatorisch“ und „TOF“ zur Verfügung stehen und in anderen Entfernungsbereichen eines dieser Prinzipien.

5 Mittels der Kameras der mindestens einen Stereokamera kann eine Korrespondenzanalyse zur Identifizierung von sich von einem Hintergrund unterscheidenden, in einem interessierenden Sichtbereich vorliegenden Objekten stattfinden. Methoden einer entsprechenden Korrespondenzanalyse sind bekannt aus der WO 2022/069 424 A1 und der WO 2022/069 425 A2. Zur Vorbereitung eines Betriebs der Vorrichtung kann eine Stereo-Kalibrierung der Kameras der mindestens einen Stereokamera erfolgen, die grundsätzlich bekannt ist aus der WO 2022/069
10 424 A1 und der DE 10 2011 080 702 B3.

Die mindestens eine Stereokamera kann mehr als zwei zueinander beabstandete Kameras aufweisen, was insbesondere einen Wechsel zwischen verschiedenen Baselines ermöglicht, was ebenfalls beispielsweise in der WO 2022/069 424 A1 beschrieben ist.

15 Die Vorrichtung kann mindestens zwei Stereokameras mit relativ großer Baseline und mindestens eine weitere Stereokamera mit im Vergleich hierzu deutlich kleinerer Baseline aufweisen, wobei die kleinere Baseline höchstens 50 %, höchstens 25 % oder auch höchstens 10 % der größeren Baseline sein kann. Die Vorrichtung kann auch mehrere Stereokameras mit der kleinen
20 Baseline aufweisen.

Weitere Objektinformationen, insbesondere Objekt-Abstandsinformationen, können durch Auswertung eines Objekt-Schattenwurfs erfolgen, der von einem Objekt innerhalb der erfassten Umgebung als Schatten der Blitzbeleuchtung geworfen wird und von den beiden zueinander beab-
25 standeten Kameras der mindestens einen Stereokamera unterschiedlich abgebildet wird. Insbesondere eine Höhe des Objektes kann ermittelt werden, weil ein Bild eines Objektschattens von der Höhenlage und der seitlichen Ablage des Objekts abhängig ist.

30 Mit der Vorrichtung kann eine räumliche Bilderfassung der relativ zur Vorrichtung bewegten oder auch unbewegten Umgebung erreicht werden, die, beispielsweise beim Einsatz der Vorrichtung als Bestandteil eines Fahrzeugs, eine fahrerunterstützende Funktion oder auch die Funktion eines autonomen Fahrens ermöglicht.

Die Blitzlichtquelle der Vorrichtung oder eine weitere Lichtquelle der Vorrichtung zur Umgebungsbeleuchtung kann einen Messlichtstrahl aufweisen, der über seinen Strahlquerschnitt texturiert beziehungsweise strukturiert ist. Eine derartige Texturierung/Strukturierung des Messlichtstrahls kann dadurch erfolgen, dass dieser als Vielzahl von einzelnen, die Umgebung in Form eines Rasters erfassenden Einzelstrahlen aufgebaut ist. Eine derartige Lichtquelle zur Erzeugung eines texturierten/strukturierten Messlichtstrahls kann als Laser ausgeführt sein. Beispiele für eine Detektionseinrichtung, die mittels eines solchen texturierten/strukturierten Messlichtstrahls arbeitet, finden sich in der DE 10 2018 213 976 A1 und den dort angegebenen Referenzen, insbesondere in der WO 2012/095 258 A1, der US 9,451,237 und der WO 2013/020 872 A1. Mithilfe einer derartigen texturierten/strukturierten Beleuchtung können optisch unstrukturierte, insbesondere diffuse Streum Medien innerhalb der umfassten Umgebung hinsichtlich ihres Abstandes vermessen werden. Bei derartigen diffusen Streum Medien kann es sich beispielsweise um Nebel, Rauch oder Staub handeln.

Mittels der Vorrichtung zur räumlichen Bilderfassung kann eine Formredundanz und/oder eine Funktionsredundanz erreicht werden. Eine Formredundanz ist dann erreicht, wenn unterschiedliche Technologien zur Ermittlung ein und derselben Messgröße genutzt werden. Eine Funktionsredundanz liegt dann vor, wenn mehrere Vorrichtungen derselben Technologie zur Messung ein und derselben Messgröße verwendet werden. Diese Begriffe „Formredundanz“ und „Funktionsredundanz“ sind hauptsächlich im Bereich der Luftfahrt gebräuchlich. Dort wird eine Kombination aus Form- und Funktionsredundanz gefordert, damit Mehrfachauswirkungen eines Fehlers vermieden werden. Derartige Redundanzen können, je nach Applikation der Vorrichtung, gesetzlich vorgeschrieben sein.

Mindestens eine weitere Blitzlichtquelle und/oder mindestens eine weitere Stereokamera nach Anspruch 2 ermöglichen eine zusätzliche Funktionsredundanz der Vorrichtung. Bei Vorsehen mindestens einer weiteren Blitzlichtquelle kann beispielsweise nach Ausfall der zunächst eingesetzten Blitzlichtquelle auf die weitere Blitzlichtquelle umgeschaltet werden, sodass eine längere Betriebspause der Vorrichtung vermieden ist. Bei Einsatz mindestens einer weiteren Stereokamera kann, beispielsweise bei parallelem triangulatorischen Vermessen über zwei Stereokameras, eine weitere Redundanz bei der Objekt-Abstandsbestimmung erreicht werden.

Die Kameras der weiteren Stereokamera können wiederum jeweils ein Sensor-Array mit gesteuerter Vorgabe eines Detektionsbeginns und einer Detektionsdauer aufweisen, sodass die weitere Stereokamera in ihrer Funktion grundsätzlich die ursprünglich eingesetzte Stereokamera ersetzen kann. Auch eine redundante TOF-Bestimmung von Objekt-Abständen ist über zwei entsprechende Stereokameras mit gesteuerter Vorgabe des Detektionsbeginns und der Detektionsdauer möglich, was eine zusätzliche Sicherheit bei der Objekt-Abstandsbestimmung liefert und beispielsweise Synchronisationsprobleme erkennen hilft.

Bei Verwendung mehrerer Stereokameras ist zudem eine Zuordnung von Kameras verschiedener Stereokameras zu einer neuen „virtuellen“ Stereokamera mit entsprechend veränderter Baseline möglich, was eine weitere Redundanz beziehungsweise Sicherheit bei der Objekt-Abstandsbestimmung ermöglicht. Es kann beispielsweise dasjenige Kamerapaar zur Baseline-Vorgabe ausgewählt werden, welches sich in Bezug auf ein bestimmtes Umgebungs-Objekt für eine Triangulationsbestimmung als besonders günstig herausstellt.

Mindestens eine Fischaugen-Stereokamera nach Anspruch 3 ermöglicht den Einsatz zusätzlicher Triangulations-Baselines, was zur Erfassung weiterer Umgebungs-Objekte und/oder zur Kontrolle von Objekt-Abstandsergebnissen der anderen Stereokameras und/oder zur Kalibrierung der anderen Stereokameras, insbesondere von mit Tele-Optik-Kameras ausgeführten Stereokameras, genutzt werden kann. Bei der Haupteinfassungsrichtung kann es sich um die Vorwärtsrichtung einer Relativbewegung der Vorrichtung zur Umgebung handeln. Die Nutzung von Fischaugen-Kameras ist aus den oben genannten Referenzen sowie aus der WO 2022/179 998 A1 bekannt. Eine Fischaugen-Kamera, die möglichst steif an eine Tele-Optik-Kamera befestigt ist, erlaubt eine genauere Kalibrierung der Stereokameras zueinander, wegen des größeren Öffnungswinkels der Fischaugen-Kamera. Eine inertielle Messeinheit (Inertial Measurement Unit, IMU) in den Kameras der jeweiligen Stereokamera erlaubt eine weitere Optimierung der relativen Kalibrierung. Mittels der IMU kann insbesondere eine Drehrate, also eine Relativverkipfung der jeweiligen Kamera um eine definierte Kippachse, bestimmt werden.

Die Vorrichtung kann mehrere Fischaugen-Stereokameras beinhalten, was eine zusätzliche Redundanz ermöglicht. Auch die Kameras der mindestens einen Fischaugen-Stereokamera können

jeweils Sensor-Arrays mit gesteuerter Vorgabe eines Detektionsbeginns und einer Detektionsdauer aufweisen, sodass hierüber auch eine TOF-Bestimmung von Objekt-Abständen möglich ist. Grundsätzlich kann die mindestens eine Fischaugen-Stereokamera auch ohne TOF-Funktion ausgeführt sein. Soweit die Vorrichtung mehrere Fischaugen-Stereokameras aufweist, ist auch
5 möglich, dass mindestens eine der Fischaugen-Stereokameras mit TOF-Funktion und mindestens eine weitere der Fischaugen-Stereokameras ohne TOF-Funktion ausgeführt ist.

Grundsätzlich kann die Vorrichtung gemäß den obigen Ansprüchen so genutzt werden, dass hierüber mittels der TOF-Komponenten genau ein Entfernungsbereich erfasst wird, beispielsweise
10 im Abstandsbereich zwischen 30 m und 300 m, insbesondere zwischen 100 m und 200 m, zur Vorrichtung.

Die eingangs genannte Aufgabe ist zudem gelöst durch ein Betriebsverfahren mit den im Anspruch 5 angegebenen Merkmalen.

15 Das Betriebsverfahren nach Anspruch 5 ermöglicht einen Echtzeitbetrieb der Vorrichtung, sodass beispielsweise autonomes Fahren beim Einsatz der Vorrichtung als Bestandteil eines Fahrzeugs möglich ist.

20 Beim Betriebsverfahren nach Anspruch 5 wird ein abgedeckter Gesamt-Entfernungsbereich unterteilt in eine Mehrzahl von aneinander angrenzenden oder miteinander teilweise überlappenden Entfernungsbereichen. Es können dabei beispielsweise drei bis 100 derartige Entfernungsbereiche über entsprechende Bilderfassungsparameter vorgegeben werden, beispielsweise 50 Entfernungsbereiche, die innerhalb des Gesamt-Entfernungsbereichs liegen. Beim Betrieb der Vorrichtung kann der Gesamt-Entfernungsbereich über die vorgegebenen einzelnen Entfernungsbereiche
25 mehrmals in der Sekunde, beispielsweise mit einer Rate von 10 Hertz, erfasst werden. Beim Betrieb kann mit dem innerhalb des Gesamt-Entfernungsbereichs entferntesten Entfernungsbereich begonnen werden. Dies stellt sicher, dass beim Überschreiben von in einem vorhergehenden Erfassungsschritt erfassten Bildern mit einem jeweils zuletzt erfassten Bild in nicht herausgefilterten Bildbereichen des zuletzt erfassten Bildes nahe Objekte entferntere Objekte überschreiben,
30 sodass das Ergebnis des Betriebsverfahrens, nämlich das zuletzt aktualisierte, ausgegebene Bild,

in jedem Fall die der Vorrichtung nächst benachbarten Objekte darstellt, worauf dann beispielsweise durch Eingriff in eine Bewegung der Vorrichtung reagiert werden kann. Ein Zwischenspeichern von in jeweils vorhergehenden Erfassungsschritten erfassten Bildern kann dann entfallen, was die Geschwindigkeit des Verfahrensablaufs erhöht.

5

Das zuletzt aktualisierte, ausgegebene Bild ist ein 2D-Bild mit nicht herausgefilterten Objekten in allen innerhalb des Gesamt-Entfernungsbereichs erfassten Entfernungsbereichen. Auch im Laufe des Betriebsverfahrens überschriebene Informationen der innerhalb des Gesamt-Entfernungsbereichs früher erfassten Entfernungsbereiche können für eine unabhängige räumliche (3D-) Auswertung erhalten bleiben.

10

Zu den jeweils nicht herausgefilterten Objekten, die dem jeweiligen Erfassungsschritt zugeordnet sind, ergibt das Verfahren als Ergebnis einen Entfernungsbereich, in dem das Objekt relativ zur Vorrichtung vorliegt. Diese resultierenden Objekt-Entfernungsinformationen, die mittels der TOF-Bilderfassung ermittelt werden, ermöglichen im Zusammenspiel mit einer über die mindestens eine Stereokamera ermöglichten triangulatorischen Entfernungserfassung eine Formredundanz des Betriebsverfahrens.

15

Als Entfernungsinformation kann eine jeweils geringste Entfernung des erfassten Objekts ausgegeben werden oder auch eine Entfernung pro Objekt-Bildpunkt des jeweiligen Sensor-Arrays.

20

Insgesamt resultiert eine einerseits sichere und andererseits vorausschauende Bilderfassung, die an die Erfordernisse insbesondere einer Fahrerunterstützung oder auch eines autonomen Fahrens gut angepasst ist.

25

Beim digitalen Filtern zum Herausfiltern strukturloser Bildbereiche kann eine Stereo-Korrespondenzbestimmung zum Einsatz kommen, die beispielsweise beschrieben ist in der WO 2022/069 424 A1.

30

Ein zeitlicher Überlapp nach Anspruch 6 ermöglicht einen schnellen Ablauf des Betriebsverfahrens. Der zeitliche Überlapp kann derart sein, dass mindestens zwei Entfernungsbereiche mit

gleichzeitigem Detektionsbeginn und gleicher Detektionsdauer mit den Sensor-Arrays gleichzeitig erfasst werden, wobei diese Erfassungsbereiche durch unterschiedliche Vorgabe des jeweiligen Blitzlichtbeleuchtungsbeginns und/oder der jeweiligen Blitzbeleuchtungsdauer hinsichtlich ihrer Bilderfassungsparameter vorgegeben werden. Es ist auch möglich, die Wiederholungssequenz des Betriebsverfahrens so zu gestalten, dass tatsächlich eine Detektion genau zu einem Zeitraum, also bei einem vorgegebenen Detektionsbeginn und mit einer vorgegebenen Detektionsdauer, für alle vorgegebenen Entfernungsbereiche erfolgt. Durch diese gleichzeitige Detektionserfassung von mindestens zwei Erfassungsbereichen kann ein Bildverarbeitungsaufwand reduziert und eine Beschleunigung des gesamten Verfahrens erreicht werden.

10

Sich voneinander unterscheidende Entfernungs-Ausdehnungen der Entfernungsbereiche nach Anspruch 7 ermöglichen insbesondere, eine Entfernungs-Empfindlichkeit abhängig von der Entfernung vorzugeben, was ebenfalls hilft, eine Ablaufdauer des Betriebsverfahrens zu verkürzen. Mit zunehmender Entfernung kann beispielsweise die Entfernungs-Ausdehnung des jeweiligen Entfernungsbereiches vergrößert werden, insbesondere progressiv vergrößert werden.

15

Eine zusätzliche Triangulationsbestimmung nach Anspruch 8 ermöglicht einen Abgleich von Objekt-Abstandswerten, die einerseits über das Entfernungsbereich-aufgelöste Erfassen mithilfe der TOF-Bilderfassungsparameter und andererseits mittels der Triangulation bestimmt wurden.

20

Eine ROI-Vorgabe nach Anspruch 9 ermöglicht eine Reduktion der zu verarbeitenden Bilddaten, was das Verfahren zudem verkürzen kann. Bei der vorgegebenen ROI kann es sich um einen Straßenbereich in der Vorwärtsrichtung handeln.

25

Ein Betriebsverfahren nach Anspruch 10 kann alternativ oder zusätzlich zum vorstehend erläuterten Betriebsverfahren zum Einsatz kommen. Ein derartiges Betriebsverfahren ermöglicht eine redundante Entfernungsbestimmung eines jeweiligen Objektabstandes. Hierüber kann insbesondere eine Formredundanz bereitgestellt werden, also eine Redundanz, gegeben durch Verwendung unterschiedlicher Technologien zur Entfernungserfassung.

30

Die Nutzung der erfassten TOF-Entfernung als Eingangsgröße für die triangulatorische Erfassung nach Anspruch 11 kann eine Korrespondenzanalyse bei der triangulatorischen Erfassung

erleichtern. Insbesondere kann bei der Korrespondenzanalyse ein abzudeckender Disparitätsbereich eingegrenzt werden. Umgekehrt kann auch die triangulatorisch erfasste Entfernung als Einganggröße für eine TOF-Erfassung genutzt werden. Die Verwendung einer erfassten Objektentfernung kann im Betrieb der Vorrichtung zum Nachverfolgen beziehungsweise Tracken von erfassten Objekten genutzt werden. Es kann genau ein derartiges Objekt nachverfolgt werden oder auch eine Mehrzahl derartiger Objekte kann gleichzeitig nachverfolgt werden. Objekt-Nachverfolgungsschritte können sich mit Erfassungsschritten eines gesamten vorgegebenen Entfernungsbereichs abwechseln. Zum Objekt-Tracken können Bilderfassungsparameter der TOF-Entfernungserfassung und/oder der triangulatorischen Entfernungserfassung an eine bei der Nachverfolgung zu erwartende Objektentfernung angepasst werden.

Eine Blitzintensitäts-/Entfernungsbereichs-Abstimmung nach Anspruch 12 ermöglicht es insbesondere, einen Rückschluss auf im Blitzlicht- und/oder im Kamera-Erfassungsweg vorliegende diffuse Streumediten zu ziehen. Ein sicherer Vorrichtungsbetrieb auch in nebliger, staubiger oder verrauchter Umgebung ist dann möglich.

Eine quadratische Abhängigkeit der Blitzintensität von der zu erfassenden Entfernung nach Anspruch 13 ermöglicht insbesondere dann, wenn sich die Beleuchtungsintensität quadratisch mit wachsendem Entfernungsbereich erhöht, eine Abstimmung derart, dass bei identischer Umgebung-Rückstreuung und zu vernachlässigender Streuung längs eines Blitz- und längs eines Erfassungsweges zwischen Quelle und Objekt eine Aussteuerung einer konstanten Intensitätsausleuchtung des mindestens einen Sensor-Arrays. Dies kann zur Bestimmung diffuser Streumediten im erfassten Entfernungsbereich genutzt werden.

Eine Regelung einer Pixelempfindlichkeit nach Anspruch 14 kann insbesondere nicht linear zur einfallenden Lichtintensität erfolgen. Es kann insbesondere eine Gamma-Korrektur (γ) erfolgen. Die Empfindlichkeit des mindestens einen Sensor-Arrays kann dann spezifisch an bei der Anwendung vorliegende Beleuchtungs- und/oder Detektionsverhältnisse angepasst werden.

Eine angepasste Entfernungsbereichs-/Bewegungsmodus-Auswahl nach Anspruch 15 ermöglicht eine effiziente Ausnutzung insbesondere einer Rechnerleistung der Vorrichtung und kann auch eine Betriebssicherheit erhöhen.

Bei der Auswertung mit triangulatorischer Stereoskopie bei binokularem Sehen werden zwei Bilder verglichen, so dass eventuelle Helligkeitsänderungen durch veränderte Dichteverläufe in erster Näherung vernachlässigt werden können. Bei Vergleich der Bilder mit trainierten Daten
5 (Neuronale Netze, KI) bei monokularem Sehen erhöht eine homogene Helligkeitsverteilung über die Entfernung die Entdeckungsleistung, sich verändernde Dichteverteilungen erschweren dagegen eine sichere Objekterkennung.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert.

10 In dieser zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Aufsicht auf eine Vorrichtung zur räumlichen Bilderfassung einer relativ zur Vorrichtung bewegten Umgebung, wobei ein Umgebungs-Objekt in Vorwärtsrichtung einer Relativbewegung der Vorrichtung zur Umgebung beispielhaft und perspektivisch veranschaulicht ist;
15

Fig. 2 ein Zeitdiagramm zur Verdeutlichung von Bilderfassungsparametern beim Betrieb der Vorrichtung nach Fig. 1;

20 Fig. 3 in einer zur Fig. 1 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführung einer Vorrichtung zur räumlichen Bilderfassung einer relativ zur Vorrichtung bewegten Umgebung, wobei Umgebungs-Objekte in Vorwärtsrichtung einer Relativbewegung der Vorrichtung zur Umgebung beispielhaft und perspektivisch veranschaulicht sind;

25 Fig. 4 in einer zur Fig. 2 ähnlichen Darstellung einen zeitlichen Ablauf eines Betriebsverfahrens der Vorrichtung nach Fig. 3; und

Fig. 5 in einer Seitenansicht Hauptkomponenten einer Ausführung der Vorrichtung bei der räumlichen Bilderfassung einer Umgebung innerhalb von drei beispielhaften Entfernungsparemtern, wobei innerhalb der erfassten Umgebung ein wolkenförmiges diffuses Streumedium vorliegt.
30

Fig. 1 zeigt eine Aufsicht auf eine Vorrichtung 1 zur räumlichen Bilderfassung einer relativ zu der Vorrichtung 1 bewegten Umgebung, die anhand eines Umgebungs-Objekts 2 in Form eines zylindrischen Körpers veranschaulicht ist.

- 5 Die Vorrichtung 1 kann Bestandteil eines Fahrzeugs 3, beispielsweise eines PKW oder eines LKW, sein. Eine Vorwärtsrichtung der Relativbewegung der Vorrichtung 1 zur Umgebung ist in der Fig. 1 durch einen Pfeil 4 veranschaulicht.

Die Vorrichtung 1 hat mehrere Stereokameras zur triangulatorischen Objekt-Abstandsmessung
10 von Objekten innerhalb der erfassten Umgebung in der Vorwärtsrichtung 4, also insbesondere zur Abstandsbestimmung des Objekts 2.

Eine erste Stereokamera 5 dieser Stereokameras hat zwei zueinander beabstandete Kameras 5₁, 5₂. Ein Abstand A dieser Kameras 5₁, 5₂ der Stereokamera 5 ergibt eine Länge einer Baseline der
15 Stereokamera 5, also eine Länge eines Abstandes von Zentren von Eintrittspupillen der Kameras 5₁, 5₂ der Stereokamera. Die Kameras 5₁, 5₂ der Stereokamera 5 haben jeweils ein Sensor-Array 6₁, 6₂ mit gesteuerter Vorgabe eines Detektionsbeginns der jeweiligen Kamera 5₁ und 5₂ und einer Detektionsdauer der jeweiligen Kamera 5₁, 5₂. Die Sensor-Arrays 6₁, 6₂ sind nach Art entsprechender Sensoren von Time of Flight (TOF)-Kameras ausgeführt und können eine Detekti-
20 onsdauer im Bereich zwischen 1 ns und 500 ns realisieren. Eine typische Detektionsdauer liegt im Bereich zwischen 50 ns und 400 ns, beispielsweise zwischen 150 ns und 250 ns.

Die Sensor-Arrays 6₁, 6₂ können jeweils 100 x 100 Pixel oder auch 200 x 200 Pixel aufweisen. Grundsätzlich ist auch eine höhere Pixelanzahl möglich, insbesondere eine Anzahl von 640 x
25 480 oder auch von 1440 x 1080 Pixeln.

Die Sensor-Arrays 6₁, 6₂ können als CMOS-Array ausgeführt sein.

Die Kameras 5₁, 5₂ haben eine Tele-Optik zur Erfassung von Objekten im Entfernungsbereich
30 zwischen 50 m und 300 m.

Zur Vorrichtung 1 gehört weiterhin eine Blitzlichtquelle 7, die ebenfalls nach Art der Lichtquelle einer TOF-Kamera ausgeführt sein kann und eine gesteuerte Vorgabe eines Blitzbeleuchtungsbeginns und einer Blitzbeleuchtungsdauer aufeinander folgender Beleuchtungsblitze ermöglicht. Eine Blitzbeleuchtungsdauer kann im Bereich zwischen 5 ns und 150 ns, beispielsweise im Bereich von 100 ns liegen.

Fig. 2 verdeutlicht einen zeitlichen Ablauf beim Betrieb der Vorrichtung 1 mit der Stereokamera 5 und der Blitzlichtquelle 7. Zu einem Zeitpunkt $t = 0$ beginnt ein Beleuchtungsblitz der Blitzlichtquelle 7. $t = 0$ stellt somit den Beleuchtungsblitzbeginn eines in der Fig. 2 schematisch als Signalkasten dargestellten Beleuchtungsblitzes 8 dar. Eine Blitzbeleuchtungsdauer des Beleuchtungsblitzes 8 ist in der Fig. 2 mit Δt_{flash} angegeben.

Ebenfalls zum Zeitpunkt $t = 0$ startet eine Verzögerungszeit Δt_{lag} , die auch als Delay-Zeit bezeichnet ist. Diese Verzögerungszeit Δt_{lag} liegt im Bereich zwischen 300 ns und 2 ms und kann beispielsweise im Bereich zwischen 500 ns und 1 ms, zum Beispiel im Bereich zwischen 700 ns und 900 ns, zum Beispiel bei 800 ns, liegen.

Nach Ablauf des Delay-Zeitraums Δt_{lag} beginnt zum Zeitpunkt $t = t_E$ eine Detektion 9 durch das jeweilige Sensor-Array 6₁ beziehungsweise 6₂ der Stereokamera 5. t_E stellt somit den Detektionsbeginn dar. Das jeweilige Sensor-Array 6₁, 6₂ detektiert einfallendes Licht der Blitzlichtquelle 7 dann während einer Detektionsdauer Δt_{exp} .

Die Detektion 9 durch das jeweilige Sensor-Array 6₁, 6₂ der Stereokamera 5 ist in der Fig. 2 wiederum durch einen zeitlichen Kasten veranschaulicht.

Die vorstehend erläuterten Bilderfassungsparameter, nämlich der Blitzbeleuchtungsbeginn ($t = 0$), die Blitzbeleuchtungsdauer Δt_{flash} , der Detektionsbeginn ($t = t_E$) und die Detektionsdauer Δt_{exp} werden zeitlich synchronisiert von einer Steuereinrichtung 10 der Vorrichtung 1 vorgegeben. Hierzu kann eine Synchronisationseinheit einer Synchronisationseinrichtung der Steuereinrichtung 10 genutzt werden.

Die Steuereinrichtung 10 hat einen Bildprozessor zur Echtzeit-Datenverarbeitung. Hierbei kann es sich um einen Prozessor mit einem Field Programmable Gate Array (FPGA, im Feld programmierbare Logik-Gatter-Anordnung) handeln. Der Bildprozessor kann auf ein ultraschnelles, mittels der Steuereinrichtung 10 getriggertes Image Grabbing der von den Sensor-Arrays 6_i erfassten Einzelbilder getrimmt sein.

Aufgrund der synchronisierten Vorgabe des Blitzlichtbeleuchtungsbeginns und des Detektionsbeginns gibt die Steuereinrichtung 10 zwangsläufig auch den Delay-Zeitraum Δt_{lag} zwischen dem Beleuchtungsblitzbeginn ($t = 0$) und dem Detektionsbeginn ($t = t_E$) der Vorrichtung 1 vor.

Korreliert mit der Lichtgeschwindigkeit ergibt sich ein mittels der Stereokamera 5 erfasster Entfernungsbereich 11 in der Vorwärtsrichtung 4 der Vorrichtung 1. Das Objekt 2 hat zur Vorrichtung 1 einen Abstand längs der Vorwärtsrichtung 4, der innerhalb dieses Entfernungsbereichs 11 liegt, sodass das Objekt 2 von der Stereokamera 5 erfasst wird. Der erfasste Entfernungsbereich 11 ist von der Vorrichtung 1 etwa um 100 m bis 150 m beabstandet und hat längs der Vorwärtsrichtung 4 eine Ausdehnung von beispielsweise 30 m.

Dieser Abstand ist in der Fig. 1 bei 12 angegeben und ist im Vergleich zum Entfernungsbereich 11 nicht maßstäblich.

Aufgrund der Erfassung über die beiden Kameras 5₁, 5₂ der Stereokamera 5 ergibt sich eine räumliche Bilderfassung des Objekts 2. Triangulatorisch kann dann redundant zur TOF-Abstandsmessung über den Delay-Zeitraum Δt_{lag} auch eine Referenz-Abstandsbestimmung des Objekts 2 zur Vorrichtung 1 vorgenommen werden. Bei der Vorrichtung 1 handelt es sich also prinzipiell um eine TOF-Kamera mit zusätzlicher Triangulation.

Die Stereokamera 5 kann zudem eine Korrespondenzanalyse von mit den beiden Kameras 5₁, 5₂ aufgenommenen Kamera-Einzelbildern durchführen, um stereoskopisch erfasste Objekte von Hintergrundrauschen, das nur bei einer der beiden Kameras 5₁, 5₂ vorliegt, zu trennen. Eine derartige Korrespondenzanalyse ist beispielsweise beschrieben in der WO 2022/069424 A1 und in der WO 2022/069425 A2.

Initial kann bei der Stereokamera 5 eine Stereo-Kalibrierung insbesondere von Ausrichtungen und Lagen der Kameras 5₁, 5₂ der Stereokamera 5 mithilfe eines Verfahrens durchgeführt werden, das ebenfalls beschrieben ist in der WO 2022/069424 A1. Hinsichtlich der Kalibrierung wird auch auf die DE 10 2011 080 702 B3 verwiesen.

5

Bei der räumlichen Bilderfassung mittels der Vorrichtung 1 kann eine mittels des TOF-Prinzips erfasste TOF-Entfernung mindestens eines erfassten Objekts mit einer triangulatorischen Entfernung des Objekts, die mittels der mindestens einen Stereokamera mittels der triangulatorischen Prinzips erfasst wurde, abgeglichen werden. Die TOF-Entfernung kann dabei beispielsweise als
10 Eingangsgröße für die triangulatorische Erfassung genutzt werden. Hierüber kann die Korrespondenzanalyse bei der triangulatorischen Erfassung, beispielsweise durch Eingrenzung eines bei der Korrespondenzanalyse abzudeckenden Disparitätsbereichs, erleichtert werden.

Mithilfe der über die Kameras 5₁, 5₂ der Stereokamera 5 erfassten Bilder des mittels der Blitzlichtquelle 7 beleuchteten Objekts 2 kann auch eine Schattenerfassung eines vom Objekt 2 geworfenen Schattens für das Beleuchtungslicht der Blitzlichtquelle 7 erfolgen. Mittels einer derartigen Schattenwurf-Auswertung des unterschiedlichen Schattenwurfes des Objekts 2, aufgenommen durch die beiden Kameras 5₁, 5₂ der Stereokamera 5, ist eine zusätzlich redundante Ermittlung des Abstandes des Objekts 2 zur Vorrichtung 1 möglich.
15

20

Die Vorrichtung 1 hat eine weitere Blitzlichtquelle 13, deren Funktion derjenigen der Blitzlichtquelle 7 entspricht, die also ebenfalls zur gesteuerten Vorgabe eines Blitzbeleuchtungsbeginns und einer Blitzbeleuchtungsdauer aufeinander folgender Beleuchtungsblitze dient. Die weitere Blitzlichtquelle 13 kann redundant zur zunächst beschriebenen Blitzlichtquelle 7 zum Einsatz
25 kommen, beispielsweise bei einem Ausfall der zunächst beschriebenen Blitzlichtquelle 7. Während des Betriebs der weiteren Blitzlichtquelle 13 kann die zunächst beschriebene Blitzlichtquelle 7 dann beispielsweise ausgetauscht werden, sodass ein lückenloser Betrieb der Vorrichtung 1 beispielsweise während einer zu überwachenden Fahrt des PKW oder LKW, auf dem die Vorrichtung 1 montiert ist, möglich ist.

30

Die Vorrichtung 1 hat eine weitere Stereokamera 14 mit Kameras 14₁, 14₂, deren Aufbau und Funktion dem entspricht, was vorstehend unter Bezugnahme auf die Stereokamera 5 bereits erläutert wurde. Die Stereokamera 14₁ ist der Stereokamera 5₁ direkt benachbart angeordnet und deckt praktisch das gleiche Sichtfeld in der Vorwärtsrichtung 4 ab, wie die Kamera 5₁. Die Kamera 14₂ ist wiederum der Kamera 5₂ direkt benachbart angeordnet und deckt in der Vorwärtsrichtung 4 das gleiche Sichtfeld ab, wie die Kamera 5₂.

Die Stereokamera 14 ist wiederum redundant zur Stereokamera 5. Hier gilt, was zu den Blitzlichtquellen 7 und 13 ausgeführt wurde.

Die Vorrichtung 1 hat weiterhin eine Fischaugen-Stereokamera 15 mit zwei Paaren 15₁, 15₂ einerseits und 15₃, 15₄ andererseits. Jede dieser Fischaugen-Kameras 15_i (i = 1 bis 4) dient zur Erfassung der Umgebung um die Vorrichtung 1 sowohl in der Vorwärtsrichtung 4 als auch in hierzu lateraler Richtung (vgl. Pfeil 16 in Fig. 1). Die beiden in der Fig. 1 links am Fahrzeug 3 angeordneten Fischaugen-Kameras 15₁ und 15₂ haben eine Haupt-Erfassungsrichtung 17, die wie die Haupterfassungsrichtungen der Kameras 5_i und 6_i horizontal verläuft, aber im Falle der Fischaugen-Kameras 15₁ und 15₂ einen Winkel von 45 ° zur Vorwärtsrichtung 4 einnimmt. Diese Fischaugen-Kameras 15₁, 15₂ decken also sowohl die Vorwärtsrichtung 4 als auch die zur lateralen Richtung 16 entgegengesetzte seitliche Richtung (links in der Fig. 1) des Fahrzeugs 3 ab, an dem die Vorrichtung 1 montiert ist. Entsprechend decken die beiden weiteren Fischaugen-Kameras 15₃, 15₄, deren Haupterfassungsrichtungen 18 ebenfalls einen Winkel von 45 ° zur Vorwärtsrichtung 4 einnehmen, neben der Vorwärtsrichtung 4 auch einen rechtsseitigen Bereich in der lateralen Richtung 16 ab.

Die Fischaugen-Kameras 15_i haben einen Erfassungswinkel um die Haupt-Erfassungsrichtungen 17, 18 von 180 °. Grenzwinkel der Erfassungsbereiche dieser Fischaugen-Kameras 15_i sind in der Fig. 1 gestrichelt angedeutet. Diese Öffnungsbereiche überlappen in einem Überlapp-Bereich 19, der in der Fig. 1 durch eine Schraffur angedeutet ist. In diesem Überlapp-Bereich 19 liegt insbesondere das Objekt 2.

Die Beleuchtungslichtquelle 7 strahlt Blitzlicht der Beleuchtungsblitze längs der Vorwärtsrichtung in einem Beleuchtungskegel ab, dessen Randstrahlen in der Fig. 1 bei 8a veranschaulicht

sind. Das Objekt 2 und auch der Überlappbereich 19 liegen innerhalb des Beleuchtungskegels 8a der Blitzlichtquelle 7.

Die Fischaugen-Stereokamera 15 kann wahlweise eine triangulatorische Objekt-Abstandsbestimmung mittels mindestens zweier der insgesamt vier Fischaugen-Kameras 15_i durchführen, wobei mit kurzen Baselines, Abstände der Fischaugen-Kameras 15₁, 15₂ einerseits beziehungsweise 15₃, 15₄ andererseits oder auch mit langen Baselines (Abstände der Fischaugen-Kameras 15₁ und 15₃ oder 15₁ und 15₄ oder 15₂ und 15₃ oder 15₂ und 15₄) gearbeitet werden kann. Hierüber lässt sich wiederum eine redundante triangulatorische Objekt-Abstandsbestimmung vornehmen.

Die Nutzung derartiger zusätzlicher Triangulations-Baselines sind beispielsweise beschrieben in der WO 2022/069424 A1 und in der WO 2022/179998 A1.

Die Vorrichtung 1 hat zudem eine weitere Fischaugen-Stereokamera 20 mit Fischaugen-Kameras 20₁ bis 20₄, die in ihrem Aufbau, ihrer Ausrichtung und paarweisen Anordnung den Fischaugen-Kameras 15₁ bis 15₄ entsprechen. Die Fischaugen-Stereokamera 20 kann redundant zur Fischaugen-Stereokamera 15 zum Einsatz kommen. Hier gilt entsprechend, was vorstehend zu den Blitzlichtquellen 7 und 13 beziehungsweise zu den Stereokameras 5 und 14 ausgeführt wurde.

Die Kameras 15_i der Fischaugen-Stereokamera 15 haben wiederum Sensor-Arrays nach Art der vorstehend beschriebenen Sensor-Arrays 6_i, können also wiederum als Bestandteil einer TOF-Erfassung genutzt werden, wie vorstehend bereits erläutert.

Die Steuereinrichtung 10 steht mit den Stereokameras 5, 14, 15 und 20 und mit den Blitzlichtquellen 7 und 13 in Signalverbindung. Weiterhin kann die Steuereinrichtung 10 mit Komponenten des Fahrzeugs 3 in Signalverbindung stehen, beispielsweise mit einem Antrieb und/oder mit einer Bremsanlage und/oder mit Fahrzeug-Anzeigevorrichtungen, beispielsweise in einem Armaturenbrett des Fahrzeugs 3.

Beim Echtzeitbetrieb kann die Vorrichtung 1 eine Bildaufnahme von beispielsweise zehn Bildern pro Sekunde vornehmen.

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführung einer Vorrichtung 21, die anstelle der Vorrichtung 1 zur räumlichen Bilderfassung einer relativ zur Vorrichtung bewegten Umgebung eingesetzt werden kann. Komponenten und Funktionen der Vorrichtung 21, die denjenigen der Vorrichtung 1 entsprechen, tragen insbesondere die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

Die Vorrichtung 21 ist mit zwei Stereokameras 5, 14 ausgerüstet, die die Umgebung der wiederum auf ein Fahrzeug 3 montierten Vorrichtung 21 in der Vorwärtsrichtung 4 erfassen. Veranschaulicht sind innerhalb dieser erfassten Umgebung drei Umgebungs-Objekte 22, 23 und 24.

Mit der Vorrichtung 21 ist insbesondere ein in der Vorwärtsrichtung 4, die auch als z-Richtung bezeichnet ist, z-gepufferter (z-buffered) Betrieb möglich, bei dem ein Gesamt-Entfernungsreich 25 längs der Vorwärtsrichtung 4, innerhalb dem die Objekte 22 bis 24 liegen, in eine Mehrzahl von Entfernungsbereiche 22₁ bis 22_{max}, also in Entfernungsbereiche 22_i ($i = 1$ bis max) unterteilt wird. Die maximale Anzahl max dieser Entfernungsbereiche 22_i kann im Bereich zwischen 3 und 50 liegen, beispielsweise im Bereich von 10. Diese Entfernungsbereiche 22_i werden auch als Entfernungszonen (gate zones) gz bezeichnet.

Beim entsprechenden Z-Buffering-Betrieb der Vorrichtung 21 werden zunächst die Bilderfassungsparameter Beleuchtungsblitzbeginn ($t = 0$), Beleuchtungsblitzdauer ($\Delta t_{flash, gz-1}$), ein Detektionsbeginn ($t = t_E$) und eine Detektionsdauer ($\Delta t_{exp, gz-1}$) vorgegeben.

Diese Bilderfassungsparameter-Vorgabe erfolgt wiederum mittels der Steuereinrichtung 10.

Der Entfernungsbereich gz-1, also beispielsweise der Entfernungsbereich 22_{max}, wird dann mit den so vorgegebenen Bilderfassungsparametern erfasst.

Über die Steuereinrichtung 10 werden weitere Bilderfassungsparameter vorgegeben, nämlich ein weiterer Blitzlichtbeginn ($t = t_{flash}$), eine weitere Blitzlichtdauer ($\Delta t_{flash, gz}$), ein weiterer Detektionsbeginn ($t = t_{E1}$) und eine Detektionsdauer ($\Delta t_{exp, gz}$). Diese Vorgabe ist so gewählt, dass ein

Delay-Zeitraum ($\Delta t_{\text{lag, gz}}$) bei diesen weiteren vorgegebenen Bilderfassungsparametern etwas kürzer ist als der zunächst vorgegebene Delay-Zeitraum $\Delta t_{\text{lag, gz-1}}$. Dies bedingt, dass bei der Erfassung mit den zuletzt vorgegebenen Bilderfassungsparametern ein weiterer Erfassungsbereich gz erfasst wird, der den zunächst erfassten Entfernungsbereich gz-1, also den Entfernungsbereich 22_{max}, zu kürzeren Abständen zur Vorrichtung 21 hin benachbart ist.

Der weitere Entfernungsbereich gz grenzt an den vorhergehenden Entfernungsbereich gz-1 längs der Vorwärtsrichtung 4 in einer Erfassungsfortschrittsrichtung +z an oder überlappt mit diesem teilweise.

In diesem nun erfassten Erfassungsbereich gz liegt das Objekt 24.

Es erfolgt nun ein digitales Filtern des zuletzt erfassten Bildes im Entfernungsbereich gz zum Herausfiltern strukturloser Bildbereiche, sodass das Objekt 24 übrigbleibt. Anschließend wird das im der Erfassung des Entfernungsbereichs gz vorhergehenden Erfassungsbereich (Erfassung des Entfernungsbereichs gz-1) erfasste Bild mit dem zuletzt erfassten Bild (Entfernungsbereich gz) in nicht herausgefilterten Bildbereichen, also im Bereich des Objekts 24, dieses zuletzt erfassten Bildes überschrieben, sodass in der Steuereinrichtung 10 ein aktualisiertes Bild abgelegt wird, welches die Informationen aus den beiden Entfernungsbereichen gz-1 und gz beinhaltet.

Die Steuereinrichtung 10 gibt im Betrieb weitere Bilderfassungsparameter vor, sodass ein weiterer Entfernungsbereich gz+1 erfasst wird, der sich wiederum entgegen der Vorwärtsrichtung 4 an dem Entfernungsbereich gz anschließt beziehungsweise mit diesem teilweise überlappt.

Nun werden die zuletzt beschriebenen Schritte Erfassen, Filtern, Überschreiben und Bilderfassungsparameter-Vorgeben für diesen Entfernungsbereich gz+1 sowie weitere Entfernungsbereiche 22₄, 22₃, 22₂ und 22₁ wiederholt, bis der vorgegebene Gesamt-Entfernungsbereich 25 abgedeckt ist, der sich aus der Überlagerung der erfassten Entfernungsbereiche 22₁ bis 22_{max} ergibt. Im Zuge dieser Sequenzen werden im jeweils für den Entfernungsbereich 22_i aktualisierten Bild die Bildbereiche am Ort der weiteren Objekte 23 (Entfernungsbereich 22₂) und 22 (Entfernungsbereich 22₁) überschrieben, sodass im zuletzt aktualisierten Bild alle drei Objekte 22 bis 24 mit

ihren über die Zuordnung zum jeweiligen Entfernungsbereich 22_i bestimmten Objekt-Abständen zur Vorrichtung 1 ausgegeben werden.

Die Anzahl i ($i = 1$ bis $\max$) der Entfernungsbereiche 22_i , die während des Betriebsverfahrens erfasst werden, kann beispielsweise bei 50 liegen. Das Betriebsverfahren mit Abrastern aller Entfernungsbereiche $22_{\max}$ bis 22_1 kann im 10 Hertz-Betrieb in Echtzeit stattfinden. Das Ergebnis eines solchen kompletten Abrasterung-Vorgangs der Entfernungsbereiche $22_{\max}$ bis 22_1 ist ein 2D-Bild mit den nicht herausgefilterten Objekten 22, 23 und 24 in allen innerhalb des Gesamt-Entfernungsbereichs 25 erfassten Entfernungsbereichen 22_i . Auch überschriebene Informationen der innerhalb des Gesamt-Entfernungsbereichs 25 zunächst erfassten Entfernungsbereiche $22_{\max}$ bis 22_2 können beim zuletzt aktualisierten, ausgegebenen Bild nach Erfassung des Entfernungsbereichs 22_1 für eine unabhängige räumliche (3D-) Auswertung erhalten bleiben.

Wie die Fig. 4 veranschaulicht, können aufeinanderfolgende Erfassungsschritte für Entfernungsbereiche $gz-1$ und gz zeitlich miteinander überlappen. Auch mehr als zwei derartiger Erfassungsschritte können zeitlich miteinander überlappen, sodass beispielsweise während eines Delay-Zeitraums bei der Erfassung eines ersten Entfernungsbereichs gz ein Blitzlichtbeginn mindestens einer weiteren Erfassung eines weiteren Entfernungsbereichs $gz+1$, $gz+2$ stattfindet. Auch ein Detektionszeitraum einer vorhergehenden Erfassung kann beispielsweise mit einem Blitzzeitraum einer nachfolgenden Erfassung überlappen.

Entfernungs-Ausdehnungen Δz der verschiedenen Entfernungsbereiche 22_i , 22_j können sich voneinander unterscheiden. Es können sich also die Detektionsdauern bei den verschiedenen Erfassungsschritten des Betriebsverfahrens unterscheiden.

Nach dem Erfassen eines jeweiligen Entfernungsbereichs 22_i kann zusätzlich eine Triangulations-Bestimmung einer Entfernung der Objekte 22 bis 24 in den nicht herausgefilterten Bildbereichen mithilfe der mindestens einen Stereokamera 5, 14 erfolgen. Hierbei kann wiederum eine Stereo-Korrespondenzbestimmung stattfinden, wie vorstehend bereits erläutert.

Vor einem jeweiligen Erfassungsschritt des Betriebsverfahrens kann eine Region of Interest (ROI) als Teil eines über die jeweilige Kamera 5_i , 14_i erfassbaren Bildfeldes vorgegeben werden,

beispielsweise ein durch entsprechende Objektfilterung identifizierter Straßenbereich in der Vorwärtsrichtung 4.

Fig. 5 zeigt eine Seitenansicht einer weiteren Ausführung der Bilderfassungs-Vorrichtung 1.

- 5 Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 4 bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

10 Anhand der Fig. 5 wird der Einsatz der Vorrichtung 1 zur Bestimmung und Erkennung eines diffusen Streumediums längs eines Blitzlichtweges 28 zwischen der Blitzlichtquelle 7 und einem beispielhaften Umgebungs-Objekt 2 erläutert. Dargestellt ist in der Fig. 5 beispielhaft die Kamera 5₁ der Stereokamera 5, die neben der triangulatorischen Entfernungsbestimmung auch eine TOF-Entfernungsbestimmung ermöglicht.

- 15 Beim Erfassungsbeispiel nach Fig. 5 erfasst die Vorrichtung 1 insgesamt drei Entfernungsbereiche 22₁, 22₂, 22₃ durch Vorgabe entsprechender TOF-Bilderfassungsparameter. Der erste, nächste Entfernungsbereich 22₁ erstreckt sich um einen ersten Abstand d₁. Der nächstentfernte weitere Entfernungsbereich 22₂ erstreckt sich um einen zweiten Abstand d₂, für den gilt: d₂ = 2 x d₁. Der nächstentfernte, dritte Entfernungsbereich 22₃ erstreckt sich um einen dritten Abstand d₃,
20 für den gilt: d₃ = 3 x d₁.

Zur Vorgabe der Bilderfassungsparameter für die drei Entfernungsbereiche 22₁ bis 22₃ gehört neben der Vorgabe der TOF-Bilderfassungsparameter „Beleuchtungsbeginn“, „Beleuchtungsdauer“, „Detektionsbeginn“ und „Detektionsdauer“ auch eine Vorgabe einer Blitzintensität I_i zur Ausleuchtung des jeweiligen Entfernungsbereichs 22_i. Die Blitzintensität I₂ zur Ausleuchtung
25 des Entfernungsbereichs 22₂ ist viermal so groß wie die Blitzintensität I₁ zur Ausleuchtung des ersten, nächstgelegenen Entfernungsbereichs 22₁. Die Blitzintensität I₃ zur Ausleuchtung des im Beispiel nach Fig. 5 entferntesten, dritten Entfernungsbereichs 22₃ ist neunmal so groß wie die Blitzintensität I₁. Die Blitzintensität I_i hängt also quadratisch von einer Entfernung d_i innerhalb eines insgesamt zu erfassenden Gesamt-Entfernungsbereichs 25 ab.

30 Unter Voraussetzung einer konstanten Reflektivität beziehungsweise eines konstanten Streuvermögens einer Umgebungs-Oberfläche 29 ergibt sich aufgrund dieser quadratischen Abhängigkeit

der Beleuchtungsintensität I_i von der Entfernung d_i , dass das Sensor-Array 6₁ der Kamera 5₁ eine konstante Intensitätsausleuchtung bei der Bilderfassung der drei Entfernungsbereiche 22₁, 22₂ und 22₃ erfährt. Diese konstante Intensitätsausleuchtung des Sensor-Arrays 6₁ liegt nur dann vor, wenn längs Blitzlichtwegen 3₁₁, 3₁₂, 3₁₃ zwischen der Blitzlichtquelle 7 und der Umgebung in den Entfernungsbereichen 22₁ bis 22₃ keine wesentliche Streuung des Beleuchtungsblitzes 8 durch das diffuse Streumedium 27 vorliegt. Anders ausgedrückt: Ungleichheiten einer Intensitätsausleuchtung des Sensor-Arrays 6₁ längs der Erfassungswege 30_i bei der vorgegebenen quadratischen Abhängigkeit der Beleuchtungsintensität I_i von der Entfernung d_i innerhalb des zu erfassenden Entfernungsbereiches 22_i sind ein Hinweis auf das Vorliegen des diffusen Streumediums 27.

Hierbei können folgende Fälle unterschieden werden:

- a) Das diffuse Streumedium 27 liegt innerhalb des aktuell erfassten Entfernungsbereichs, im in der Fig. 5 dargestellten Fall also innerhalb des Entfernungsbereichs 22₂, vor. In diesem Fall wird das diffuse Streumedium 27 längs des Beleuchtungsweges 3₁₂ direkt beleuchtet und eine entsprechende Streuung des Beleuchtungslichts 8 durch das diffuse Streumedium 27 in das Sensor-Array 6₁ bei der TOF-Erfassung gemessen, was zu einer Erhöhung der Intensitätsausleuchtung längs des Erfassungsweges 30₂ führt.
- b) Das diffuse Streumedium 27 liegt zwischen der Blitzlichtquelle 7 und dem Sensor-Array 6₁ einerseits und dem aktuell erfassten Entfernungsbereich, beispielsweise dem Entfernungsbereich 22₃, andererseits. In diesem Fall erfolgt eine Schwächung des Beleuchtungslichts längs des Blitzlichtweges 3₁₃ beim Durchtreten des diffusen Streumediums 27. Eine weitere Schwächung erfährt das vom Erfassungsbereich 22₃ in Richtung des Sensor-Arrays 6₁ längs des Erfassungsweges 30₃ rückgestreute Beleuchtungslicht aufgrund einer nochmaligen Streuung durch das diffuse Streumedium 27. Im Ergebnis ist die Intensitätsausleuchtung des Sensor-Arrays 6₁ bei der Erfassung des Entfernungsbereichs 22₃ aufgrund der im zwischenliegenden Entfernungsbereich 22₂ vorliegenden Wolke des diffusen Streumediums 27 geschwächt.

Eine Kombination einer im Vergleich zur erwarteten konstanten Intensitätsausleuchtung erhöhten Intensitätsausleuchtung des Sensor-Arrays 6₁ bei Erfassung des Entfernungsbereichs 22₂ und einer Verringerung der Intensitätsausleuchtung des Sensor-Arrays 6₁ bei Erfassung des Entfernungsbereichs 22₃ ermöglicht also die Identifikation des diffusen Streumediums 27 innerhalb des
5 Entfernungsbereichs 22₂.

Bei den vorstehend erläuterten Ausführungen der Bilderfassungs-Vorrichtung 1 beziehungsweise 21 kann eine Pixelempfindlichkeit von Sensorpixeln der verschiedenen Sensor-Arrays 6₁, ... als Funktion einer einfallenden Lichtintensität, also als Funktion einer Intensitätsausleuchtung, des
10 Sensor-Arrays 6₁, ... geregelt werden. Es kann insbesondere eine γ -Korrektur bei der Bildverarbeitung mittels des jeweiligen Sensor-Arrays 6₁, ... erfolgen. Hierbei kann der bei der γ -Korrektur eingesetzte Exponent γ im Bereich zwischen beispielsweise 0,2 und 5 variieren. Je nach Größe von γ kann dann eine Pixelempfindlichkeit zur Anpassung einer hohen Dynamik entweder bei hoher oder bei niedriger Intensitätsausleuchtung des Sensor-Arrays erreicht werden.

15 Eine Auswahl von zu erfassenden Objekt-Entfernungsbereichen 22_i kann bei bestimmten Betriebsmodi der Erfassungs-Vorrichtung 1 beziehungsweise 21 an einen Bewegungsmodus der Vorrichtung 1 beziehungsweise 21 relativ zur Umgebung angepasst sein. Insbesondere kann der Gesamt-Entfernungsbereich 25 an eine Relativgeschwindigkeit der Vorrichtung 1, 21 zur Umge-
20 bung angepasst werden. Auch eine Anpassung an einen Rückwärts- oder Kurvenfahrt-Modus ist möglich.

Alternativ oder zusätzlich zum vorstehend mithilfe der Figuren 3 und 4 erläuterten Betriebsverfahren kann die jeweilige Vorrichtung 1 beziehungsweise 21 auch wie folgt betrieben werden:

25 Über eine entsprechende Zuordnung insbesondere der Blitzbeleuchtungsdauer und der Detektionsdauer wird mithilfe der jeweiligen Vorrichtung 1, 21 mittels des TOF-Prinzips eine TOF-Entfernung des mindestens einen Objekts 2 beziehungsweise 22 bis 24 erfasst. Parallel oder sequenziell hierzu wird mittels der einen Stereokamera 5, ... der Vorrichtung 1, 21 mittels des triangulatorischen Prinzips eine triangulatorische Entfernung des jeweiligen Objekts 2 beziehungsweise 22 bis 24 erfasst. Die Erfassungswerte „TOF-Entfernung“ und „triangulatorische Entfernung“ werden dann bei Betrieb der Vorrichtung 1, 21 abgeglichen.
30

Es ist dabei insbesondere möglich, die ermittelte TOF-Entfernung als Eingangsgröße für die triangulatorische Erfassung zu nutzen. Dies kann insbesondere die Korrespondenzanalyse bei der triangulatorischen Erfassung erleichtern. Insbesondere kann ein bei der Korrespondenzanalyse abzudeckender Disparitätsbereich eingegrenzt werden. Auch der umgekehrte Fall ist möglich, also, dass die triangulatorisch erfasste Entfernung als Eingangsgröße für die Entfernungserfassung mittels des TOF-Prinzips genutzt wird. Dies kann zur Bestimmung beziehungsweise zur Einteilung eines vorgegebenen Gesamt-Entfernungsbereichs in abschnittsweise Entfernungsbereiche 22_i genutzt werden sowie zur entfernungsangepassten Vorgabe der TOF-Bilderfassungsparameter.

Eine Beleuchtungsintensität durch die Blitzlichtquelle 7 kann insbesondere so vorgegeben werden, dass eine gemeinsame und insbesondere skalare Helligkeits-Regelung aller Bilder des Z-Bufferings der ersten Figuren 3 und 4 bei insbesondere konstanter Intensitätsausleuchtung der jeweiligen Sensor-Arrays $6_1, \dots$ vorgenommen wird. Diese Helligkeits-Regelung kann in Form eines Regelkreises bei der Vorrichtung 1, 21 genutzt werden.

Eine Kalibrierung einer Abhängigkeit einer Beleuchtungsintensität der Blitzlichtquelle von der Entfernung, also einer Beleuchtungsintensitätsfunktion, kann mithilfe eines Kalibrieraufbaus unter Verwendung eines Streumediums mit homogener Streupartikelverteilung erfolgen.

Die Pixelempfindlichkeit als Funktion der einfallenden Lichtintensität kann in Form einer proportionalen Funktion eingestellt werden oder auch in Form einer nichtlinearen Funktion.

Im Rahmen des Betriebs der Vorrichtung 1 beziehungsweise 21 können ausgewählte Objekte 2 beziehungsweise 22 bis 24 nachverfolgt beziehungsweise getrackt werden. Sobald eines der Objekte 2 beziehungsweise 22 bis 24 im Rahmen der triangulatorischen Entfernungserfassung und/oder im Rahmen der TOF-Entfernungserfassung erfasst wurde, können insbesondere die TOF-Bilderfassungsparameter, aber auch die triangulatorischen Bilderfassungsparameter (zum Beispiel die Länge der Baseline einer jeweils ausgewählten Stereokamera, eine Objektivbrennweite der Kameras der jeweiligen Stereokamera oder ein zu überwachender Disparitätsbereich) so vorgegeben werden, dass das einmal erfasste Objekt auch bei nachfolgenden Bilderfassungen

wiederum erfasst wird. Hierbei kann eine Relativbewegung des jeweils erfassten Objekts zur Vorrichtung 1 beziehungsweise 21 berücksichtigt werden, sodass beispielsweise dann, wenn zu erwarten ist, dass sich Objekt und Vorrichtung einander annähern, beim Nachverfolgen die Entfernung des jeweils ausgewählten Entfernungsbereichs 22_i bei der TOF-Erfassung jeweils reduziert wird. Eine Lichtintensität der Blitzlichtquelle kann auf einen Entfernungsbereich des jeweils nachzuverfolgenden Objekts abgestimmt und insbesondere geregelt werden.

Je nach dem Betriebsverfahren der Vorrichtung 1, 21 kann genau ein Objekt nachverfolgt werden oder es können auch mehrere Objekte gleichzeitig nachverfolgt werden.

Soweit mindestens ein Objekt getrackt wird, kann intermittierend eine Tracking-Erfassung des mindestens einen getrackten Objekts und ein Scan über den Gesamt-Entfernungsbereich 25 erfolgen, was die Erfassungssicherheit insgesamt bei vertretbarem Erfassungsaufwand erhöht.

Die Bilderfassungsparameter können bei der TOF-Erfassung mehrerer Entfernungsbereiche 22_i , 22_{i+1} so abgestimmt werden, dass eine Detektion über die jeweilige Kamera während genau eines Detektionszeitraums (gleicher Detektionsbeginn, gleiche Detektionsdauer) für diese Entfernungsbereiche 22_i , 22_{i+1} erfolgt. Im Extremfall kann dies für alle Entfernungsbereiche 22_i innerhalb des Gesamt-Entfernungsbereichs 25 gelten.

Beim Nachverfolgen von Objekten kann insbesondere die Erstreckung des jeweiligen Entfernungsbereichs 22_i , in dem das Objekt erwartet wird, über eine entsprechende Anpassung einer Blitzbeleuchtungsdauer erfolgen. Zur genaueren Nachverfolgung von Objekten können kürzere Blitzbeleuchtungsdauern sowie kürzere Detektionsdauern mit entsprechender Erhöhung der Entfernungsgenauigkeit bei der TOF-Entfernungsbestimmung vorgegeben werden.

Die Vorrichtung 1 kann ein neuronales Netz beziehungsweise ein KI-Modul beinhalten, welches zum Training des jeweiligen Betriebsverfahrens und zur entsprechenden Verbesserung einer Bilderkennung genutzt werden kann.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1; 21) zur räumlichen Bilderfassung einer Umgebung,
 - mit mindestens einer Stereokamera (5, 14, 15, 20; 5, 14) mit mindestens zwei zueinander
 5 beabstandeten Kameras (5₁, 5₂, 14₁, 14₂, 15₁, 15₂, 15₃, 15₄, 20₁, 20₂, 20₃, 20₄) zur trian-
 gulatorischen Objekt-Abstandsbestimmung innerhalb der erfassten Umgebung,
 - mit mindestens einer Blitzlichtquelle (7, 13) zur Umgebungsbeleuchtung mit gesteuerter
 Vorgabe eines Blitzbeleuchtungsbeginns ($t = 0$, $t = t_{\text{flash}}$) und einer Blitzbeleuchtungs-
 dauer (Δt_{flash}) aufeinanderfolgender Beleuchtungsblitze,
 - 10 - wobei die Kameras (5₁, 5₂, 14₁, 14₂, 15₁, 15₂, 15₃, 15₄, 20₁, 20₂, 20₃, 20₄) der Stereoka-
 mera (5, 14, 15, 20; 5, 14) jeweils ein Sensor-Array (6) mit gesteuerter Vorgabe eines
 Detektionsbeginns ($t = t_E$, $t = t_{E1}$) und einer Detektionsdauer (Δt_{exp}) aufweisen,
 - mit einer Steuereinrichtung (10), die mit den Kameras (5₁, 5₂, 14₁, 14₂, 15₁, 15₂, 15₃, 15₄,
 20₁, 20₂, 20₃, 20₄) und der Blitzlichtquelle (7, 13) in Signalverbindung steht, zur zeitlich
 15 synchronisierten Vorgabe von folgenden Bilderfassungsparametern:
 - des Blitzbeleuchtungsbeginns ($t = 0$, $t = t_{\text{flash}}$) und der Blitzbeleuchtungsdauer (Δt_{flash}) der Blitzlichtquelle (7, 13) sowie
 - des Detektionsbeginns ($t = t_E$, $t = t_{E1}$) und der Detektionsdauer (Δt_{exp}) der Kameras
 (5₁, 5₂, 14₁, 14₂, 15₁, 15₂, 15₃, 15₄, 20₁, 20₂, 20₃, 20₄).
- 20 2. Vorrichtung nach Anspruch 1
 - mit mindestens einer weiteren Blitzlichtquelle (13) mit gesteuerter Vorgabe eines Blitz-
 beleuchtungsbeginns ($t = 0$, $t = t_{\text{flash}}$) und einer Blitzbeleuchtungsdauer (Δt_{flash}) aufeinan-
 derfolgender Beleuchtungsblitze (8, 8₁) und/oder
 - 25 - mit mindestens einer weiteren Stereokamera (14) mit zwei weiteren zueinander beabstan-
 deten Kameras (14₁, 14₂) zur triangulatorischen Objekt-Abstandsbestimmung innerhalb
 der umfassten Umgebung.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet durch** mindestens eine Fischaugen-
 30 Stereokamera (15, 20) mit mindestens zwei Fischaugen-Kameras (15₁ bis 15₄, 20₁ bis 20₄),
 wobei jede der Fischaugen-Kameras (15₁ bis 15₄, 20₁ bis 20₄) zur Erfassung der Umgebung
 sowohl in einer Haupterfassungsrichtung (4) als auch längs hierzu in lateraler Richtung (16)

ausgerichtet ist, wobei Erfassungsbereiche der Fischaugen-Kameras (15₁, 20₁) in der Haupt-
erfassungsrichtung (4) in einem Überlapp-Bereich (19) überlappen.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-
5 einrichtung (10) einen Bildprozessor zur Echtzeit-Verarbeitung aufweist.
5. Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung (1; 21) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, mit fol-
genden Schritten:
- Vorgeben der Bilderfassungsparameter derart, dass ein erster Entfernungsbereich (gz-1)
10 erfasst wird,
 - Erfassen des Entfernungsbereichs (gz-1) mit den vorgegebenen Bilderfassungsparametern
mit den Kameras der mindestens einen Stereokamera,
 - Vorgeben der Bilderfassungsparameter derart, dass ein weiterer Entfernungsbereich (gz)
15 erfasst wird, der an den vorhergehenden Entfernungsbereich (gz-1) längs der Vorwärts-
richtung (4) in einer Erfassungsfortschrittsrichtung (+z) angrenzt oder mit diesem teil-
weise überlappt,
 - Erfassen des weiteren Entfernungsbereichs (gz) mit den zuletzt vorgegebenen Bilderfas-
sungsparametern mit den Kameras der mindestens einen Stereokamera,
 - digitales Filtern des zuletzt erfassten Bildes zum Herausfiltern von strukturlosen Bildbe-
20 reichen,
 - Überschreiben des im der letzten Erfassung vorhergehenden Erfassungsschritt erfassten
Bildes mit dem zuletzt erfassten Bild in nicht herausgefilterten Bildbereichen des zuletzt
erfassten Bildes zur Erzeugung eines aktualisierten Bildes,
 - Vorgeben der Bilderfassungsparameter derart, dass ein weiterer Entfernungsbereich
25 (gz+1) erfasst wird, der an den vorhergehenden Entfernungsbereich (gz) längs der Vor-
wärtsrichtung (4) in der Erfassungsfortschrittsrichtung (-z) angrenzt oder mit diesem
teilweise überlappt,
 - Wiederholen der letzten Schritte Erfassen, digitales Filtern, Überschreiben und Vorgeben
für weitere Entfernungsbereiche (22₄ bis 22₁), bis ein vorgegebener Gesamt-Entfer-
30 nungsbereich (25) abgedeckt ist, der sich aus einer Überlagerung der erfassten Entfer-
nungsbereiche (22₁ bis 22_{max}) ergibt,
 - Ausgeben des zuletzt aktualisierten Bildes.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei der aufeinanderfolgenden Erfassungsschritte zeitlich miteinander überlappen.
- 5 7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich Entfernungs-Ausdehnungen (Δz) der Entfernungsbereiche (22_i) voneinander unterscheiden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Erfassen des jeweiligen Entfernungsbereiches ($gz-1$, gz , $gz+1$; 22_i) eine Triangulationsbestimmung einer Entfernung von Objekten (22 bis 24) in nicht herausgefilterten Bildbereichen
10 mittels der mindestens einen Stereokamera (5 , 14) erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor dem Erfassen eine Region of Interest (ROI) als Teil eines von den Stereokameras (5 , 14) erfassbaren Bildfeldes vorgegeben wird.
15
10. Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung (1 ; 21) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, mit folgenden Schritten:
 - Erfassen einer Time of Flight (TOF)-Entfernung mindestens eines Objekts (2 ; 22 bis 24)
20 über eine entsprechende Zuordnung der Blitzbeleuchtungsdauer und der Detektionsdauer mittels des TOF-Prinzips,
 - Erfassen einer triangulatorischen Entfernung des Objekts (2 ; 22 bis 24) mittels der mindestens einen Stereokamera mittels des triangulatorischen Prinzips,
 - Abgleichen der TOF-Entfernung und der triangulatorischen Entfernung.
25
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die TOF-Entfernung als Eingangsgröße für die triangulatorische Erfassung genutzt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Beleuchtungsintensität der Blitzlichtquelle (7 , 13) auf einen zu erfassenden Entfernungsbereich (22_i) abgestimmt wird.
30

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Blitzintensität quadratisch von einer Entfernung (d_i) innerhalb des zu erfassenden Entfernungsbereichs (22_i) abhängt.
- 5 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Pixel-empfindlichkeit eines Sensorpixels des Sensor-Arrays (6) als Funktion einer einfallenden Lichtintensität der Blitzlichtquelle (7, 13) geregelt wird.
- 10 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Auswahl von zu erfassenden Objekt-Entfernungsbereichen (22_i) an einen Bewegungsmodus der Vorrichtung (1; 21) relativ zur Umgebung angepasst wird.

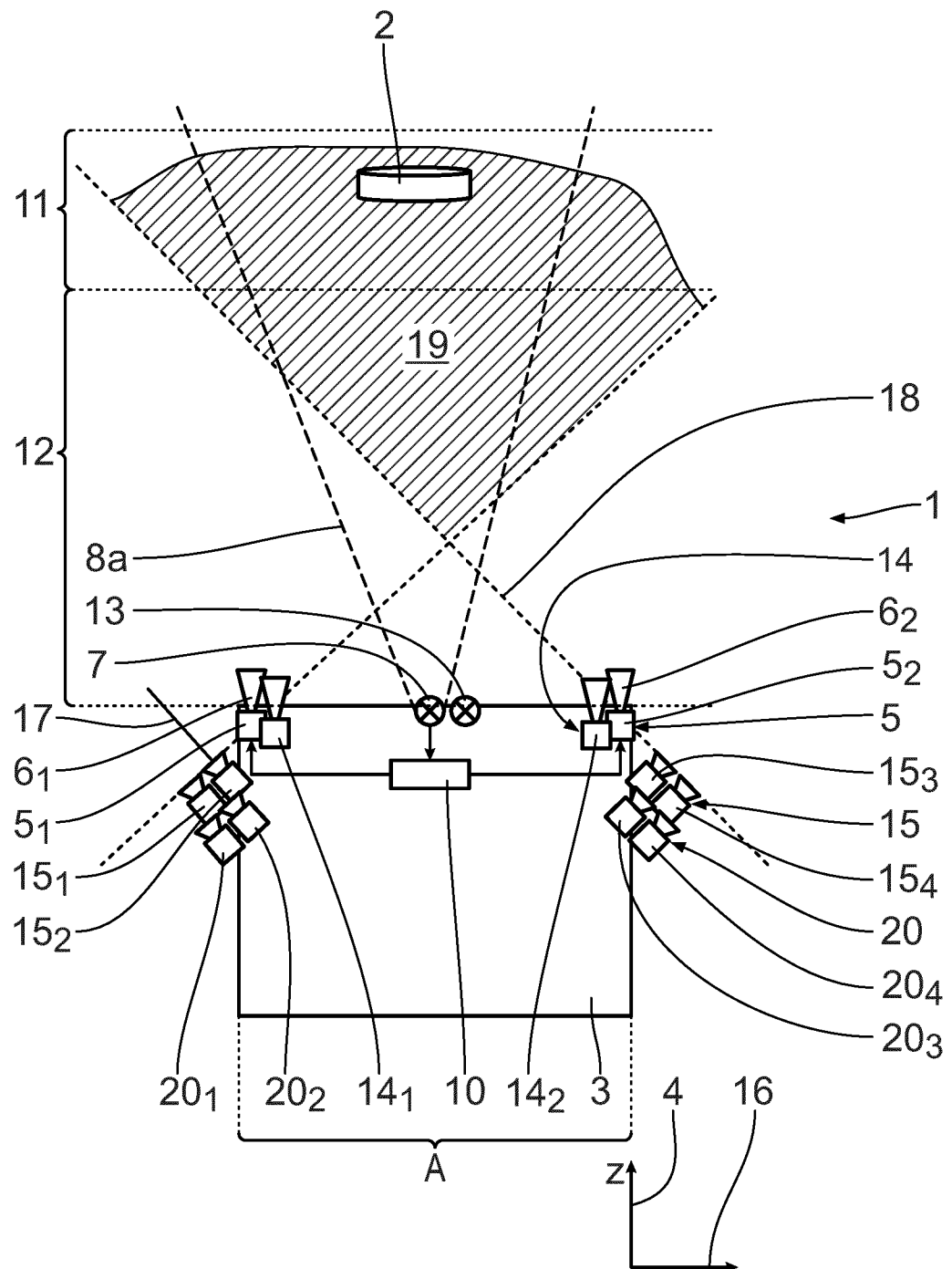


Fig. 1

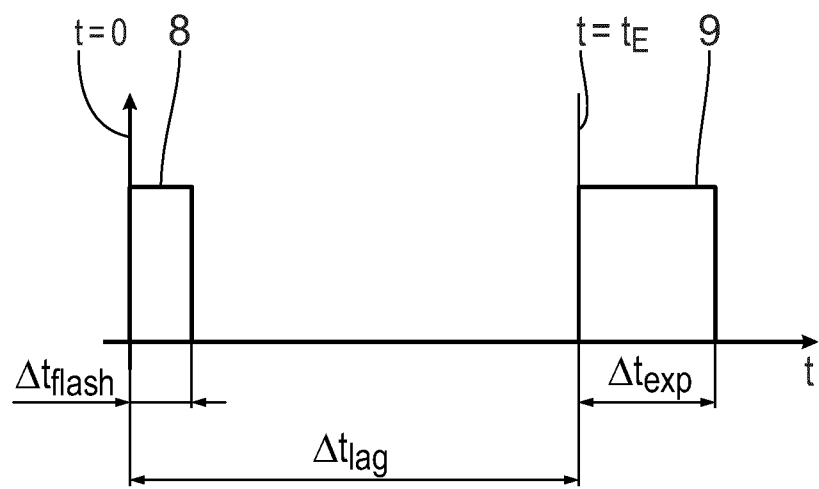


Fig. 2

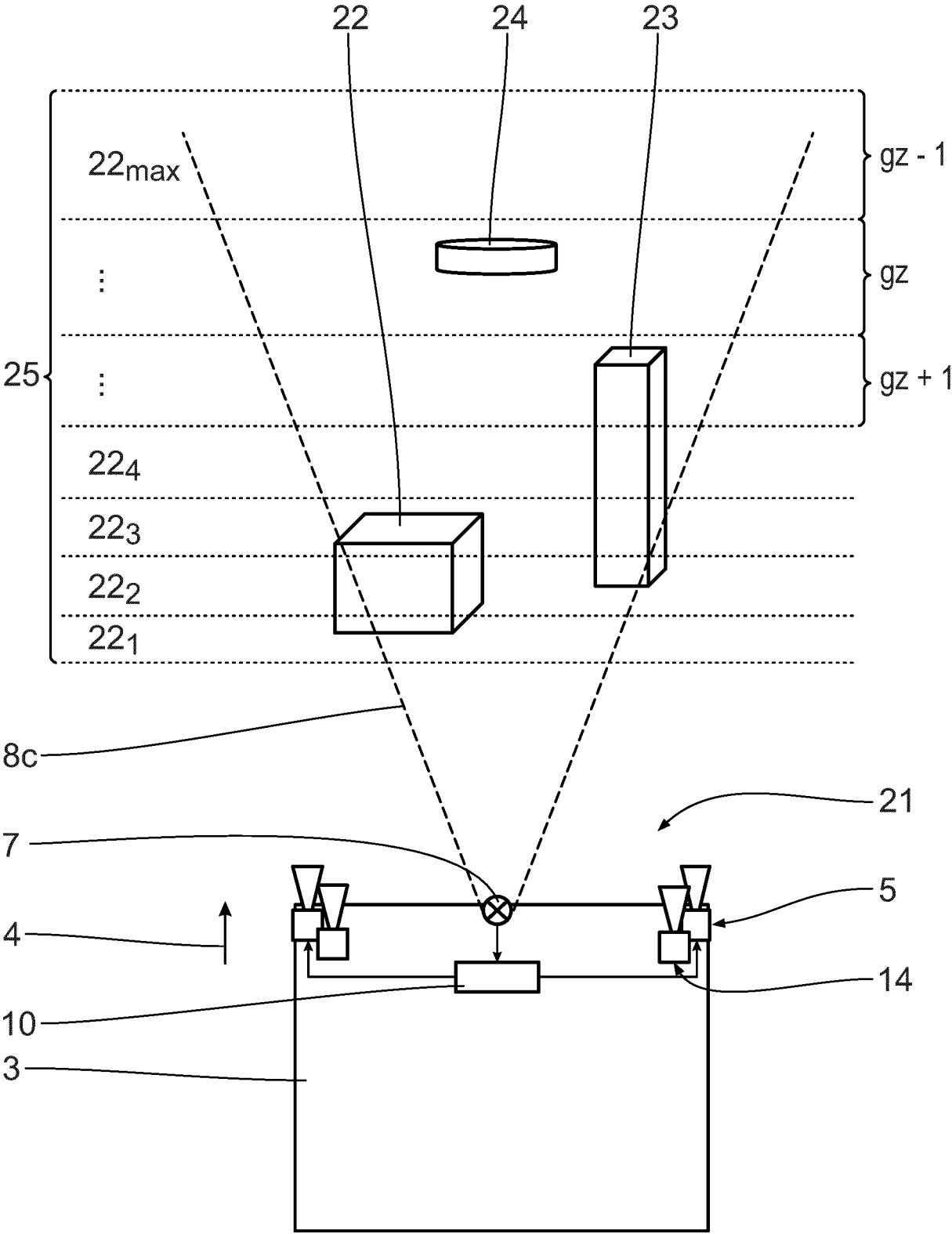


Fig. 3

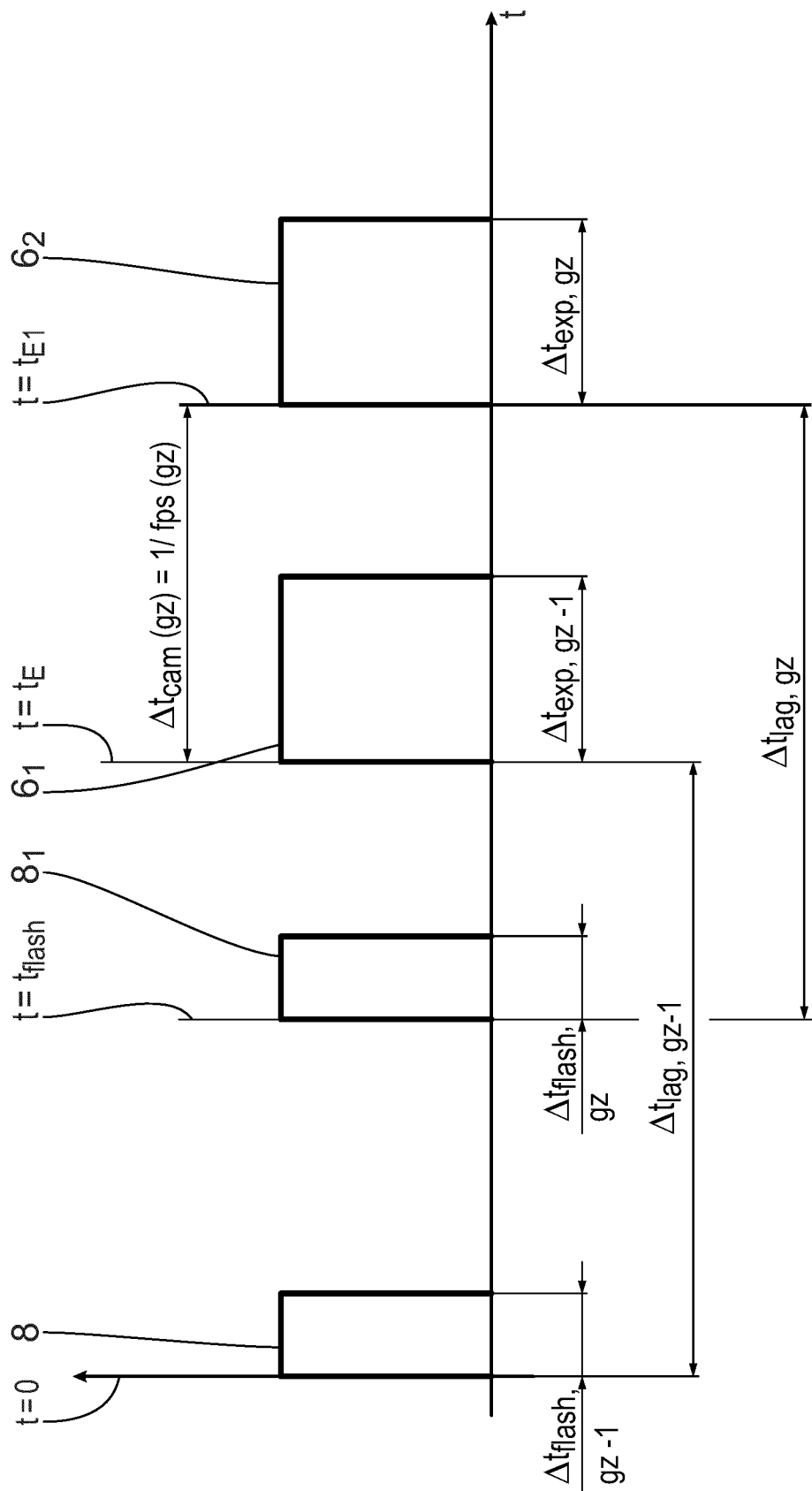


Fig. 4

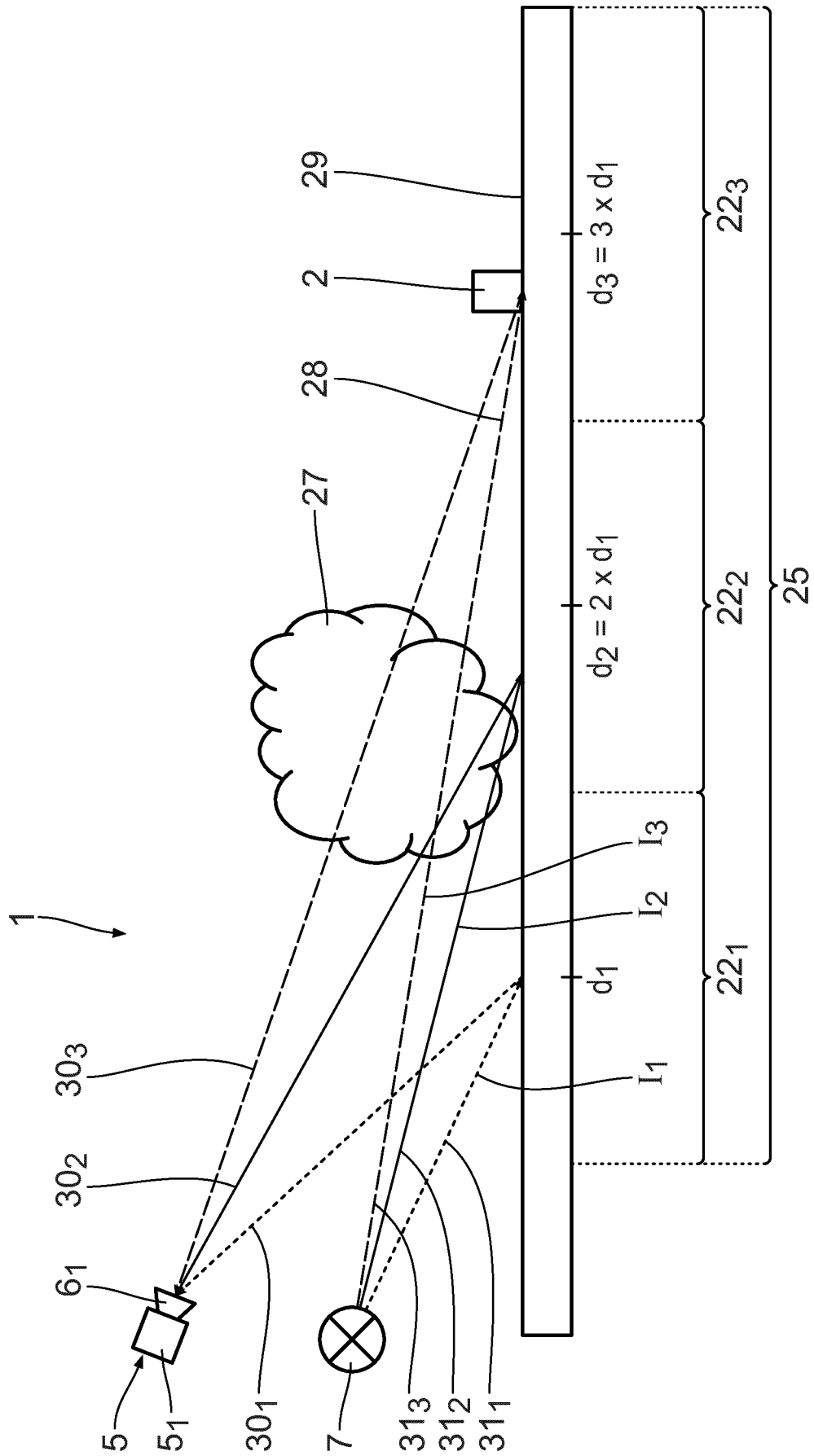


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/064363

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H04N 13/239**(2018.01)i; **H04N 13/243**(2018.01)i; **H04N 13/254**(2018.01)i; **H04N 13/296**(2018.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04N

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 10390004 B2 (BRIGHTWAY VISION LTD [IL]) 20 August 2019 (2019-08-20) column 1, line 15 - line 20; figure 1 column 6, line 61 - column 7, line 35; figure 5 column 5, line 48 - column 6, line 4; figure 2	1-4 5-15
Y	US 8654196 B2 (YOKOTA SOICHIRO [JP]; RICOH CO LTD [JP]) 18 February 2014 (2014-02-18) column 2, lines 61-67 column 5, line 61 - column 6, line 32	5-9
Y	SUN JIAN ET AL. Background Cut, SPRINGER, PAGE(S) 628 - 641 , 01 January 2006 (2006-01-01), XP047529904 the whole document	5-9
Y	JIEJIE ZHU ET AL. "Fusion of time-of-flight depth and stereo for high accuracy depth maps" <i>COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2008. CVPR 2008. IEEE CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 23 June 2008 (2008-06-23), pages 1-8</i> ISBN: 978-1-4244-2242-5. XP031297319 the whole document	10-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 July 2024

Date of mailing of the international search report

22 August 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Wahba, Alexander

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/064363

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	10390004	B2	20 August 2019	CN	104470757	A	25 March 2015
				EP	2870031	A1	13 May 2015
				JP	6293134	B2	14 March 2018
				JP	2015525035	A	27 August 2015
				KR	20150038032	A	08 April 2015
				US	2015296200	A1	15 October 2015
				WO	2014009945	A1	16 January 2014
US	8654196	B2	18 February 2014	JP	5776173	B2	09 September 2015
				JP	2011203238	A	13 October 2011
				US	2011211068	A1	01 September 2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H04N13/239 H04N13/243 H04N13/254 H04N13/296
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H04N

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 10 390 004 B2 (BRIGHTWAY VISION LTD [IL]) 20. August 2019 (2019-08-20)	1 - 4
Y	Spalte 1, Zeile 15 - Zeile 20; Abbildung 1 Spalte 6, Zeile 61 - Spalte 7, Zeile 35; Abbildung 5 Spalte 5, Zeile 48 - Spalte 6, Zeile 4; Abbildung 2 -----	5 - 15
Y	US 8 654 196 B2 (YOKOTA SOICHIRO [JP]; RICOH CO LTD [JP]) 18. Februar 2014 (2014-02-18) Spalte 2, Zeilen 61-67 Spalte 5, Zeile 61 - Spalte 6, Zeile 32 -----	5 - 9
Y	SUN JIAN ET AL: "Background Cut", 1. Januar 2006 (2006-01-01), SPRINGER, PAGE(S) 628 - 641, XP047529904, das ganze Dokument ----- - / - -	5 - 9

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 30. Juli 2024	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 22/08/2024
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Wahba, Alexander

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	JIEJIE ZHU ET AL: "Fusion of time-of-flight depth and stereo for high accuracy depth maps", COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2008. CVPR 2008. IEEE CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 23. Juni 2008 (2008-06-23), Seiten 1-8, XP031297319, ISBN: 978-1-4244-2242-5 das ganze Dokument -----	10-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/064363

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 10390004	B2	20-08-2019	CN	104470757 A	25-03-2015
			EP	2870031 A1	13-05-2015
			JP	6293134 B2	14-03-2018
			JP	2015525035 A	27-08-2015
			KR	20150038032 A	08-04-2015
			US	2015296200 A1	15-10-2015
			WO	2014009945 A1	16-01-2014

US 8654196	B2	18-02-2014	JP	5776173 B2	09-09-2015
			JP	2011203238 A	13-10-2011
			US	2011211068 A1	01-09-2011
