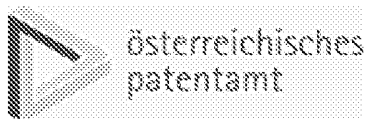


(19)



(10)

AT 513589 B1 2015-11-15

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1191/2012
 (22) Anmeldetag: 08.11.2012
 (45) Veröffentlicht am: 15.11.2015

(51) Int. Cl.: **H04N 13/02** (2006.01)
H04N 7/18 (2006.01)
G01S 17/89 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 US 2012098964 A1
 EP 2306426 A1

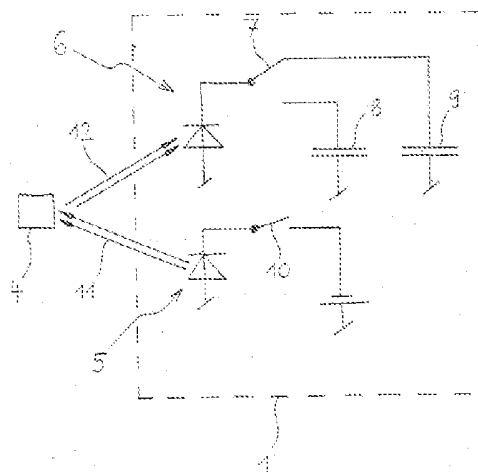
(73) Patentinhaber:
 Bluetechnix GmbH
 1140 Wien (AT)

(74) Vertreter:
 KLIMENT & HENHAPEL PATENTANWÄLTE
 OG
 WIEN

(54) Aufnahmeverfahren für zumindest zwei ToF-Kameras

(57) Die Erfindung bezieht auf ein Verfahren zum Aufnehmen einer Szene (3) mit zumindest zwei Time-of-Flight-Kameras (1, 2), die jeweils eine Lichtquelle (5) und einen Bildsensor (6) aufweisen, wobei mit jeder der zumindest zwei Time-of-Flight-Kameras (1, 2) Bildaufnahmeprozesse durchgeführt werden, die einen Messvorgang zur Ermittlung von Tiefeninformation umfassen, wobei der Messvorgang die Emission von moduliertem Licht (11) durch die Lichtquelle (5), die Detektion von moduliertem Licht (12) nach der Reflexion an Objekten (4) der Szene (3) mit dem Bildsensor (6) und die Berechnung von Tiefeninformation aus der Laufzeit des modulierten Lichtes zwischen Emission und Detektion umfasst. Um die Bildqualität zu erhöhen, ermittelt eine erste Time-of-Flight-Kamera (1) aus den Messergebnissen des von ihr durchgeführten Messvorganges, inwieweit bei diesem Messvorgang neben dem von der eigenen Lichtquelle (5) emittierten Licht (11) auch moduliertes Licht einer zweiten Time-of-Flight-Kamera (2) detektiert wurde, und ändert die erste Time-of-Flight-Kamera (1) in Abhängigkeit des Ergebnisses dieser Ermittlung ihren Aufnahmemodus.

Fig. 3



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Aufnehmen einer Szene mit zumindest zwei Time-of-Flight-Kameras, die jeweils eine Lichtquelle und einen Bildsensor aufweisen, wobei mit jeder der zumindest zwei Time-of-Flight-Kameras Bildaufnahmeprozesse durchgeführt werden, die einen Messvorgang zur Ermittlung von Tiefeninformation umfassen, wobei der Messvorgang die Emission von moduliertem Licht durch die Lichtquelle, die Detektion von moduliertem Licht nach der Reflexion an Objekten der Szene mit dem Bildsensor und die Berechnung von Tiefeninformation aus der Laufzeit des modulierten Lichtes zwischen Emission und Detektion umfasst.

[0002] Bei Time-of-Flight (ToF) -Kameras handelt es sich um Kameras, die nicht nur ein 2D-Bild aufnehmen, sondern für jedes Aufnahmepixel auch eine Tiefeninformation messen. Unter Tiefeninformation werden Informationen über die Distanzen zwischen den einzelnen Objekten einer Szene und der ToF-Kamera verstanden. ToF-Kameras werden auch als aktive Kameras bezeichnet, da sie mit eigener Lichtquelle ausgestattet sind. Das von dieser Lichtquelle emittierte Licht wird an den Objekten einer aufzunehmenden Szene reflektiert und gelangt dadurch in den Erfassungsbereich des Bildsensors der Kamera. Die Tiefeninformation wird aus dem reflektierten Licht über Laufzeit- bzw. Phasendifferenz-Messungen ermittelt.

[0003] Die Lichtquellen sind üblicherweise LEDs (Light Emitting Devices). Time-of-Flight-Kameras senden moduliertes Licht aus. Das Licht wird typischerweise im Megahertzbereich OOK(On-Off Keying)-moduliert (z.B. mit 20MHz) und so in den Sichtbereich des eigenen Kamerasensors abgestrahlt. Die reflektierten Lichtanteile (Photonen) werden vom Kamerasensor aufgenommen und zur Berechnung der Entfernung des reflektierenden Objekts verwendet. Diese Tiefendaten sind dann neben dem Graustufenbild für Anwendungen verfügbar. In den meisten Anwendungen wird derzeit Infrarotlicht als Beleuchtung verwendet.

[0004] ToF-Kameras haben ein breites Anwendungsfeld insbesondere in der Industrie, in der Verkehrstelematik und in der autonomen Robotik. Beispielsweise können die ToF- Kameras in der Industrie als Füllstands- oder Entfernungsmessgeräte im Nahbereich bis 1m eingesetzt werden. In der Verkehrstelematik können ToF-Kameras als Fahrzeug- und Personendetektoren und Zähler im Bereich bis 30m eingesetzt werden. In der autonomen Robotik können ToF-Kameras zur Erkennung von Hindernissen und zur Navigation eingesetzt werden.

[0005] Das Licht fremder Lichtquellen kann die Tiefenberechnung beeinflussen. Ein Bildsensor z.B. in Art eines PMD-Chips (Photonic Mixer Device) kann für jedes Pixel eine Hintergrundlichtausblendung durchführen, sofern das Hintergrundlicht nicht ähnliche Eigenschaften besitzt wie das ausgesendete modulierte Licht der Kamera. Typischerweise dient diese Funktion dem Ausblenden des Sonnenlichts oder künstlicher Beleuchtung in Räumen. Um die Ausblendung zu erreichen, nimmt der PMD-Chip für jedes Pixel das Licht bei eingeschalteter und ausgeschalteter eigener Lichtquelle auf und subtrahiert die beiden Messergebnisse elektronisch. Ein korrektes Ausblenden von Hintergrundlicht ist nur dann möglich, wenn in all diesen Zeiten die Intensität des Hintergrundlichts konstant bleibt und der PMD-Chip nicht in die elektrische Sättigung gerät. Bei künstlichen Lichtquellen, die im MHz-Bereich moduliert sind, funktioniert das Ausblenden nicht vollständig und die errechneten Tiefendaten sind pixelweise fehlerhaft.

[0006] Zu falschen Tiefenberechnungen in einer ToF-Kamera kommt es insbesondere dann, wenn die künstlichen Lichtquellen anderer Kameras im Sichtbereich des eigenen Kamerasensors aufgenommen werden. Das störende Fremdlicht kann entweder direkt oder indirekt über Reflexionen aufgenommen werden. In diesen Fällen sind die Ergebnisse der Tiefenberechnung zumindest teilweise ungültig.

[0007] Für viele Anwendungsbereiche sind mehrere Kameras zu verwenden, deren Beobachtungsbereiche sich mitunter überschneiden, etwa in der Überwachung von Räumen, in der Verkehrstelematik oder bei der Steuerung mehrerer Roboter. Die aktiven Lichtquellen der einzelnen Kameras stören jeweils die anderen Kameras bei der Ermittlung der Tiefeninformation,

da diese nicht nur das eigene Licht detektieren, sondern auch das Licht der anderen Kameras, auch Fremdlicht genannt. Diese gegenseitigen Störungen führen dazu, dass die distanzbezogenen Messergebnisse verfälscht werden und die Tiefeninformationen nicht mehr den realen Gegebenheiten entsprechen.

[0008] Zur Lösung dieses Problems könnten die einzelnen Kameras für einen Parallelbetrieb steuerungsmäßig und funktionsmäßig miteinander vernetzt werden, was den apparativen Aufwand jedoch stark erhöht. Hier werden die ToF-Kameras in einem Netzwerk betrieben. Das Netzwerk kann neben dem Datenaustausch auch zur Synchronisation der Bildaufnahmen verwendet werden, um die Störungen der Kameras untereinander zu vermeiden. Dazu werden Zeitstempel und Reservierungstokens im Netzwerk ausgetauscht. Nur jene Kamera, die das Reservierungstoken besitzt, ist berechtigt eine Bildaufnahme durchzuführen. Das Token kann reihum weitergegeben oder zentral in einem Netzwerkserver verwaltet werden. Diese Maßnahmen verhindern, dass sich die Messvorgänge zweier Kameras beim Aufnehmen einer Szene gegenseitig beeinflussen. Es werden bei dieser Lösung somit Vorkehrungen getroffen, dass das modulierte Licht einer Kamera nicht während des Mess- bzw. Detektionsvorganges einer anderen Kamera emittiert wird.

[0009] Probleme der Vernetzung von ToF-Kameras nach diesem Prinzip ergeben sich dadurch, dass dieser Ansatz mit erheblichen Mehrkosten an Material und Entwicklungsaufwand verbunden ist. Darüber hinaus kann sich die Netzlatenz durch die Übergabedauer der Reservierungstokens problematisch auf den Bilddurchsatz des Systems auswirken. Ebenso berücksichtigt dieser Mechanismus nicht die Sichtbereiche der Kameras, da eine Störung nur bei überlappenden Sichtbereichen zu erwarten ist.

[0010] Speziell in Anwendungen, bei denen sich die einzelnen Kameras bewegen, müsste ein mehr oder weniger komplexer Mechanismus die sich ständig ändernden bzw. wechselnden überlappenden Sichtbereiche berücksichtigen, um den Bilddurchsatz bei minimaler Störwirkung hoch halten zu können.

[0011] In Netzwerken ist auch die Zuverlässigkeit von Bildaufnahmen von der Zuverlässigkeit der Weitergabe der Reservierungstokens aller Kameras abhängig.

[0012] Neben diesen daten- und steuerungstechnischen Problemen sind insbesondere die hohen Kosten für einen derartigen Aufwand betreffend Anschluss, Vernetzung in einem gemeinsamen signaltechnischen System sowie erforderliche komplexe Software oftmals Grund dafür, dass die gegenseitigen Störungen der ToF-Kameras überhaupt nicht berücksichtigt werden, was sich negativ auf die Qualität der ermittelten Tiefeninformation auswirkt.

[0013] Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren bereitzustellen, das diese Nachteile nicht aufweist und das die gegenseitige negative Beeinflussung mehrerer ToF-Kameras beseitigt oder zumindest minimiert. Dies soll mit geringem apparativem Aufwand bewerkstelligt werden können. Eine Vernetzung der einzelnen Kameras untereinander durch ein gemeinsames Daten- oder Steuernetzwerk soll nicht mehr erforderlich sein. Im Gegensatz zur oben beschriebenen Lösung gemäß Stand der Technik soll die Genauigkeit der Ermittlung der Tiefeninformation erhöht werden, ohne dabei den apparativen Aufwand zu erhöhen.

[0014] Dieses Ziel wird mit einem eingangs erwähnten Verfahren dadurch erreicht, dass eine erste Time-of-Flight-Kamera aus den Messergebnissen des von ihr durchgeführten Messvorganges ermittelt, inwieweit bei diesem Messvorgang neben dem von der eigenen Lichtquelle emittierten Licht auch modulierte Licht einer zweiten Time-of-Flight-Kamera detektiert wurde, und dass die erste Time-of-Flight-Kamera in Abhängigkeit des Ergebnisses dieser Ermittlung ihren Aufnahmemodus ändert.

[0015] Der Aufnahmemodus wird geändert, wenn modulierte Licht einer zweiten Kamera detektiert wird oder wenn die detektierte Intensität des modulierten Lichtes einer zweiten Kamera einen Schwellwert überschreitet. Bei mehr als zwei Kameras ist selbstverständlich auch das Fremdlicht aller anderen Kameras in die Messung einbezogen. Um den Aufnahmemodus in Abhängigkeit der Bildsensordatenauswertung zu verändern, sind der Bildsensor und die für die

Modulation des emittierten Lichtes verantwortliche Einheit mit der Kamerasteuerung verbunden.

[0016] Die erste Kamera besitzt somit die Fähigkeit, bei Vorhandensein von moduliertem Licht einer zweiten Kamera im Sichtbereich der ersten Kamera ihren Aufnahmemodus zu ändern. Die Kamera reagiert aktiv, wenn ein den Messvorgang verfälschendes Fremdlicht vorhanden ist. Durch eine Änderung des Aufnahmemodus, z.B. eine Unterbrechung des Bildaufnahmeproganges, wird verhindert, dass falsche Tiefeninformation ermittelt wird. Außerdem bewirkt eine Unterbrechung des Bildaufnahmeproganges bzw. des Messvorganges, dass eine andere Kamera bei ihrem Bildaufnahmeprogang nicht durch moduliertes Licht gestört wird. Dadurch wird die Bildqualität der durch die Kameras aufgenommenen Bilder, Bildfolgen bzw. Videostreams deutlich erhöht. Die Schnelligkeit der Bildgewinnung und -auswertung kann durch das autonome Agieren der Kameras gesteigert werden, ohne die Steuerung beschleunigen oder hohen apparativen Aufwand treiben zu müssen.

[0017] Dabei ist es nicht nötig, dass die, eine Szene aufnehmenden Kameras signal- bzw. steuerungstechnisch, z.B. über ein Netzwerk, miteinander verbunden sind. Das erfindungsgemäße Verfahren bewirkt eine autonome Synchronisation zweier oder mehrerer ToF-Kameras. Eine Kommunikation oder Vernetzung der Kameras untereinander ist erfindungsgemäß nicht vorgesehen.

[0018] Es handelt sich bei der Erfindung um ein autonomes Verfahren bzw. ein Verfahren zur indirekten Koordinierung mehrerer Kameras zur Reduktion von Störungen der Tiefenberechnung bei Bildaufnahmen im Beisein von anderen ToF-Kameras. Ein bevorzugtes Verfahren erlaubt die autonome Erkennung einer Störung, das Abdrehen der eigenen Lichtquelle und das Wiederholen der Bildaufnahme zu einem späteren Zeitpunkt für jedes Einzelbild eines Videostreams.

[0019] Dieses Verfahren führt zu einer indirekten Synchronisation aller ToF-Kameras, die Licht der jeweils anderen Kameras in ihrem Sichtbereich detektieren können, und minimiert die wechselseitigen Störungen der aktiven Lichtquellen dieser ToF-Kameras bei Bildaufnahmen, wodurch die Bildqualität erhöht wird.

[0020] Bevorzugt ermittelt die zweite Time-of-Flight-Kamera aus den Messergebnissen des von ihr durchgeführten Messvorganges, inwieweit bei diesem Messvorgang neben dem von der eigenen Lichtquelle emittierten Licht auch moduliertes Licht der ersten Time-of-Flight-Kamera detektiert wurde, und ändert die zweite Time-of-Flight-Kamera in Abhängigkeit des Ergebnisses dieser Ermittlung ihren Aufnahmemodus. Somit verfügt nicht nur die erste Kamera über die Möglichkeit einer Anpassung ihres Aufnahmemodus an das Vorhandensein von Fremdlicht, sondern auch die zweite Kamera, sodass sich eine noch effizientere autonome Synchronisation ergibt und besonders zuverlässige Tiefeninformation ermittelt werden kann, ohne die Bildaufnahme rate merklich zu verringern.

[0021] Bevorzugt erfolgt die Veränderung des Aufnahmemodus dadurch, dass die Bildaufnahmeprogänge gestoppt oder um eine vorgegebene Zeitspanne unterbrochen werden. Dies ermöglicht einen erneuten Versuch zu einem Zeitpunkt, zu dem die jeweils andere Kamera kein moduliertes Licht aussendet.

[0022] Bevorzugt erfolgt die Veränderung des Aufnahmemodus dadurch, dass der Messvorgang zur Ermittlung der Tiefeninformation ausgesetzt oder um eine vorgegebene Zeitspanne unterbrochen wird. In dieser Variante könnte ein lediglich 2-dimensionales Bild ohne Tiefeninformation aufgenommen werden.

[0023] Bevorzugt erfolgt die Veränderung des Aufnahmemodus dadurch, dass für den Messvorgang die Modulationsfrequenz des emittierten Lichtes verändert wird. Eine unterschiedliche Frequenz hat auf die jeweils andere Kamera geringeren Einfluss als jene Frequenz, die auch das Sensormodulationssignal der jeweils anderen Kamera aufweist.

[0024] Bevorzugt ändert eine Time-of-Flight-Kamera ihren Aufnahmemodus, wenn die von ihr detektierte Intensität des modulierten Lichtes einer anderen Time-of-Flight-Kamera einen vor-

gegebenen Schwellwert überschreitet. So kann bei geringen Intensitäten von Fremdlicht die Bildgewinnung mit nur geringen Fehlern der Tiefeninformation fortgesetzt werden und erst bei nicht mehr akzeptablen Abweichungen der ermittelten Tiefeninformation zu tatsächlichen Distanzen innerhalb einer Szene der Aufnahmemodus geändert werden.

[0025] Bevorzugt setzt sich der Messvorgang aus einzelnen Messungen mit jeweils unterschiedlicher Phasendifferenz zwischen der Modulation des emittierten Lichtes und dem Sensormodulationssignal des Bildsensors zusammen. Dies ermöglicht eine empfindlichere Detektion von moduliertem Fremdlicht.

[0026] Bei dieser Ausführungsform sind im Bildsensor jedem Pixel zumindest zwei Potentialtöpfe zugeordnet. Das Sensormodulationssignal ist das Umschaltsignal, das eine Umschaltung zwischen den Potentialtöpfen steuert.

[0027] Bevorzugt umfasst der Messvorgang zumindest vier Messungen, wobei die Phasendifferenzen zwischen der Modulation des emittierten Lichtes und dem Sensormodulationssignal des Bildsensors für die einzelnen der vier Messungen $\varphi_0 + 0^\circ$, $\varphi_0 + 90^\circ$, $\varphi_0 + 180^\circ$ und $\varphi_0 + 270^\circ$ betragen, wobei φ_0 eine Ausgangsphasendifferenz ist. Dies ermöglicht auf elegante Weise die Bildgewinnung und die gleichzeitige Messung von Fremdlicht. Die Ausgangsphasendifferenz oder Offset-Phasendifferenz φ_0 ist ein beliebiger Wert, der vorzugsweise 0° beträgt.

[0028] Bei dieser Methode werden vier Phasenbilder $I(0^\circ)$, $I(90^\circ)$, $I(180^\circ)$ und $I(270^\circ)$ aufgenommen (entsprechend den vier Messungen mit den Phasendifferenzen: $\varphi_0 + 0^\circ$, $\varphi_0 + 90^\circ$, $\varphi_0 + 180^\circ$ und $\varphi_0 + 270^\circ$). Neben der Berechnung der Tiefeninformation können aus diesen Phasenbildern Informationen darüber erhalten werden, ob bzw. in welchem Ausmaß moduliertes Licht einer anderen Kamera vorhanden ist. Diese Information wird vorzugsweise aus dem Unterschied zwischen dem Phasenbild $I(0^\circ)$ und dem Phasenbild $I(180^\circ)$, sowie dem Unterschied zwischen dem Phasenbild $I(90^\circ)$ und dem Phasenbild $I(270^\circ)$ ermittelt. Idealerweise, d.h. ohne Fremdlicht, ist $I(0^\circ)$ seinem Betrag nach gleich $I(180^\circ)$ und $I(90^\circ)$ seinem Betrag nach gleich $I(270^\circ)$. Jede Abweichung von dieser Beziehung lässt auf Fremdlicht einer anderen Kamera schließen, und das Ausmaß der Abweichung auf die Intensität des Fremdlichtes.

[0029] Mit anderen Worten werden für jedes Tiefenbild vier Belichtungsphasen mit unterschiedlichen Phasenverschiebungen zwischen Modulation des Sensors und des emittierten Lichts verwendet. Wenn diese mathematische Beziehung aufgrund der Einwirkung von Fremdlicht verändert wird, kann auf Fremdlicht geschlossen werden und „Störfälle“ können detektiert werden. In diesen Fällen kann keine korrekte Ermittlung der Tiefeninformation mehr gewährleistet werden. Die Kamera schaltet in diesen Fällen ab bzw. unterbricht ihren Bildaufnahmevergang und versucht es nach einer vorgegebenen Zeitspanne erneut.

[0030] Bevorzugt führt eine Time-of-Flight-Kamera vor einem Bildaufnahmevergang bei ausgeschalteter eigener Lichtquelle einen Messvorgang zur Detektion von Licht durch, und wird in Abhängigkeit des Messergebnisses dieses Messvorganges der Aufnahmemodus dieser Time-of-Flight-Kamera verändert. Dadurch kann bereits in einem vorangehenden Messvorgang das Vorhandensein von Fremdlicht grob abgeschätzt werden.

[0031] Bevorzugt verändert die Time-of-Flight-Kamera bei Überschreiten einer vorgegebenen Anzahl an gescheiterten Bildaufnahmevergängen für eine Bildaufnahme ihren Aufnahmemodus dadurch, dass die Bildaufnahmerate reduziert wird. Durch diese Maßnahme wird die gegenseitige Beeinflussung der, eine Szene aufnehmenden ToF- Kameras mit ihrem modulierten Licht reduziert.

[0032] Eine bevorzugte Ausführungsform besteht somit darin, dass beim Aufnehmen einer Szene mit zumindest zwei Time-of-flight-Kameras bei jeder Kamera im Rahmen einer Aufnahme ein Messvorgang zur Ermittlung der Tiefeninformation durchgeführt wird, wobei sich der Messvorgang aus einzelnen Messungen mit jeweils unterschiedlicher Phasendifferenz zwischen dem emittierten Lichtmodulationssignal und dem Sensormodulationssignal zusammensetzt, und dass aus den Messergebnissen des Messvorganges einer ersten Time-of-flight-Kamera ermittelt wird, ob Fremdlicht einer zweiten Time-of-flight-Kamera während des Messvorganges vor-

handen war, und dass in Abhängigkeit dieser Ermittlung, d.h. bei Vorhandensein von Fremdlicht, der Aufnahmemodus der ersten Time-of-flight-Kamera verändert wird.

[0033] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung anhand der Zeichnung näher beschrieben. Dabei zeigt

[0034] Fig. 1 eine Szene und zwei, die Szene aufnehmende Kameras mit ihren jeweiligen Sichtbereichen auf ein Objekt, bei starker Überlagerung (links), bei geringer Überlagerung (Mitte) und ohne Überlagerung (rechts) der Sichtbereiche,

[0035] Fig. 2 ein Flussdiagramm der Ablaufsteuerung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0036] Fig. 3 in schematischer Darstellung die Lichtquelle und einen Teil des Lichtsensors einer ToF-Kamera, sowie einen emittierten und an einem Objekt reflektierten Lichtstrahl,

[0037] Fig. 4 ein Signaldiagramm zur Messung der Laufzeit des Lichtes,

[0038] Fig. 5 ein Signaldiagramm mit vier Messungen bei unterschiedlicher Phasendifferenz zwischen der Modulation des emittierten Lichtes und dem Sensormodulations-signal.

[0039] Fig. 1 zeigt eine mit zwei Time-of-Flight-Kameras 1, 2 aufzunehmende Szene 3 aus Objekten 4 in drei möglichen Konstellationen. In der linken Konstellation überlagern die Sichtbereiche der einzelnen Kameras 1, 2 in hohem Ausmaß. Da die Kameras einander gegenüberliegen wird Licht der einen Kamera direkt, d.h. ohne vorherige Reflexion an einem Objekt 4, von der anderen Kamera mit-detektiert. Es ist daher eine starke, durch das emittierte Licht verursachte gegenseitige Beeinflussung der Kameras 1, 2 und damit eine starke Verfälschung der ermittelten Tiefeninformation zu erwarten.

[0040] In der in der Mitte dargestellten Konstellation beleuchten die Kameras 1, 2 einander nicht direkt, aber reflektiertes Licht der einen Kamera wird von der jeweils anderen Kamera mit-detektiert. Auch hier ist eine gegenseitige Beeinflussung, wenn auch geringer als in der linken Konstellation, zu erwarten. In der rechts dargestellten Konstellation sind die Sichtbereiche der einzelnen Kameras 1, 2 voneinander abgewandt. Eine gegenseitige Beeinflussung ist daher nicht bzw. lediglich in vernachlässigbarem Ausmaß zu erwarten.

[0041] Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand eines Flussdiagramms mit dem Ablauf der Verfahrensschritte.

[0042] Nach dem Start 16 einer Routine der Time-of-Flight-Kamera wird zunächst ein Messvorgang 17 durchgeführt. Dieser findet vor einem geplanten Bildaufnahmevergange statt. Während des Messvorganges 17 wird bei ausgeschalteter Lichtquelle eine Detektion von vorhandenem (Fremd-)Licht durchgeführt. Die Kamera überprüft also im ersten Schritt bei ausgeschalteter eigener Lichtquelle 5 (Fig. 3), ob sie modulierte Signale von anderen Lichtquellen („Störsignale“) in ihrem Sichtbereich detektieren kann. Dieser Messvorgang wird auch „Carrier-Sensing“ bezeichnet. Falls keine Störsignale detektiert werden, wird nach dem Entscheidungsschritt 18 (Störquelle: Ja-Nein) ein weiterer Messvorgang 19 ausgeführt, ansonsten zu Schritt 22 übergegangen.

[0043] Die Time-of-Flight-Kamera 1, die schematisch in Fig. 3 dargestellt ist, aktiviert nun für den weiteren Messvorgang 19 ihre eigene Lichtquelle 5. Der Messvorgang 19 umfasst die Emission von moduliertem Licht 11 durch die Lichtquelle 5 der Kamera, die Detektion von moduliertem Licht 12 nach der Reflexion an Objekten 4 der Szene 3 mit dem Bildsensor 6 und die Berechnung von Tiefeninformation aus der Laufzeit des modulierten Lichtes zwischen Emission und Detektion. Die Time-of-Flight-Kamera 1 ermittelt aus den Messergebnissen des von ihr durchgeführten Messvorganges 19, inwieweit bei diesem Messvorgang neben dem von ihrer eigenen Lichtquelle 5 emittierten Licht 11 auch moduliertes Licht einer zweiten Time-of-Flight-Kamera 2 detektiert wurde. Eine bevorzugte Ausführungsform dieses Messvorganges wird weiter unten anhand Fig. 5 beschrieben.

[0044] Falls auch durch den Messvorgang 19 keine Störsignale detektiert werden, findet nach dem Entscheidungsschritt 20 (Störquelle: Ja-Nein) die Prüfroutine ihr Ende 21 und der Bildaufnahmevergang wird fortgesetzt. Die Tiefeninformation liegt bereits vor, da diese während des Messvorganges 19 mit ermittelt wurde. Wird hingegen Fremdlicht einer anderen Time-of-Flight-Kamera detektiert, wird zu Schritt 22 übergegangen.

[0045] Im Schritt 22 wird als Reaktion auf das Vorhandensein von Fremdlicht der Aufnahmemodus der Kamera geändert. Die Time-of-Flight-Kamera ändert somit in Abhängigkeit des Ergebnisses des Messvorganges 19 ihren Aufnahmemodus.

[0046] Eine Veränderung des Aufnahmemodus kann dadurch erfolgen, dass die Bildaufnahmevergänge gestoppt oder um eine vorgegebene Zeitspanne unterbrochen werden. Die Kamera deaktiviert die eigene Lichtquelle, beendet die Aufnahme und muss eine Zeitdauer, die vorgegeben sein kann oder auch randomisiert ermittelt wird, warten und beginnt dann erneut mit dem ersten Messvorgang 17 (oder alternativ gleich mit dem Messvorgang 19).

[0047] Alternativ kann die Veränderung des Aufnahmemodus auch dadurch erfolgen, dass der Messvorgang zur Ermittlung der Tiefeninformation ausgesetzt oder um eine vorgegebene Zeitspanne unterbrochen wird.

[0048] Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die Kamera für den Messvorgang 19 die Modulationsfrequenz des von ihr emittierten Lichtes 11 verändert. Die Kamera könnte somit die Modulationsfrequenz der eigenen Lichtquelle wechseln und wieder beim ersten Messvorgang 17 beginnen. Dieser Vorgang wird auch „Frequency Hopping“ genannt. Allerdings bietet der Frequenzwechsel aufgrund der 4-Phasen Berechnung (siehe unten) keinen vollständigen Schutz vor Fremdlichtstörungen auf der vorhergehenden Frequenz. Die Trennung mittels unterschiedlicher Frequenzen funktioniert nur in dem Fall, dass über alle vier Integrationsphasen hinweg das modulierte „Fremdlicht“ gleichermaßen anliegt. Dieser Fall ist aber in der Praxis ohne anderweitige Synchronisation der Bildaufnahme zwischen den Kameras eher unwahrscheinlich.

[0049] In einer Ausführungsform der Erfindung kann eine Time-of-Flight-Kamera 1 ihren Aufnahmemodus ändern, wenn die von ihr detektierte Intensität des modulierten Lichtes einer (oder mehrere) anderen Time-of-Flight-Kamera 2 einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet.

[0050] Im optionalen Entscheidungsschritt 23 wird festgestellt, ob ein ‚Fehlerlimit‘ überschritten ist. Dies bedeutet, dass bei Erreichen oder Überschreiten einer maximalen Anzahl an gescheiterten Aufnahmeversuchen für eine Bildaufnahme eine Nachricht an die Kontrollsoftware der Kamera übermittelt wird. In diesem Fall kommt es zu einer für die Anwendung feststellbaren Reduktion der Bildaufnahmerate in Bildern pro Sekunde.

[0051] Ist ein Aufnahmezyklus beendet (Ende 21), wird der nächste Aufnahmezyklus mit dem Messvorgang 17 gestartet.

[0052] Der erste, einfache Messvorgang 17 bei ausgeschalteter eigener Lichtquelle ist optional, stellt jedoch eine bevorzugte Ausführungsform dar, da einerseits die Störlicht-Detektion zuverlässiger und andererseits die Prüfroutine verkürzt werden kann, wenn bereits während des ersten Messvorganges 17 Störlicht eindeutig festgestellt werden kann.

[0053] Anhand der Fig. 3 bis 5 wird ein bevorzugter Messvorgang 19 zur Ermittlung von Tiefeninformation näher beschrieben.

[0054] Fig. 3 zeigt eine Time-of-Flight-Kamera 1 mit einer Lichtquelle 5, insbesondere eine LED, zum Aussenden von moduliertem Licht 5. Der nur schematisch dargestellte Schalter 10 ermöglicht den einfachen Fall einer OOK-Modulation (On-Off Keying) mit einer Modulationsfrequenz f . Selbstverständlich sind auch andere Modulationsverfahren einsetzbar. Das von der Lichtquelle emittierte Licht 11 trifft auf ein Objekt 4 einer aufzunehmenden Szene und wird von diesem reflektiert. Das reflektierte Licht 12 wird vom Bildsensor 6 der Kamera 1 detektiert. Die in Fig. 3 für besseres Verständnis vereinfachte Darstellung des Bildsensors 6 enthält nur die für

die Aufnahme eines Pixels erforderlichen Mittel. Ein Bildsensor 6 enthält für jedes Pixel ein lichtsensitives Element, z.B. eine Photodiode, der zumindest zwei Potentialtöpfe 8, 9 zugeordnet sind. Ein Schalter 7 erlaubt die Umschaltung zwischen den beiden Potentialtöpfen, sodass abwechselnd (über eine vorgegebene Zeitspanne) Ladung in den einzelnen Potentialtöpfen 8, 9 gesammelt werden kann. Die Umschaltung zwischen den Potentialtöpfen erfolgt durch ein Sensormodulationssignal 13 (Fig. 4). Das Auslesen der Potentialtöpfe 8, 9 erlaubt das Zugreifen auf die Bildinformation.

[0055] Fig. 4 zeigt nun anhand eines Signaldiagramms das von der Lichtquelle 5 emittierte modulierte Licht 11, das reflektierte und vom Bildsensor 6 detektierte Licht 12, das Sensormodulationssignal 13, das integrierte Signal 14, das in den ersten Potentialtopf 8 ‚gelangt‘ und das integrierte Signal 15, das in den zweiten Potentialtopf 9 ‚gelangt‘ jeweils im zeitlichen Verlauf übereinander.

[0056] Es ist deutlich zu sehen, dass sich aufgrund der Laufzeit eine zeitliche Verschiebung (Phasenverschiebung) zwischen dem emittierten Lichtsignal 11 und dem detektierten Lichtsignal 12 einstellt.

[0057] Das Sensormodulationssignal 13 ist das Umschaltsignal, durch das zwischen den beiden Potentialtöpfen 8, 9 umgeschaltet wird. In der Darstellung von Fig. 4 (und auch Fig. 5) entspricht der positive Teil 8' des Sensormodulationssignals 13 der Schaltung des ersten Potentialtopfes 8 und der negative Teil 9' des Sensormodulationssignals 13 der Schaltung des Potentialtopfes 9. Die Frequenz des Sensormodulationssignals 13 entspricht dabei der Modulationsfrequenz des emittierten Lichtes 11.

[0058] Je nach zeitlicher Verschiebung sind die integrierten Signale 14, 15 unterschiedlich stark, sodass aus der Differenz zwischen dem integrierten Signal 14 des ersten Potentialtopfes 8 und dem integrierten Signal 15 des zweiten Potentialtopfes 9 auf die Laufzeit des Lichtes und damit auf die Distanz des Objektes 4 von der Kamera 1 geschlossen werden kann. Eigentlich wird eine Phasenverschiebung detektiert. Ist die Phasenverschiebung 0° , wird das Signal nur im ersten Potentialtopf 8 ‚auf-integriert‘, während der zweite Potentialtopf leer bleibt. Ist die Phasenverschiebung 90° , sammelt sich in beiden Potentialtöpfen 8, 9 "gleich viel Signal" an.

[0059] Fig. 5 zeigt nun ein besonderes Prinzip der Tiefenberechnung, bei dem auch das Vorhandensein von Fremdlicht, also von moduliertem Licht einer fremden Kamera, geprüft werden kann.

[0060] Jedes Pixel besteht aus zwei Potentialtöpfen 8, 9, die abwechselnd mit der Modulationsfrequenz des ausgesendeten Lichtes belichtet werden. Die Belichtung erfolgt viermal, wobei bei jeder Belichtung die Phasenverschiebung zwischen dem Sensormodulationssignal 13 (Potentialtopfumschaltung) und der Modulation des emittierten Lichtes 11 um 90° erhöht wird. Somit ergibt sich für die erste Belichtung eine nominelle Phasenverschiebung von 0° , bei der zweiten um 90° , dann um 180° und schließlich um 270° bei der vierten. Durch die Entfernung des reflektierenden Objektes 4 zur Kamera 1 ergibt sich für jede Belichtungsphase eine zusätzliche Phasenverschiebung.

[0061] Die Phasendifferenzen zwischen der Modulation des emittierten Lichtes und dem Sensormodulationssignal des Bildsensors beträgt für die einzelnen der vier Messungen $\varphi_0 + 0^\circ$, $\varphi_0 + 90^\circ$, $\varphi_0 + 180^\circ$ und $\varphi_0 + 270^\circ$, wobei φ_0 eine Ausgangsphasendifferenz bzw. eine Offset-Phasendifferenz ist, die im dargestellten Ausführungsbeispiel 0° beträgt, grundsätzlich jedoch beliebig wählbar ist.

[0062] Die Signaldifferenz zwischen den beiden Potentialtöpfen 8, 9 wird als Belichtungswert für jedes Pixel und für jede der vier unterschiedlichen Phasen (0° , 90° , 180° , 270°) ausgegeben, wodurch sich vier Phasenbilder $I(0^\circ)$, $I(90^\circ)$, $I(180^\circ)$ und $I(270^\circ)$ ergeben. Ein Phasenbild wird durch die Differenzbildung zwischen dem Signal des einen Potentialtopfes 8 und dem Signal des anderen Potentialtopfes 9 gebildet. Die Phasenbilder werden für die weitere Berechnung wie folgt herangezogen.

[0063] Aus der Differenz zwischen den Phasenbildern $I(0^\circ)$ und $I(180^\circ)$, sowie der Differenz zwischen den Phasenbildern $I(90^\circ)$ und $I(270^\circ)$ kann die Entfernung d zum Objekt 4 mittels des arcus tangens aus dem Quotienten ermittelt werden. Der Betrag ergibt die Amplitude.

[0064] $d \sim \arctan[(I(270^\circ) - I(90^\circ)) / (I(180^\circ) - I(0^\circ))]$

[0065] Mathematisch handelt es sich dabei um eine Korrelation der beiden Rechtecksignale: des Modulationssignals des emittierten Lichtes 11 und des Sensormodulationssignales 13, wobei im Grunde nicht zwingend eine OOK-Modulation notwendig ist, sondern jede beliebige Form für das Modulationssignal verwendbar wäre, sofern die Lichtquelle mit diesem Signal modulierbar ist.

[0066] Aus den einzelnen Phasenbildern erfolgt nun auch eine Plausibilitätsprüfung dahingehend, ob nicht Fremdlicht die Messung verfälscht hat. Diese erfolgt folgendermaßen:

[0067] Die einzelnen Werte pro Pixel der einzelnen Phasen müssen in einer bestimmten Beziehung stehen, um eine korrekte Tiefenberechnung durchführen zu können. Ist diese Beziehung nicht gegeben, ist keine verlässliche Tiefenberechnung möglich. Eine mögliche Ursache für eine Verletzung dieser Beziehung ist der Einfluss von Fremdlicht, welches aufgrund der jeweils um 90° versetzten Phasendifferenz zwischen den einzelnen Messungen nicht auf alle vier Phasenbilder gleichermaßen einwirkt.

[0068] Zur Beurteilung, ob während der Messung Fremdlicht vorhanden war oder nicht, kann die Summe aus dem Phasenbild $I(0^\circ)$ und dem Phasenbild $I(180^\circ)$ gebildet werden und die Summe aus dem Phasenbild $I(90^\circ)$ und dem Phasenbild $I(270^\circ)$ gebildet werden. Diese beiden Summen müssen annähernd 0 ergeben. Ist dies nicht der Fall, wurden die Messungen von Fremdlicht beeinflusst und es kann davon ausgegangen werden, dass die ermittelte Tiefeninformation mit den tatsächlichen Distanzen nicht übereinstimmt.

[0069] Eine Kollision mit anderen Kameras ist somit auch während eines Bildaufnahmeprozesses feststellbar. In diesem Fall wird wie bereits anhand der Fig. 2 erläutert Schritt 22 durchgeführt, nämlich eine Änderung des Aufnahmemodus der Kamera.

[0070] Die Erfindung ist nicht auf die beschriebene Ausführungsformen und die darin hervorgehobenen Aspekte beschränkt. Vielmehr ist innerhalb des Erfindungsgedankens eine Vielzahl von Abwandlungen möglich, die im Rahmen fachmännischen Handelns liegen. Ebenso ist es möglich, durch Kombination der genannten Mittel und Merkmale weitere Ausführungsvarianten zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufnehmen einer Szene (3) mit zumindest zwei Time-of-Flight- Kameras (1, 2), die jeweils eine Lichtquelle (5) und einen Bildsensor (6) aufweisen, wobei mit jeder der zumindest zwei Time-of-Flight-Kameras (1,2) Bildaufnahmevorgänge durchgeführt werden, die einen Messvorgang zur Ermittlung von Tiefeninformation umfassen, wobei der Messvorgang die Emission von moduliertem Licht (11) durch die Lichtquelle (5), die Detektion von moduliertem Licht (12) nach der Reflexion an Objekten (4) der Szene (3) mit dem Bildsensor (6) und die Berechnung von Tiefeninformation aus der Laufzeit des modulierten Lichtes zwischen Emission und Detektion umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine erste Time-of-Flight-Kamera (1) aus den Messergebnissen des von ihr durchgeführten Messvorganges ermittelt, inwieweit bei diesem Messvorgang neben dem von der eigenen Lichtquelle (5) emittierten Licht (11) auch moduliertes Licht einer zweiten Time-of-Flight-Kamera (2) detektiert wurde, und dass die erste Time-of-Flight-Kamera (1) in Abhängigkeit des Ergebnisses dieser Ermittlung ihren Aufnahmemodus ändert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Time- of-Flight-Kamera (2) aus den Messergebnissen des von ihr durchgeführten Messvorganges ermittelt, inwieweit bei diesem Messvorgang neben dem von der eigenen Lichtquelle emittierten Licht (11) auch moduliertes Licht der ersten Time-of-Flight-Kamera (1) detektiert wurde, und dass die zweite Time-of-Flight-Kamera (2) in Abhängigkeit des Ergebnisses dieser Ermittlung ihren Aufnahmemodus ändert.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Veränderung des Aufnahmemodus dadurch erfolgt, dass die Bildaufnahmevorgänge gestoppt oder um eine vorgegebene Zeitspanne unterbrochen werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Veränderung des Aufnahmemodus dadurch erfolgt, dass der Messvorgang zur Ermittlung der Tiefeninformation ausgesetzt oder um eine vorgegebene Zeitspanne unterbrochen wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Veränderung des Aufnahmemodus dadurch erfolgt, dass für den Messvorgang die Modulationsfrequenz des emittierten Lichtes (11) verändert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Time-of-Flight-Kamera (1,2) ihren Aufnahmemodus ändert, wenn die von ihr detektierte Intensität des modulierten Lichtes einer anderen Time-of-Flight-Kamera (2, 1) einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich der Messvorgang aus einzelnen Messungen mit jeweils unterschiedlicher Phasendifferenz zwischen der Modulation des emittierten Lichtes (11) und dem Sensormodulationssignal (13) des Bildsensors (6) zusammensetzt.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Messvorgang zumindest vier Messungen umfasst, wobei die Phasendifferenzen zwischen der Modulation des emittierten Lichtes (11) und dem Sensormodulationssignal (13) des Bildsensors (6) für die einzelnen der vier Messungen $\varphi_0 + 0^\circ$, $\varphi_0 + 90^\circ$, $\varphi_0 + 180^\circ$ und $\varphi_0 + 270^\circ$ betragen, wobei φ_0 eine Ausgangsphasendifferenz ist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Time-of-Flight-Kamera (1, 2) vor einem Bildaufnahmevorgang bei ausgeschalteter eigener Lichtquelle (5) einen Messvorgang zur Detektion von Licht durchführt, und dass in Abhängigkeit des Messergebnisses dieses Messvorganges der Aufnahmemodus dieser Time-of- Flight-Kamera (1,2) verändert wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Time-of-Flight-Kamera (1,2) bei Überschreiten einer vorgegebenen Anzahl an gescheiterten Bildaufnahmevorgängen für eine Bildaufnahme ihren Aufnahmemodus dadurch verändert, dass die Bildaufnahme rate reduziert wird.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

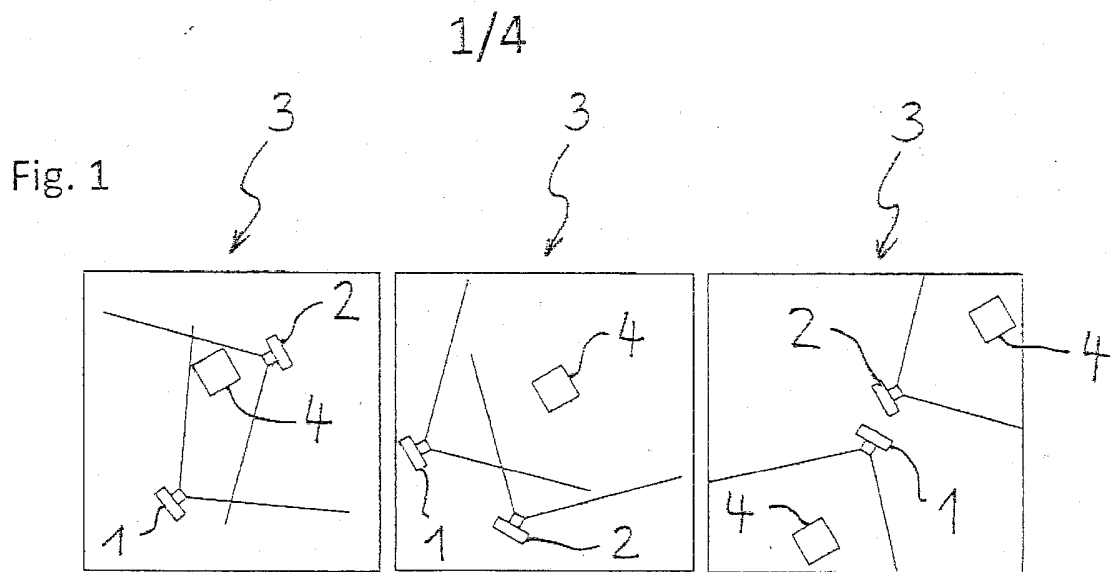
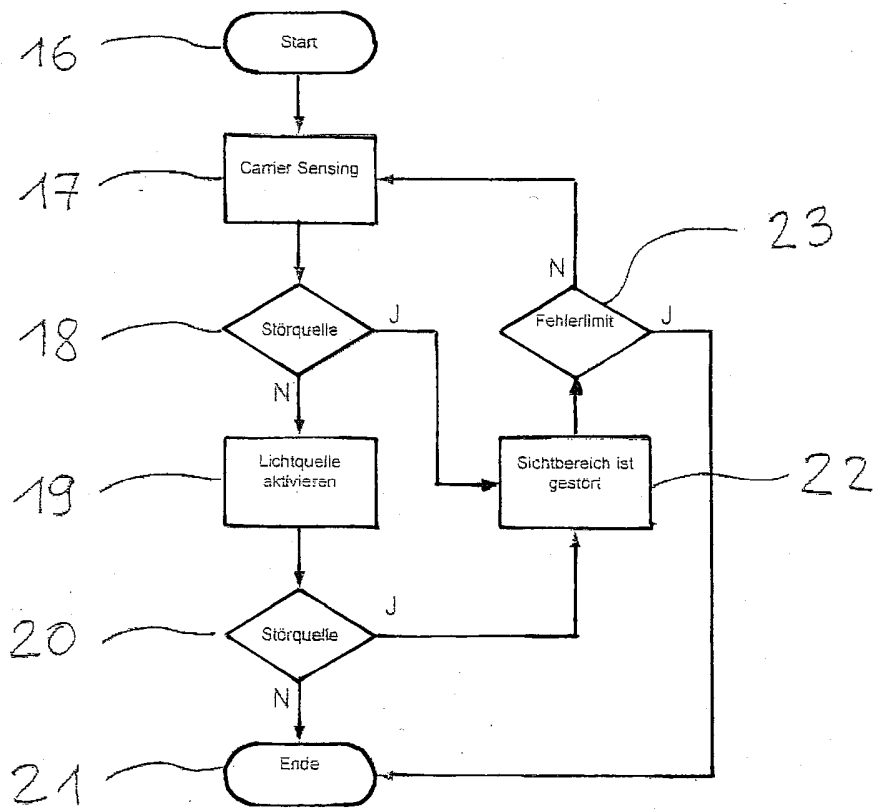
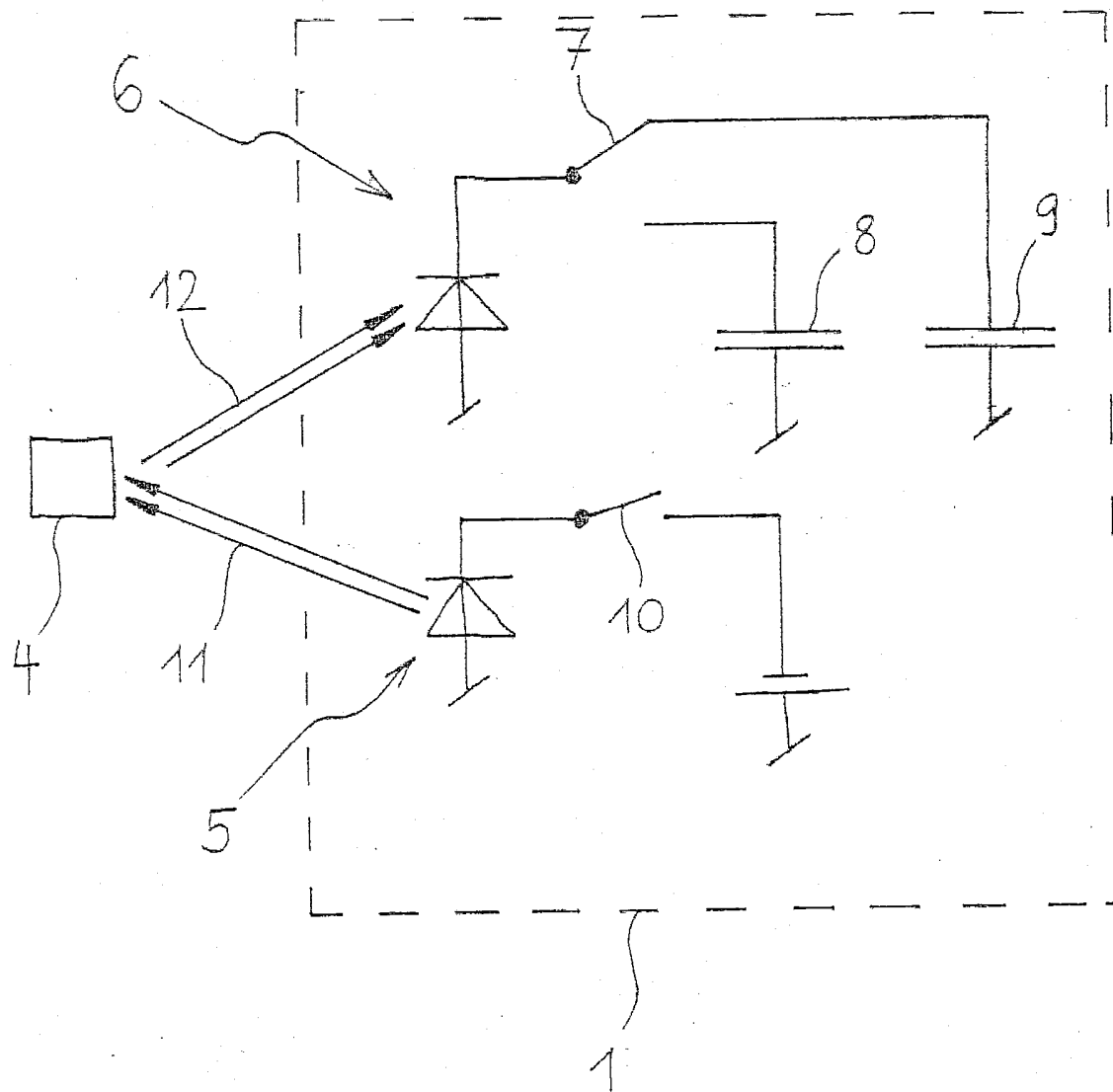


Fig. 2



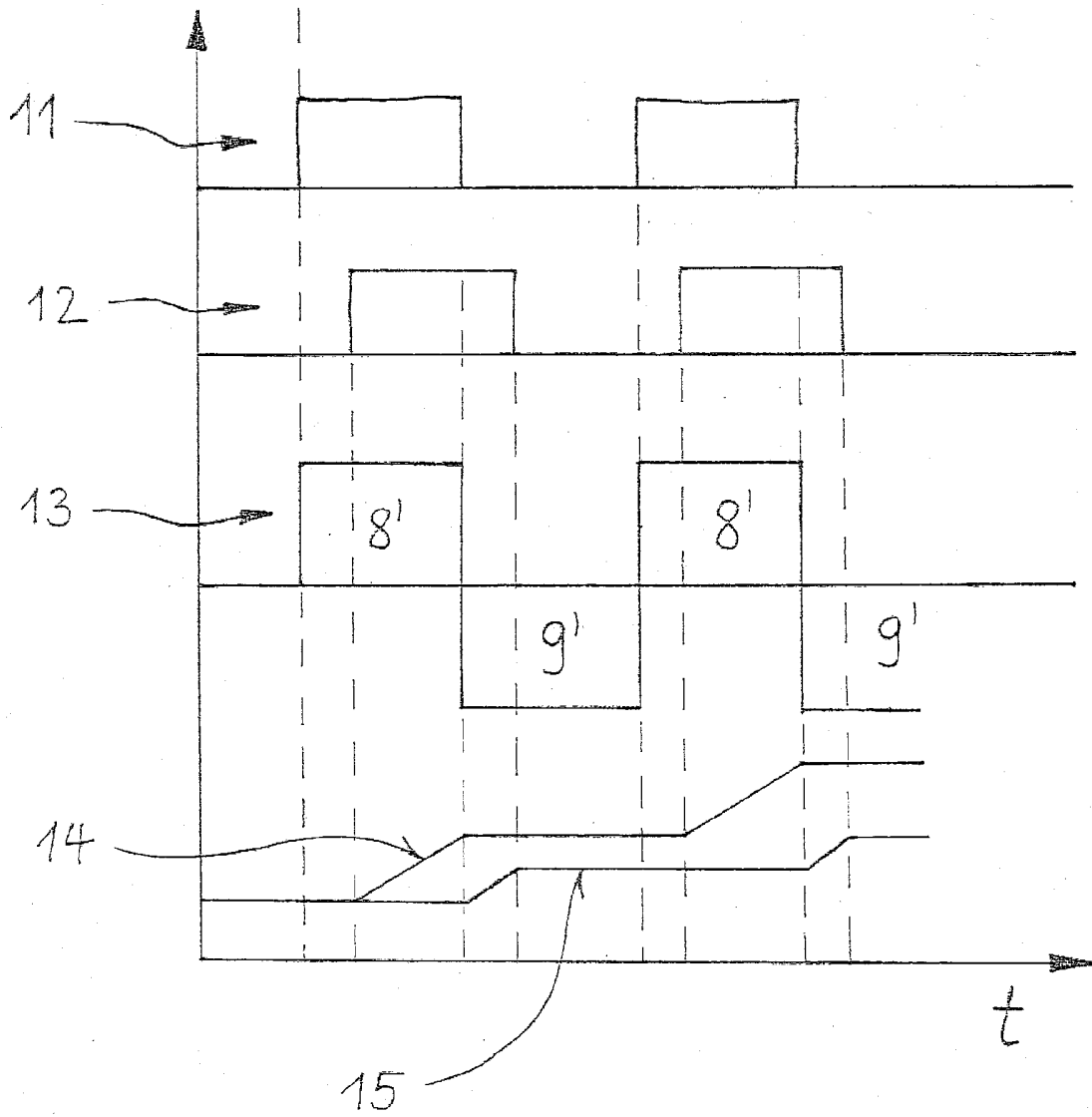
2/4

Fig. 3



3/4

Fig. 4



4/4

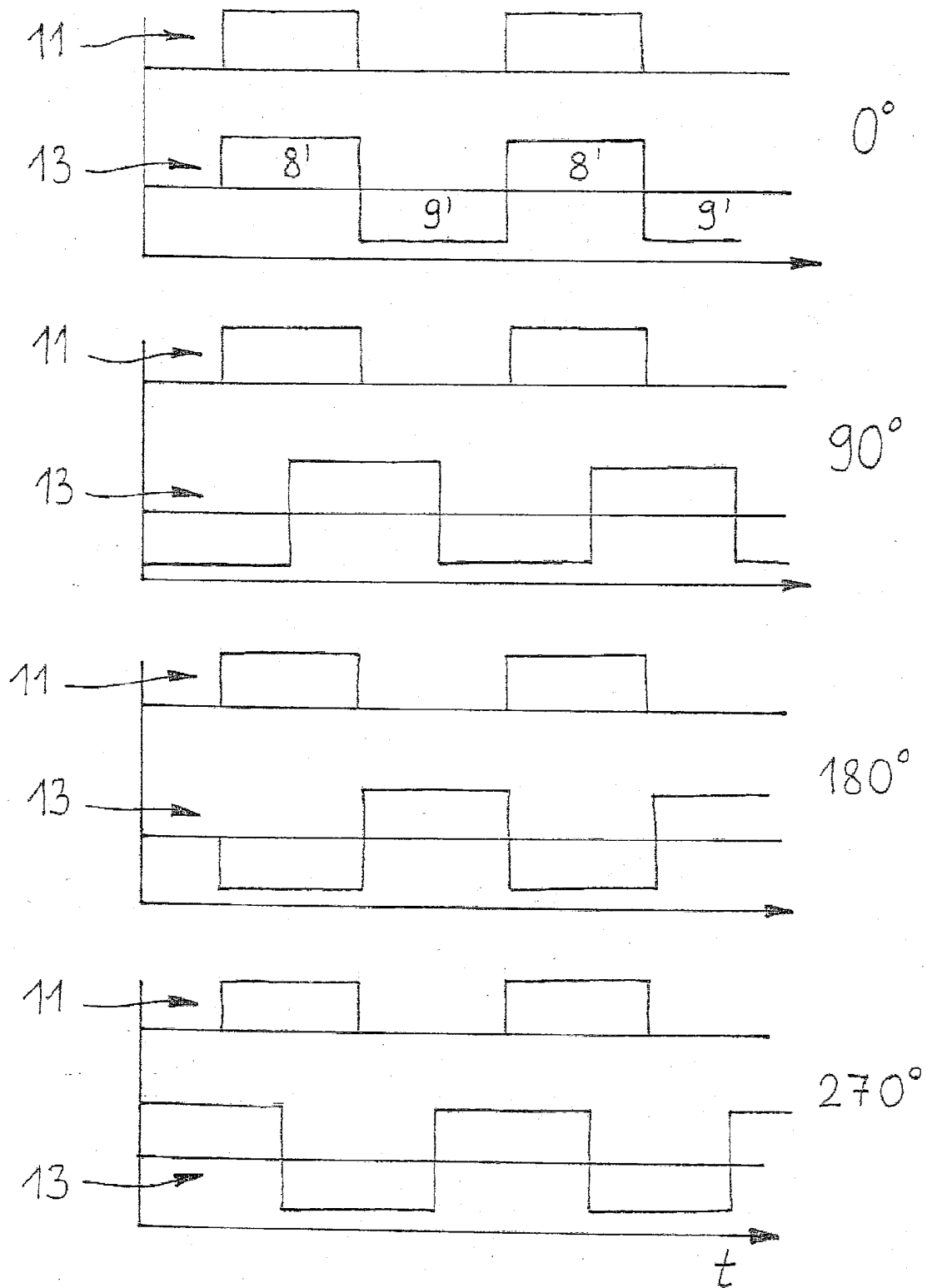


Fig. 5