



(10) **DE 11 2013 005 337 T5** 2015.07.16

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2014/074871**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2013 005 337.3**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2013/069231**
(86) PCT-Anmeldetag: **08.11.2013**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **15.05.2014**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **16.07.2015**

(51) Int Cl.: **G06T 7/20 (2006.01)**
H05B 37/02 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
61/724,073 **08.11.2012** **US**
13/744,810 **18.01.2013** **US**

(71) Anmelder:
Leap Motion, Inc., San Francisco, Calif., US

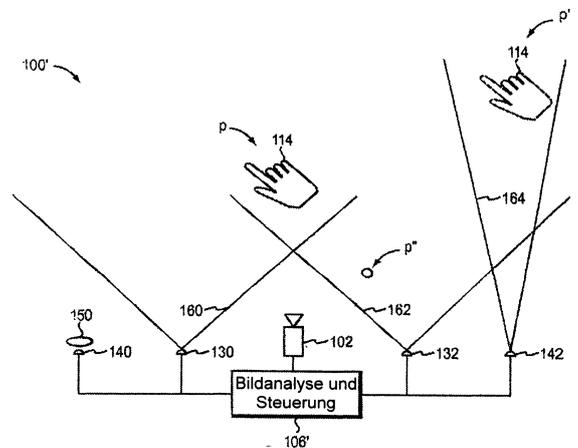
(74) Vertreter:
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG
mbB, 80802 München, DE**

(72) Erfinder:
Holz, David, San Francisco, Calif., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Objekterfassung und Nachverfolgung mit veränderlichen Feldbeleuchtungsrichtungen**

(57) Zusammenfassung: Bildgebungssysteme und Verfahren zum Optimieren einer Beleuchtung von Objekten für eine Erfassung, Erkennung und/oder Nachverfolgung durch Abstimmen der Beleuchtung an der Position des Objekts innerhalb des Erfassungsraums. Es kann z. B. eine Rückmeldung durch ein Nachverfolgungssystem eingesetzt werden, um die Lichtelemente zu steuern und auszurichten, so dass die Beleuchtung abhängig vom Bedarf z. B. verringert oder erhöht werden kann.



Beschreibung**Zusammenfassung**

Querverweis auf parallele Anmeldungen

[0001] Diese Anmeldung nimmt die Priorität der US-Anmeldung mit Anmeldenummer 13/744,810, eingereicht am 18. Januar 2013, in Anspruch, die auf die am 8. November 2012 eingereichte US-Provisional-Anmeldung mit Anmeldenummer 61/724,073 zurückgeht, deren gesamten Offenbarungen durch Bezugnahme herein vollständig aufgenommen werden.

Hintergrund

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen bildgebende Systeme und insbesondere eine dreidimensionale (3D-)Objekterfassung, Nachverfolgung und Charakterisierung unter Verwendung der optischen Bildgebung.

[0003] Motion-Capture-Systeme werden in einer Vielzahl von Zusammenhängen zum Erhalten von Informationen über Gestalt und Bewegung verschiedener Objekte eingesetzt, einschließlich Objekte mit artikulierenden Elementen, wie z. B. menschliche Hände oder menschliche Körper. Solche Systeme umfassen im Allgemeinen Kameras zum Erfassen sequentieller Bilder eines sich bewegenden Objekts und Computer zur Analyse der Bilder, um eine Rekonstruktion eines Objektvolumens, einer Objektposition und einer Objektbewegung zu erzeugen. Für die 3D-Bewegungserfassung werden typischerweise wenigstens zwei Kameras verwendet.

[0004] Bildbasierte Motion-Capture-Systeme basieren darauf, dass ein Objekt von Interesse gegenüber anderen Objekten oder dem Hintergrund unterschieden werden kann. Dies wird häufig unter Verwendung von Bildanalyse-Algorithmen zur Kanten-erfassung erreicht, typischerweise durch Vergleich von Pixel, um abrupte Änderungen in der Farbe und/oder Helligkeit zu erkennen. Offensichtlich stellt eine adäquate Beleuchtung des interessierenden Objekts den Schlüssel für eine erfolgreiche Erfassung dar. Typischerweise sind für Systeme, die über einen breiten Erfassungsbereich betrieben werden können, hohe Beleuchtungsintensitäten erforderlich; in der Tat wird der gesamte überwachte Bereich in Licht gebadet (das Licht kann sichtbar oder außerhalb des sichtbaren Spektrums sein, beispielsweise Infrarotstrahlung), so dass die „ungünstigsten“ Objektstellungen ausreichend beleuchtet werden. Dies bedeutet, dass die einheitliche Lichtintensität beinahe immer größer ist, als notwendig, was übermäßige Anforderungen bezüglich des Hardware Designs, der Anzahl und/oder Luminanz von Lichtelementen und des Leistungsverbrauchs vorgibt.

[0005] Die vorliegende Erfindung betrifft bildgebende Systeme und Verfahren, die eine Beleuchtung von Objekten zum Zwecke der Erfassung, Erkennung und/oder Nachverfolgung durch eine Auslegung der Beleuchtung an der Position des Objekts innerhalb des Erfassungsraums optimieren. Zum Beispiel kann die Rückantwort eines Nachverfolgungssystems zur Steuerung und zur Ausrichtung der Lichtelemente verwendet werden, so dass die Beleuchtung bei Bedarf verringert oder erhöht werden kann.

[0006] Im Allgemeinen verwenden Systeme gemäß der vorliegenden Erfindung eine Anordnung von Lichtelemente (beispielsweise lichtemittierende Dioden (LEDs), Glühlampen, Laser usw.) mit unterschiedlichen oder veränderlichen Beleuchtungswinkeln (auch bekannt als Strahlwinkel, vorzugsweise der Winkel zwischen zwei entlang der Strahlachse gegenüberliegenden Richtungen, für die die Lichtstärke die Hälfte der maximalen Lichtstärke beträgt). Je größer der Winkel der Beleuchtung ist, desto schneller fällt die Intensität mit dem Abstand ab. Bei Bewegung des Objekts bestimmen dementsprechend seine Ausmaße und seine Position, welche Beleuchtungsvorrichtungen eingeschaltet werden oder deren Beleuchtungswinkel.

[0007] Der Erfassungsraum kann beispielsweise anfänglich durch ein oder mehrere Lichtelemente mit breitem Strahl und gemeinsamem Sichtfeld ausgeleuchtet werden, das dem der Nachverfolgungsvorrichtung, z. B. einer Kamera, ähnlich ist. Sobald die Position des Objekts erhalten wurde, kann das Lichtelement bzw. können die Lichtelemente mit breitem Strahl ausgeschaltet werden und es können ein oder mehrere Lichtelemente mit engem Strahl aktiviert werden, die in die Richtung des Objekts zielen. Bei Bewegung des Objekts werden unterschiedliche der Lichtelemente mit engem Strahl aktiviert. In vielen Ausgestaltungen ist es lediglich erforderlich, dass die gerichteten Lichtelemente im Zentrum des Sichtfelds der Kamera angeordnet sind; im Falle einer Handverfolgung werden Leute z. B. häufig nicht versuchen, unter Weitwinkel und gleichzeitig großem Abstand mit der Kamera zu interagieren.

[0008] Falls das nachverfolgte Objekt unter einem großen Winkel zur Kamera steht (vorzugsweise nahe an der Seite der Bewegungsnachverfolgungsvorrichtung), befindet es sich wahrscheinlich relativ nahe an der Vorrichtung. Dementsprechend ist ein Lichtelement mit breitem Strahl und geringer Leistung geeignet. Es ergibt sich, dass die Lichtanordnung lediglich eines oder eine kleine Anzahl von Lichtelementen mit breitem Strahl nahe der Kamera zusammen mit einer gleichgroßen oder größeren Anzahl von Vorrichtungen mit engem Strahl umfassen kann (die beispielsweise kollektiv den Mittelfeldbereich eines Raums vor

der Kamera abdecken – z. B. in einem 30°- oder 45°-Kegel um die Normale zur Kamera). Es ist folglich möglich, die Anzahl der Lichtelemente, die zur Beleuchtung eines Raums erforderlich ist, in dem eine Bewegung erfasst wird, unter Verwendung einer kleinen Anzahl von Elemente mit breitem Strahl und einer großen (oder gleichen) Anzahl an Elemente mit engem Strahl zu verringern oder zu minimieren, die zum Mittelfeld gerichtet sind.

[0009] Es ist auch möglich ein breites Sichtfeld mit vielen LEDs mit schmalen Strahl abzudecken, die in unterschiedliche Richtungen weisen. Diese können zum Abtasten des überwachten Raums betrieben werden, um die Elemente zu identifizieren, die das Objekt tatsächlich anstrahlen; es werden nur diese eingeschaltet gelassen und die anderen werden ausgeschaltet. In einigen Ausführungsformen berechnet das Bewegungssystem eine vorhergesagte Trajektorie des verfolgten Objekts. Diese Trajektorie wird verwendet, um vorherzusagen, welche Beleuchtungselemente aktiviert werden sollen, wenn sich das Objekt bewegt. Die Trajektorie wird zusammen mit der Beleuchtungsstruktur überarbeitet, wenn neue Informationen zur Nachverfolgung erhalten werden.

[0010] In einem ersten Aspekt bezieht sich die Erfindung demzufolge auf ein Bildaufnahme- und Bildanalyse-System mit einer Kamera, die zu einem Sichtfeld orientiert ist; einer Mehrzahl von einzeln steuerbaren Lichtelementen, die zu dem Sichtfeld gerichtet sind, wobei die Lichtelemente wenigstens ein Lichtelement mit breitem Strahl und eine Mehrzahl von Lichtelementen mit schmalen Strahl aufweisen; und eine Steuerung, die mit der Kamera verbunden ist. In verschiedenen Ausführungsformen sind die Steuerung und die Lichtquellen ausgebildet, um die Kamera zur Aufnahme einer Sequenz von Bildern zu bedienen, wenn sich ein Objekt im Sichtfeld bewegt; und die Lichtelemente zur Beleuchtung des sich bewegenden Objekts mit ausreichender Intensität zu bedienen, um eine Bildaufnahme der Kamera mit minimaler Leistungsversorgung zu unterstützen.

[0011] In verschiedenen Ausführungsformen umfassen die Lichtelemente wenigstens ein Lichtelement mit breitem Strahl und eine Mehrzahl von Lichtelementen mit schmalen Strahl. Die Lichtelemente mit schmalen Strahl können einen Strahlwinkel von ca. 60° aufweisen und die Lichtelemente bzw. das Lichtelement mit breitem Strahl können einen Strahlwinkel von ca. 120° aufweisen. Die Steuerung kann zur Nachverfolgung des Objekts ausgebildet sein und verschiedene Lichtelemente mit schalem Strahl aktivieren, um die Beleuchtung des Objekts zu erhalten, während es sich bewegt. Darüberhinaus kann die Steuerung zur Deaktivierung der Lichtelemente ausgebildet sein, die nicht zur Beleuchtung des Objekts erforderlich sind. In einigen Ausführungsformen steuert die Steuerung die Lichtelemente mit schma-

lem Strahl, um die Beleuchtung des Objekts durch wenigstens ein solches Element zu erhalten, wenn sich das Objekt bewegt. Die Steuerung kann z. B. zur Analyse von Bildern der Kamera ausgebildet sein, um eine Trajektorie des Objekts vorherzusagen und um Lichtelemente gemäß der vorhergesagten Trajektorie zu aktivieren oder steuern.

[0012] In einem zweiten Aspekt bezieht sich die Erfindung auf ein Bildaufnahme- und Bildanalyse-System. In verschiedenen Ausführungsformen umfasst das System eine zu einem Sichtfeld orientierte Kamera; eine Mehrzahl von einzeln steuerbaren Lichtelementen und steuerbare Optiken, die wenigstens einem der Lichtelemente zugeordnet sind, wobei die Optiken zur Änderung eines Strahlwinkels des zugeordneten Lichtelements steuerbar sind; und eine Steuerung, die mit der Kamera und den Lichtquellen verbunden ist. Die Steuerung ist zum Bedienen der Kamera ausgebildet, um eine Sequenz von Bildern eines sich im Sichtfeld bewegenden Objekts aufzunehmen; und die Lichtelemente und die Optiken zur Beleuchtung des sich bewegenden Objekts mit ausreichender Intensität zu bedienen, so dass eine Bildaufnahme durch die Kamera bei minimalem Leistungsverbrauch unterstützt wird. In einigen Ausführungsformen weisen die Optiken einstellbare Linsen auf. Die Steuerung kann die Optiken steuern, um einen Strahlwinkel eines Lichtelements und einen Betriebsstrom zu ändern, so dass eine ausgegebene Luminanz des Lichtelements zur Minimierung des Betriebsstroms geändert wird.

[0013] In einem dritten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Bildaufnahme und -analyse zur Verwendung mit einer Kamera und einer Mehrzahl von Lichtelementen, die zu einem Sichtfeld orientiert sind; die Lichtelemente umfassen wenigstens ein Lichtelement mit breitem Strahl und eine Mehrzahl von Lichtelementen mit schmalen Strahl. Die Lichtelemente können insbesondere wenigstens ein Lichtelement mit weitem Strahl und eine Mehrzahl von Lichtelementen mit schmalen Strahl aufweisen. In verschiedenen Ausführungsformen umfasst das Verfahren ein Bedienen der Kamera zur Aufnahme einer Sequenz von Bildern eines sich im Sichtfeld bewegenden Objekts; und ein Bedienen der Lichtelemente zur Beleuchtung des sich bewegenden Objekts mit ausreichender Intensität, um eine Bildaufnahme durch die Kamera bei minimalem Leistungsverbrauch zu unterstützen. In einigen Ausgestaltungen können die Lichtelemente mit schmalen Strahl einen Strahlwinkel von ca. 60° und die Lichtelemente bzw. das Lichtelement mit breitem Strahl einen Strahlwinkel von ca. 120° aufweisen.

[0014] In verschiedenen Ausführungsformen wird das Objekt nachverfolgt und es werden unterschiedliche Lichtelemente mit schmalen Strahl aktiviert, um die Beleuchtung des Objekts während seiner Bewe-

gung aufrechtzuerhalten; Lichtelemente, die nicht zur Beleuchtung des Objekts erforderlich sind, können deaktiviert werden. Darüberhinaus können Lichtelemente mit schmalen Strahl gesteuert werden, um die Beleuchtung des Objekts durch wenigstens ein solches Element aufrecht zu erhalten, wenn sich das Objekt bewegt. Bilder der Kamera können ausgewertet werden, um eine Trajektorie des Objekts vorherzusagen, und es können Lichtelemente gemäß der vorhergesagten Trajektorie aktiviert und/oder gesteuert werden.

[0015] In einem vierten Aspekt bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zur Bildaufnahme und Bildanalyse für die Verwendung mit einer Kamera und einer Mehrzahl von einzeln steuerbaren Lichtelementen, die zu einem Sichtfeld orientiert sind, und steuerbare Optiken, die wenigstens einem der Lichtelemente zugeordnet sind; die Optiken sind steuerbar, um einen Strahlwinkel des zugeordneten Lichtelements zu ändern. In verschiedenen Ausführungsformen umfasst das Verfahren ein Bedienen der Kamera zur Aufnahme einer Sequenz von Bildern eines sich im Sichtfeld bewegenden Objekts; und ein Bedienen der Lichtelemente und der Optiken zur Beleuchtung des sich bewegenden Objekts mit ausreichender Intensität, um eine Bildaufnahme durch die Kamera bei minimalem Leistungsverbrauch zu unterstützen.

[0016] Gemäß der Verwendung hierin bedeutet der Ausdruck „im Wesentlichen“ oder „ungefähr“ eine Abweichung bis zu $\pm 10\%$ (beispielsweise bzgl. Gewicht oder Volumen), und in einigen Ausführungsformen bis zu $\pm 5\%$. Der Ausdruck „im Wesentlichen enthalten“ bedeutet, dass andere Materialien, die zur Funktion beitragen, ausgeschlossen sind, sofern hierin nicht anderweitig definiert. Der Ausdruck „Licht“ bezieht sich auf jede Art von elektromagnetischer Strahlung und nicht nur z. B. auf sichtbares Licht. Eine Bezugnahme an verschiedenen Stellen in dieser Beschreibung auf „ein Beispiel“, „eine Ausführungsform“ bezieht sich nicht unbedingt auf das gleiche Beispiel. Darüberhinaus können die speziellen Merkmale, Strukturen, Routinen, Schritte oder Eigenschaften in einer beliebigen geeigneten Weise in einem oder mehreren Beispielen der Technik kombiniert werden. Die hierin bereitgestellten Überschriften dienen der Übersicht und nicht zur Beschränkung oder Interpretation des Rahmens oder der Bedeutung der beanspruchten Technik.

[0017] Die folgende detaillierte Beschreibung zusammen mit den beiliegenden Figuren wird zu einem besseren Verständnis der Natur und der Vorteile der vorliegenden Erfindung bereitgestellt.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0018] Fig. 1A stellt ein beispielhaftes System zur Aufnahme von Bilddaten dar.

[0019] Fig. 1B stellt ein System zur Aufnahme von Bilddaten gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar.

[0020] Fig. 2 stellt ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Computersystems dar, das eine Bildaufnahmevorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bildet.

[0021] Die Fig. 3A bis Fig. 3C stellen Graphen von Helligkeitsdaten für Pixelreihen dar, die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erhalten werden können.

[0022] Fig. 4 zeigt ein Flussdiagramm eines Prozesses zum Identifizieren des Orts eines Objekts in einem Bild gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0023] Fig. 5 stellt eine Zeitachse dar, in der Lichtquellen in regulären Zeitabschnitten gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gepulst eingeschaltet werden.

[0024] Fig. 6 stellt eine Zeitachse zum Pulsieren von Lichtquellen und Aufnehmen von Bildern gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar.

[0025] Fig. 7 stellt ein Flussdiagramm eines Prozesses zum Identifizieren von Objektkanten unter Verwendung sukzessiver Bilder gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar.

[0026] Fig. 8 stellt eine Aufsicht auf ein Computersystem dar, das eine Bewegungserfassungsvorrichtung als eine Benutzereingabevorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bildet.

[0027] Fig. 9 stellt eine Vorderansicht eines Tablet-Computers dar, der ein anderes Beispiel eines Computersystems darstellt, das eine Bewegungserfassungsvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0028] Fig. 10 stellt ein Brillensystem dar, das eine Bewegungserfassungsvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bildet.

[0029] Fig. 11 stellt ein Flussdiagramm eines Prozesses zur Verwendung von Bewegungsinformation als Benutzereingabe für eine Steuerung eines Computersystems oder eines anderen Systems gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar.

[0030] Fig. 12 stellt ein System zur Aufnahme von Bilddaten gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar.

[0031] Fig. 13 stellt ein System zur Aufnahme von Bilddaten gemäß wieder einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar.

Detaillierte Beschreibung

[0032] Es wird zuerst auf Fig. 1A Bezug genommen, die ein System **100** zur Aufnahme von Bilddaten zeigt, das nicht die vorliegende Erfindung darstellt. Das System **100** umfasst ein Paar von Kameras **102, 104**, das mit einem Bildanalysesystem **106** verbunden ist. Die Kameras **102, 104** können Kameras eines beliebigen Typs sein, einschließlich Kameras, die im sichtbaren Spektrums empfindlich sind, oder weiter typisch eine vergrößerte Empfindlichkeit in einem begrenzten Wellenlängenband (beispielsweise das Infrarote (IR) oder Ultraviolette Band) aufweisen; allgemeiner bezieht der Ausdruck „Kamera“ hierin auf eine beliebige Vorrichtung (oder Kombination von Vorrichtungen), die dazu in der Lage ist, ein Bild eines Objekts aufzunehmen und das Bild in Form von digitalen Daten darzustellen. Es können beispielsweise Liniensensoren oder Linienkameras anstelle herkömmlicher Vorrichtungen eingesetzt werden, die ein zweidimensionales (2D-)Bild aufnehmen. Der Ausdruck „Licht“ wird im Allgemeinen für eine beliebige elektromagnetische Strahlung verwendet, die innerhalb des sichtbaren Spektrums sein kann, oder auch nicht, und die ein Breitband (beispielsweise weißes Licht) oder ein schmales Band (beispielsweise eine einzige Wellenlänge oder ein schmales Band von Wellenlängen) umfassen kann.

[0033] Die Kameras **102, 104** sind vorzugsweise in der Lage, Videobilder aufzunehmen (insbesondere sukzessive Bildframes bei einer konstanten Rate von wenigstens 15 Frames pro Sekunde), obwohl keine spezielle Frame-Rate erforderlich ist. Die Erfindung hängt nicht von den Eigenschaften der Kameras **102, 104** ab und die Kameras können hinsichtlich der Frame-Rate, der Bildauflösung (beispielsweise Pixel pro Bild), der Farb- oder Intensitätsauflösung (beispielsweise Anzahl der Bits von Intensitätsdaten pro Pixel), Fokusslänge von Linsen, Feldtiefe usw. variieren. Im Allgemeinen können für eine spezielle Anwendung beliebige Kameras verwendet werden, die innerhalb eines Raumvolumens von Interesse auf Objekte fokussiert werden können. Das Volumen von Interesse kann als Würfel mit ca. 1 m Seitenlänge definiert sein, um eine Bewegung der Hand einer ansonsten unbeweglichen Person zu erfassen.

[0034] Das dargestellte System **100** umfasst ein Paar von Lichtquellen **108, 110**, die an jeder Seite der Kameras **102, 104** angeordnet sein können und durch ein Bildanalysesystem **106** gesteuert werden. Die Lichtquellen **108, 110** können Infrarot-Lichtquellen von einem allgemeinen herkömmlichen Design sein, wie z. B. Infrarot-Licht emittierende Dioden (LEDs), und die Kameras **102, 104** können für Infra-

rot-Licht empfindlich sein. Vor den Kameras **102, 104** können Filter **120, 122** angeordnet sein, um sichtbares Licht heraus zu filtern, so dass in den durch die Kameras **102, 104** aufgenommenen Bildern nur Infrarot-Licht registriert wird. In einigen Ausführungsformen, in denen das Objekt von Interesse eine Hand einer Person oder ein Körper einer Person ist, kann eine Verwendung von Infrarot-Licht ermöglichen, dass das Motion-Capture-System in einem breitem Bereich von Lichtzuständen betrieben wird, und es können verschiedene Schwierigkeiten oder Störungen vermieden werden, die mit einer Zuführung von sichtbarem Licht zu dem Bereich einhergehen, in dem sich die Person bewegt. Es ist jedoch eine spezielle Wellenlänge oder ein spezieller Bereich des elektromagnetischen Spektrums nicht erforderlich.

[0035] Die in Fig. 1A dargestellte Anordnung ist anschaulich und nicht beschränkend. Anstelle von LEDs können beispielsweise Laser oder andere Lichtquellen verwendet werden. Für Laser-Setups können zusätzliche Optiken (beispielsweise eine Linse oder ein Diffuser) verwendet werden, um den Laserstrahl aufzuweiten (und sein Sichtfeld ähnlich dem der Kameras zu gestalten). Nützliche Anordnungen können auch Kurz- und Weitwinkelbeleuchter für unterschiedliche Bereiche umfassen. Lichtquellen sind typischerweise diffus und stellen keine spiegelnden Punktquellen dar; beispielsweise sind verpackte LEDs mit einer Licht verteilenden Einkapselung geeignet.

[0036] Während des Betriebs sind die Kameras **102, 104** einem Bereich von Interesse **112** zugerichtet, in dem ein Objekt von Interesse **114** (in diesem Beispiel eine Hand) und ein oder mehrere Hintergrundobjekte **116** vorhanden sein können. Die Lichtquellen **108, 110** sind zur Beleuchtung des Bereichs **112** angeordnet. In einigen Ausführungsformen sind ein oder mehrere der Lichtquellen **108, 110** und ein oder mehrere der Kameras **102, 104** unter der zu erfassenden Bewegung angeordnet, beispielsweise dort wo eine Handbewegung zu erfassen ist, unterhalb des räumlichen Bereichs, in denen die Bewegung stattfindet. Dies ist eine optimale Stelle, da die Menge an aufgenommener Information um die Hand proportional zur Anzahl der Pixel ist, die sie in den Kamerabildern einnimmt. Die Hand belegt mehr Pixel wenn der Kamerawinkel bezüglich der „Zielrichtung“ der Hand so nahe wie möglich bei 90° ist. Da es für einen Benutzer nicht bequem ist, seine Handfläche zum Schirm zu orientieren, sind die optimalen Positionen entweder vom Boden gesehen aufwärts, von oben gesehen abwärts (was eine Brücke erfordert) oder von der Rahmenblende aus gesehen diagonal aufwärts oder diagonal abwärts. In aufwärts gesehenen Szenarien besteht eine geringere Möglichkeit der Verwechslung mit Hintergrundobjekten (beispielsweise mit Störobjekten auf einem Schreibtisch des Benutzers). Falls direkt in Aufwärtsrichtung gesehen, dann besteht ei-

ne geringe Möglichkeit der Verwechslung mit anderen Personen außerhalb des Sichtfelds (und dadurch, dass keine Gesichter aufgenommen werden, wird auch die Privatsphäre verbessert). Das Bildanalyse-system **106**, das beispielsweise ein Computersystem sein kann, kann zur Aufnahme von Bildern des Bereichs **112** den Betrieb der Lichtquellen **108, 110** und der Kameras **102, 104** steuern. Auf Grundlage der aufgenommenen Bilder bestimmt das Bildanalyse-system **106** die Position und/oder die Bewegung des Objekts **114**.

[0037] Beispielsweise kann das Bildanalyse-system **106** als einen Schritt bei der Bestimmung der Position des Objekts **114** bestimmen, welche Pixel aus von den Kameras **102, 104** aufgenommen unterschiedlichen Bildern das Objekt **114** umfassen. In einigen Ausführungsformen kann ein beliebiger Pixel abhängig davon, ob der Pixel einen Bereich eines Objekts **114** aufweist oder nicht, in einem Bild als „Objekt“-Pixel oder „Hintergrund“-Pixel klassifiziert werden. Durch die Verwendung der Lichtquellen **108, 110** kann eine Klassifizierung der Pixel eines Objekts oder der Hintergrundpixel auf Grundlage der Helligkeit des Pixels erfolgen. Der Abstand (r_O) zwischen einem Objekt von Interesse **114** und den Kameras **102, 104** ist erwartungsgemäß kleiner als der Abstand (r_B) zwischen einem Hintergrundobjekt bzw. Hintergrundobjekten **116** und den Kameras **102, 104**. Da die Intensität des Lichts der Quellen **108, 110** mit $1/r^2$ abnimmt, wird das Objekt **114** gegenüber dem Hintergrund **116** heller ausgeleuchtet und Pixel, die Bereiche des Objekts **114** (vorzugsweise die Objektpixel) aufweisen, sind dementsprechend heller als Pixel, die Bereiche des Hintergrunds **116** (vorzugsweise Hintergrundpixel) aufweisen. Falls $r_B/r_O = 2$, dann sind die Objektpixel z. B. ungefähr viermal heller als die Hintergrundpixel, wenn man annimmt, dass das Objekt **114** und der Hintergrund **116** bezüglich des Lichts der Quellen **108, 110** ein ähnliches Reflexionsvermögen aufweisen, und in dem man ferner annimmt, dass die Gesamtbeleuchtung des Bereichs **112** (wenigstens in dem von den Kameras **102, 104** erfassten Frequenzband) durch die Lichtquellen **108, 110** dominiert wird. Diese Annahmen werden im Allgemeinen für eine geeignete Wahl der Kameras **102, 104**, Lichtquellen **108, 110**, Filter **120, 122** und Objekte erfüllt. Die Lichtquellen **108, 110** können beispielsweise Infrarot-LEDs sein, die eine Strahlung aus einem schmalen Frequenzband stark emittieren können, und die Filter **120, 122** können auf das Frequenzband der Lichtquellen **108, 110** abgestimmt sein. Obwohl eine menschliche Hand oder ein menschlicher Körper oder eine Wärmequelle oder ein anderes Objekt im Hintergrund eine Infrarot-Strahlung emittieren kann, kann die Antwort der Kameras **102, 104** immer noch durch das Licht, das von den Quellen **108, 110** ausgeht und von dem Körper **114** und/oder dem Hintergrund **116** reflektiert wird, dominiert werden.

[0038] In dieser Anordnung kann das Bildanalyse-system **106** schnell und genau durch Anwendung einer Helligkeitsschwelle an jedem Pixel zwischen Objektpixel und Hintergrundpixel unterscheiden. Beispielsweise kann die Pixelhelligkeit in einem CMOS-Sensor oder einer ähnlichen Vorrichtung auf einer Skala von 0,0 (dunkel) bis 1,0 (vollständig gesättigt) gemessen werden, wobei eine Anzahl an Graduierungen dazwischen vom Sensordesign abhängt. Die durch die Kamerapixel kodierte Helligkeit skaliert standardgemäß (linear) mit der Luminanz des Objekts, typischerweise aufgrund der aufgebrachten Ladung oder Diodenspannungen. In einigen Ausführungsformen sind die Lichtquellen **108, 110** hell genug, so dass Licht, das von einem Objekt bei einer Entfernung r_O reflektiert wird, einen Helligkeitsgrad von 1,0 hervorruft, während ein Objekt unter einem Abstand $r_B = 2r_O$ einen Helligkeitsgrad von 0,25 hervorruft. Auf der Basis der Helligkeit können folglich Objektpixel von Hintergrundpixel unterschieden werden. Weiterhin können Kanten des Objekts auf der Basis von Unterschieden in der Helligkeit zwischen benachbarten Pixeln erfasst werden, so dass die Position des Objekts innerhalb jedes Bildes bestimmt werden kann. Durch ein Korrelieren von Objektpositionen zwischen Bildern der Kameras **102, 104** kann das Bildanalyse-system **106** den Ort des Objekts **114** im 3D-Raum bestimmen. Durch ein Analysieren der Abfolge von Bildern kann das Bildanalyse-system **106** eine 3D-Bewegung des Objekts **114** unter Verwendung herkömmlicher Bewegungsalgorithmen rekonstruieren.

[0039] Fig. 1B stellt ein System **100'**, dar, dass die Erfindung umsetzt. Das System **100'**, weist aufgrund einer vereinfachten Darstellung eine einzige Kamera **102** auf. Das dargestellte System **100'**, umfasst ein Paar von LEDs mit breitem Strahl **130, 132**, die ungefähr bei der Kamera **102** angeordnet sind, und ein Paar von LEDs mit schmalen Strahl **140, 142**, die von der Kamera **104** entfernt angeordnet sind. Typischerweise ist ein „breiter Strahl“ ca. 120° weit und ein schmaler Strahl ist ca. 60° weit, obwohl diese Zahlen lediglich anschaulich sind und abhängig von der Anwendung variieren können; allgemeiner kann ein breiter Strahl einen Strahlwinkel aus einem Bereich von mehr als 90° bis 180° aufweisen. Ein schmaler Strahl kann einen Strahlwinkel aus einem Bereich von mehr als 0° bis 90° aufweisen. Das Bildanalyse-system **106** steuert auch den Betrieb der LEDs **130, 132, 140, 142**. Zu anschaulichen Zwecken sind vier LEDs dargestellt; das System kann abhängig von der Anwendung mehr oder weniger Lichtelemente umfassen, wie vorangehend beschrieben ist. Weiterhin können die Lichtelemente LEDs sein; dieser Ausdruck wird aufgrund einer vereinfachten Beschreibung verwendet.

[0040] Darstellungsgemäß schneiden die breiten Strahlen **160, 162** der LEDs **130, 132** das Objekt **114**

in seiner anfänglichen Position P, die zentral und relativ nahe bei der Kamera **102** ist. Die LEDs **130**, **132** können LEDs mit niedriger Leistung sein, die nur zur Beleuchtung von Objekten nahe bei der Kamera **102** verwendet werden, oder können zur Unterstützung einer anfänglichen Objekterfassung eine ausreichende Leistung aufweisen, um den gesamten Erfassungsraum zu beleuchten. In diesem Fall ist es wünschenswert, dass die LEDs **130**, **132** nur solange aktiv bleiben, wie notwendig. Mit einer Bewegung des Objekts **114** zu einer zweiten Position P gelangt dieses in das Beleuchtungsfeld der LED mit schmalen Band **142**. Das Bildanalyse-System **106'** führt die oben beschriebenen Funktionen durch, jedoch auch einschließlich der Funktionalität einer Aktivierung und Deaktivierung der LEDs auf Basis der durch die Kamera **102** aufgenommenen Bilder. Das System **106'** registriert hier diesen Übergang und aktiviert die LED **102** und deaktiviert die LEDs **130**, **132** mit breitem Strahl. Da das Objekt **114** nachverfolgt wird, bestimmt dementsprechend dessen Bereich, welche LEDs eingeschaltet werden.

[0041] In einigen Ausführungsformen stellen die LEDs **130**, **132**, **140**, **142** identische Vorrichtungen dar, die jedoch eine zugeordnete elektrisch oder elektromechanisch steuerbare Optik **150** (dargestellt zur Vereinfachung lediglich über der LED **140**) aufweist, die durch das System **106'** gesteuert wird, welches auch die Leistung (beispielsweise den Betriebsstrom) regelt, die den LEDs unter Verwendung herkömmlicher Betriebs- und Steuerschaltungen zugeführt wird. Die Optik **150** kann eine einstellbare Linse sein. In diesem Fall bestimmt das System **106'** welche der LEDs das Objekt **114** mit dem schmalsten Strahlwinkel beleuchten kann, um die geringste Leistung zu beziehen, und beides betreibt die LED auf dem speziellen Leistungsniveau und stellt die zugehörige Optik **150** ein, um den erforderlichen Strahlwinkel zu erzeugen. Mit Nachverfolgung des Objekts **114** kann das System **106'** den Strahlwinkel der ausgewählten LED aufweiten und dessen Betriebsstrom erhöhen, bis das Objekt **114** in das Feld nahe bei der LED eintritt, die es mit weniger Leistungsverbrauch beleuchten kann, an welchem Punkt das System **106'** die neue LED aktiviert und die vorher ausgewählte LED ausschaltet.

[0042] Der Erfassungsraum kann beispielsweise anfänglich durch ein oder mehrere Lichtelemente mit breitem Strahl beleuchtet werden, die ein gemeinsames Sichtfeld ähnlich dem der Kamera **102** aufweisen. Sobald die Position des Objekts **114** durch das System **106'** erfasst wurde, kann es die LED(s) mit breitem Strahl ausschalten und ein oder mehrere LEDs mit schmalen Strahl aktivieren, die in Richtung zum Objekt **114** ausgerichtet sind. Bewegt sich das Objekt **114**, werden unterschiedliche LEDs mit schmalen Strahl aktiviert. In vielen Ausgestaltungen genügt es, wenn diese gerichteten LEDs lediglich im

Zentrum des Sichtfelds der Kamera **102** angeordnet sind; falls eine Hand nachverfolgt wird, werden Leute häufig nicht versuchen, gleichzeitig mit der Kamera unter Weitwinkel und großem Abstand zu interagieren.

[0043] Wenn sich das nachverfolgte Objekt unter einem großen Winkel zu der Kamera befindet (vorzugsweise nahe bei der Seite der bewegungsverfolgenden Vorrichtung an der Position P"), ist es wahrscheinlich relativ nahe bei der Kamera **102**. Demgemäß kann eine LED mit breitem Strahl und niedrigem Leistungsverbrauch geeignet sein. Es ergibt sich, dass die Lichtanordnung nur eine oder eine geringe Anzahl von LEDs mit breitem Strahl in der Nähe der Kamera **102** zusammen mit einer gleichgroßen oder größeren Anzahl von LEDs mit schmalen Strahl aufweist (beispielsweise decken die LEDs zusammen den Zentrumsfeldbereich des Raums vor der Kamera **102** ab – z. B. innerhalb eines 30° oder 45° Kegels um die Normale der Kamera ab). Demzufolge ist es möglich, dass die Anzahl von LEDs verringert oder minimiert werden kann, die zur Beleuchtung eines Raums erforderlich ist, in dem eine Bewegung durch Verwendung einer kleinen Anzahl von LEDs mit breitem Strahl und einer größeren (oder gleichen) Anzahl von LEDs mit schmalen Strahl, die zu dem Zentrumsfeld gerichtet sind.

[0044] Es ist auch möglich, ein breites Sichtfeld mit vielen LEDs mit schmalen Strahl abzudecken, die in unterschiedliche Richtungen weisen. Diese können durch das System **106'** betrieben werden, um den überwachten Raum abzutasten, so dass die LEDs das tatsächlich beleuchtete Objekt **114** identifizieren; das System **106'** erhält die an diese LEDs ausgegebene Leistung und deaktiviert die anderen. In einigen Ausführungsformen berechnet das System **106'** eine vorhergesagte Trajektorie des nachverfolgten Objekts **114** unter Verwendung herkömmlicher Vorhersagenachverfolgungstechniken und diese Trajektorie wird dazu verwendet, vorherzusagen, welche der LEDs aktiviert werden soll, wenn sich das Objekt **114** bewegt. Da sich das Objekt **114** durch den Raum bewegt, wie durch aufeinanderfolgende Bildframes der Kamera **102** aufgenommen wird, zeichnet das System **106'** die tatsächliche Trajektorie des Objekts und vergleicht es in Echtzeit mit der vorhergesagten Trajektorie, überarbeitet die vorhergesagte Trajektorie – zusammen mit der Beleuchtungsstruktur – wenn neue Bilder aufgenommen und analysiert werden und davon Nachverfolgungsinformation abgeleitet wird. In anderen Ausgestaltungen verwendet das System **106'** die vorhergesagte Trajektorie, um Strahlen derart zu steuern, dass die Objektbeleuchtung aufrechterhalten wird, aktiviert neue LEDs nur, wenn das Objekt aus dem gesteuerten Bereich der das Objekt gegenwärtig folgenden LEDs gelangt. Für diese Zwecke kann eine der Computersteuerung zugängliche Steueranordnung eingesetzt werden. Die

LED kann z. B. selber an einem flexiblen Substrat angebracht sein, das schwenkbar über einer schrägen Drehachse aufgehängt ist; ein hierzu piezoelektrischer oder federbelasteter elektromagnetischer Aktuator kann zur Änderung des Winkels der LED entlang einer Achse verwendet werden. Alternativ kann die Ausgabe der LED durch eine steuerbare Linse oder ein anderes optisches Element geführt werden, das die Orientierung des Strahls ändern kann. Geeignete Anordnungen für physikalisch oder optisch steuerbare LED-Ausgaben sind in der Abtast- und Darstellungstechnik bekannt.

[0045] Das Bildanalysesystem **106, 106'**, (auch als ein Bildanalysator bezeichnet) kann aus einer beliebigen Vorrichtung oder Vorrichtungskomponente bestehen oder eine beliebige Vorrichtung oder Vorrichtungskomponente umfassen, die dazu in der Lage ist, Bilddaten aufzunehmen und zu verarbeiten, beispielsweise unter Verwendung der hierin beschriebenen Techniken. **Fig. 2** zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Computersystems **200**, das ein Bildanalysesystem **106, 106'**, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umsetzt. Das Computersystem **200** umfasst einen Prozessor **202**, einen Speicher **204**, eine Kameraschnittstelle **206**, eine Anzeigevorrichtung **208**, Lautsprecher **209**, eine Tastatur **210** und eine Maus **211**.

[0046] Der Speicher **204** kann zum Speichern von Anweisungen zur Ausführung durch den Prozessor **202**, sowie zur Eingabe und Ausgabe von Daten verwendet werden, die mit der Ausführung der Anweisungen einhergehen. Der Speicher **204** umfasst insbesondere Anweisungen, die konzeptionell als eine Gruppe von Module dargestellt sind, welche unten detaillierter beschrieben werden, wobei die Module den Betrieb des Prozessors **202** und dessen Wechselwirkung mit anderen Hardware-Komponenten steuern. Ein Betriebssystem weist die Ausführung der niederen grundsätzlichen Systemfunktionen, wie z. B. der Speicherzuweisung, der Dateimanagement und des Betriebs von Massenspeichervorrichtungen zu. Das Betriebssystem kann aus einer Vielzahl von Betriebssystemen gebildet sein oder eine Vielzahl von Betriebssystemen umfassen, wie z. B. das Microsoft Windows-Betriebssystem, das Unix-Betriebssystem, das Linux-Betriebssystem, das Xenix-Betriebssystem, das IBM AIX-Betriebssystem, das Hewlett Packard UX-Betriebssystem, das Novell Netware-Betriebssystem, das Sun Microsystems Solaris-Betriebssystem, das OS/2-Betriebssystem, das BeOS-Betriebssystem, das MacIntosh-Betriebssystem, das APACHE-Betriebssystem, ein OPENSTEP-Betriebssystem oder ein anderes Betriebssystem einer Plattform.

[0047] Die Verarbeitungsumgebung kann auch ein anderes entfernbare/nicht-entfernbares, flüchtiges/nicht-flüchtiges Computerspeichermedium umfas-

sen. Beispielsweise kann ein Festplattenlaufwerk auf einem nicht-entfernbarem nicht-flüchtigen magnetischen Medium lesen oder schreiben. Ein magnetisches Diskettenlaufwerk kann von einer entfernbaren nicht-flüchtigen magnetischen Diskette lesen oder darauf schreiben und ein optisches Diskettenlaufwerk kann von einer entfernbaren nicht-flüchtigen optischen Diskette, wie z. B. einer CD-Rom oder einem anderen optischen Medium, lesen oder darauf schreiben. Andere entfernbare/nicht-entfernbar, flüchtige/nicht-flüchtige Computerspeichermedien, die in der beispielhaften Betriebsumgebung verwendet werden können, umfassen, jedoch nicht beschränkend, Magnetbandkassetten, Flashmemorykarten, digitale Disketten, digitale Videobänder, Solid-State-RAM, Solid-State-ROM und dergleichen. Die Speichermedien sind typischerweise mit dem Systembus durch eine entfernbare oder nicht-entfernbar Speicherchnittstelle verbunden.

[0048] Der Prozessor **202** kann ein allgemeiner Mikroprozessor sein, abhängig von der Umsetzung kann er jedoch alternativ ein Mikrocontroller, ein peripheres integriertes Schaltungselement, ein CSIC (Customer-spezifische integrierte Schaltung), eine ASIC (anwendungsspezifische integrierte Schaltung), eine Logikschaltung, ein digitaler Signalprozessor, eine programmierbare Logikvorrichtung, wie z. B. ein FPGA (feldprogrammierbare Gateanordnung), eine PLD (programmierbare Logikvorrichtung), eine PLA (programmierbare Logikanordnung), ein RFID-Prozessor, ein Smartchip oder eine andere Vorrichtung oder eine andere Anordnung von Vorrichtungen sein, die zur Umsetzung der Prozesse gemäß der Erfindung in der Lage ist.

[0049] Die Kameraschnittstelle **206** kann eine Hardware und/oder Software aufweisen, die eine Kommunikation zwischen dem Computersystem **200** und den Kameras erlaubt, wie z. B. den Kameras **102, 104**, die in **Fig. 1A** dargestellt sind, sowie mit den zugehörigen Lichtquellen, wie z. B. den Lichtquellen **108, 110** in **Fig. 1A**. Die Kameraschnittstelle **206** kann demzufolge ein oder mehrere Datenanschlüsse **216, 218** aufweisen, mit denen die Kameras verbunden werden können, sowie Hardware- und/oder Software-Signalprozessoren, um Datensignale zu modifizieren, die von den Kameras vor einer Bereitstellung der Signale als Eingabe auf ein herkömmliches Motion Capture („MOCAP“)-Programm **214**, das auf dem Prozessor **202** ausgeführt wird, empfangen werden. In einigen Ausführungsformen kann die Kameraschnittstelle **206** auch Signale an die Kameras übertragen, beispielsweise zum Aktivieren oder Deaktivieren der Kameras, zur Steuerung von Kameraeinstellungen (Frame-Rate, Bildqualität, Empfindlichkeit usw.) oder dergleichen. Solche Signale können z. B. in Antwort auf Steuersignale des Prozessors **202** übertragen werden, die wiederum in Antwort auf eine

Benutzereingabe oder ein anderes erfasstes Ereignis erzeugt werden können.

[0050] Die Kameraschnittstelle **206** kann auch Steuerungen **217, 219** umfassen, mit denen die Lichtquellen verbunden sein können (beispielsweise die Lichtquellen **108, 110**). In einigen Ausführungsformen können die Steuerungen **217, 219** einen Betriebsstrom für die Lichtquellen bereitstellen, beispielsweise in Antwort auf Anweisungen des Prozessors **202**, der das MOCAP-Programm **214** ausführt. In anderen Ausführungsformen können die Lichtquellen den Betriebsstrom von einer externen Stromversorgung (nicht dargestellt) beziehen und die Steuerungen **217, 219** können Steuersignale für die Lichtquellen erzeugen, beispielsweise können die Lichtquellen zum Ein- oder Ausschalten angesteuert werden, oder um die Helligkeit zu ändern. In einigen Ausführungsformen kann eine einzige Steuerung zur Steuerung der mehreren Lichtquellen verwendet werden.

[0051] Anweisungen, die das MOCAP-Programm **214** definieren, sind im Speicher **204** gespeichert. Bei ihrer Ausführung führen diese Anweisungen eine Motion-Capture-Analyse auf Bildern durch, die von den mit der Kameraschnittstelle **206** verbundenen Kameras ausgegeben werden. In einer Ausführungsform umfasst das MOCAP-Programm **214** verschiedene Module, wie z. B. ein Objekterfassungsmodul **222** und ein Objektanalysemodul **224**; jedes dieser Module ist wiederum bekannt und im Stand der Technik charakterisiert. Das Objekterfassungsmodul **222** kann Bilder (beispielsweise Bilder, die über die Kameraschnittstelle **206** erfasst werden) analysieren, um Kanten eines Objekts darin und/oder eine andere Information zum Ort des Objekts zu erfassen. Das Objektanalysemodul **224** kann die durch das Objekterfassungsmodul **222** bereitgestellte Information zur Bestimmung der 3D-Position und/oder der Bewegung des Objekts analysieren. Beispiele von Operationen, die in den Code-Modulen des MOCAP-Programms **214** umgesetzt sein können, sind nachstehend beschrieben. Der Speicher **204** kann auch eine andere Information und/oder Code-Module umfassen, die durch das MOCAP-Programm **214** verwendet werden.

[0052] Zur Unterstützung einer Interaktion eines Benutzers mit dem Computersystem **200** können die Anzeigevorrichtung **208**, die Lautsprecher **209**, die Tastatur **210** und die Maus **211** verwendet werden. Diese Programme können von einem allgemeinen herkömmlichen Design oder entsprechend modifiziert sein, um eine beliebige Art von Benutzerinteraktion bereitzustellen. In einigen Ausführungsformen können Ergebnisse des Motion Capture unter Verwendung der Kameraschnittstelle **206** und des MOCAP-Programms **214** als Benutzereingabe interpretiert werden. Ein Benutzer kann z. B. Handgesten

durchführen, die unter Verwendung des MOCAP-Programms **214** analysiert werden, und die Ergebnisse dieser Analyse können als Anweisungen für ein anderes Programm interpretiert werden, das auf dem Prozessor **200** ausgeführt wird (z. B. ein Web-Browser, ein Word-Prozessor oder eine andere Anwendung). Folglich kann ein User anschauungsgemäß nach oben oder unten gerichtete Wischgesten dazu verwenden, auf einer auf der Anzeigevorrichtung **208** aktuell angezeigten Web-Seite zu „scrollen“, Drehbewegungen dazu verwenden, die Lautstärke einer Audio-Ausgabe der Lautsprecher **209** zu erhöhen oder erniedrigen, usw.

[0053] Das Computersystem **200** ist anschaulich und es sind Änderungen und Modifizierungen denkbar. Computersysteme können in einer Vielzahl von Bauformen gebildet werden, einschließlich Server-Systemen, Desktop-Systemen, Laptop-Systemen, Tablets, Smartphones, persönliche digitale Assistenten usw. Eine spezielle Umsetzung kann eine andere Funktionalität umfassen, die nicht hierin beschrieben ist, wie z. B. drahtgebundene und/oder drahtlose Netzwerkschnittstellen, Medienabspiel- und/oder Aufnahmefähigkeiten usw. In einigen Ausführungsformen können in den Computer ein oder mehrere Kameras eingebaut sein, anstatt sie als separate Komponenten vorzusehen. Weiterhin kann eine Bildanalysevorrichtung ausgebildet sein, die eine Teilmenge von Computersystemkomponenten verwendet (beispielsweise als ein auf einem Prozessor ausführbarer Programmcode, ein ASIC oder ein digitaler Signalprozessor mit fester Funktion, mit geeigneten I/O-Schnittstellen zur Aufnahme von Bilddaten und zur Ausgabe von Analyseergebnissen).

[0054] Während das Computersystem **200** mit Bezug auf spezielle Blöcke beschrieben wurde, ist zu verstehen, dass die Blöcke nur zur Veranschaulichung der Beschreibung definiert sind und nicht eine spezielle physikalische Anordnung von Komponententeilen implizieren sollen. Desweiteren sollen die Blöcke nicht physikalisch unterschiedlichen Komponenten entsprechen. In dem Rahmen, in dem physikalisch unterschiedliche Komponenten verwendet werden, können Verbindungen zwischen den Komponenten (beispielsweise zur Datenübertragung) wunschgemäß drahtgebunden und/oder drahtlos sein.

[0055] Die Ausführung des Objekterfassungsmoduls **222** durch den Prozessor **202** kann bewirken, dass der Prozessor **202** die Kameraschnittstelle **202** bedient, um Bilder eines Objekts aufzunehmen und Objektpixel von Hintergrundpixel durch Analyse der Bilddaten zu unterscheiden. Die **Fig. 3A** bis **Fig. 3C** stellen drei unterschiedliche Graphen der Helligkeitsdaten für Pixelreihen dar, die gemäß verschiedener Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erhalten werden können. Während jeder Graph eine Pi-

xelreihe darstellt, soll ein Bild typischerweise viele Pixelreihen umfassen, und eine Reihe kann eine beliebige Anzahl von Pixeln aufweisen; ein HD-Videobild kann z. B. 1080 Reihen mit jeweils 1920 Pixeln umfassen.

[0056] Fig. 3A stellt Helligkeitsdaten **300** für eine Pixelreihe dar, in der das Objekt einen einzigen Querschnitt aufweist, wie z. B. ein Querschnitt durch eine Handfläche. Die dem Objekt entsprechenden Pixel im Bereich **302** weisen eine hohe Helligkeit auf, während die Pixel im Bereich **304** und **306**, die dem Hintergrund entsprechen, eine beträchtlich niedrigere Helligkeit aufweisen. Es ist klar, dass der Ort des Objekts sofort erkannt werden kann und die Orte der Kanten des Objekts (bei **308** und bei **310**) leicht zu identifizieren sind. Es kann z. B. angenommen werden, dass ein Pixel mit einer Helligkeit von mehr als 0,5 ein Objektpixel ist, während ein Pixel mit einer Helligkeit von weniger als 0,5 mit einem Hintergrundpixel identifiziert werden kann.

[0057] Fig. 3B stellt Helligkeitsdaten **320** für eine Pixelreihe dar, in der das Objekt mehrere unterschiedliche Querschnitte aufweist, wie z. B. ein Querschnitt durch Finger einer geöffneten Hand. Die dem Objekt entsprechenden Bereiche **322**, **323** und **324** weisen eine hohe Helligkeit auf, während die dem Hintergrund entsprechenden Pixel in den Bereichen **326** bis **329** eine geringe Helligkeit aufweisen. Es genügt wiederum ein einfacher Schwell-Cutoff für die Helligkeit (beispielsweise bei 0,5), um Objektpixel von Hintergrundpixel zu unterscheiden und die Kanten des Objekts können ohne Weiteres festgestellt werden.

[0058] Fig. 3C stellt Helligkeitsdaten **340** für Pixelreihen dar, in denen der Abstand des Objekts entlang der Reihe variiert, wie z. B. ein Querschnitt einer Hand mit zwei Fingern, die sich zu der Kamera hin erstrecken. Die Bereiche **342** und **343** entsprechen den ausgestreckten Fingern und haben die höchste Helligkeit; die Bereiche **344** und **345** entsprechen anderen Bereich der Hand und sind etwas weniger hell; dies kann zum Teil daraus resultieren, dass diese zum Teil weiter weg sind, teilweise aufgrund des durch die ausgestreckten Finger geworfenen Schattens. Die Bereiche **348** und **349** stellen Hintergrundbereiche dar und sind beträchtlich dunkler als die die Hand umfassenden Bereiche **342–345**. Eine Cutoffschwelle der Helligkeit (beispielsweise bei 0,5) genügt wiederum dazu, Objektpixel von Hintergrundpixel zu unterscheiden. Es kann auch eine weitere Analyse der Objektpixel durchgeführt werden, um die Kanten der Bereiche **342** und **343** zu erfassen, die zusätzlich zur Gestalt des Objekts eine weitere Information bereitstellen.

[0059] Es wird angemerkt, dass die in den Fig. 3A–Fig. 3C dargestellten Daten anschaulich sind. In einigen Ausführungsformen kann es er-

wünscht sein, dass die Intensität der Lichtquellen **108**, **110** angepasst wird, so dass ein Objekt unter einem erwarteten Abstand (z. B. r_0 in Fig. 1A) überbelichtet wird – insbesondere viele, falls nicht alle der Objektpixel, auf ein Helligkeitsniveau von 1,0 vollständig gesättigt werden. (Die tatsächliche Helligkeit des Objekts kann tatsächlich größer sein.) Während dies die Hintergrundpixel etwas heller machen kann, führt der $1/r^2$ -Abfall der Lichtintensität mit dem Abstand noch zu einer besseren Unterscheidung zwischen Objekt- und Hintergrundpixel, solange die Intensität nicht so hoch gesetzt wird, dass auch die Hintergrundpixel das Sättigungsniveau erreichen. Wie in den Fig. 3A–Fig. 3C dargestellt ist, ermöglicht eine Verwendung von Licht, das auf das Objekt zur Erzeugung eines stärkeren Kontrasts zwischen dem Objekt und dem Hintergrund gerichtet ist, die Verwendung von einfachen und schnellen Algorithmen, um zwischen Hintergrundpixel und Objektpixel zu unterscheiden, was insbesondere für die Echtzeit-Motion-Capture-Systeme nützlich sein kann. Eine Vereinfachung der Aufgabe der Unterscheidung von Hintergrund- und Objektpixel kann auch Rechenressourcen für andere Motion-Capture-Aufgaben freistellen (bspw. für eine Rekonstruktion der Position des Objekts, Gestalt des Objekts und/oder Bewegung des Objekts).

[0060] Es wird auf Fig. 4 Bezug genommen, die einen Prozess **400** zur Identifizierung des Orts eines Objekts in einem Bild gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt. Der Prozess **400** kann z. B. in dem System **100** aus Fig. 1A umgesetzt sein. Bei Block **402** werden Lichtquellen **108**, **110** eingeschaltet. Bei Block **404** werden ein oder mehrere Bilder unter Verwendung der Kameras **102**, **104** aufgenommen. In einigen Ausführungsformen wird durch jede Kamera ein Bild aufgenommen. In anderen Ausführungsformen wird durch jede Kamera eine Sequenz von Bildern aufgenommen. Die Bilder von zwei Kameras können zeitlich eng korreliert sein (beispielsweise gleichzeitig bis innerhalb von einigen wenigen Millisekunden), so dass korrelierte Bilder der zwei Kameras verwendet werden können, um den 3D-Ort des Objekts zu bestimmen.

[0061] Bei Block **406** wird eine Pixelhelligkeitsschwelle angewendet, um Objektpixel von Hintergrundpixel zu unterscheiden. Der Block **406** kann auch ein Identifizieren von Orten von Kanten des Objekts auf Grundlage von Übergangspunkten zwischen Hintergrund- und Objektpixel umfassen. In einigen Ausführungsformen wird jeder Pixel erst auf Basis davon, ob er die Helligkeitcuttoffschwelle überschreitet, entsprechend als Objekt oder Hintergrund klassifiziert. Es kann z. B. ein Cutoff bei einem Sättigungsniveau von 0,5 verwendet werden, wie in den Fig. 3A–Fig. 3C dargestellt ist. Sobald die Pixel klassifiziert sind, können die Kanten durch Auffinden von Orten klassifiziert werden, an denen Hintergrundpi-

xel zu Objektpixel benachbart sind. In einigen Ausführungsformen kann es erforderlich sein, dass die Bereiche der Hintergrund- und Objektpixel auf beiden Seiten der Kante eine bestimmte kleinste Größe aufweisen (beispielsweise 2, 4 oder 8 Pixel), um Rauschartefakte zu vermeiden.

[0062] In anderen Ausführungsformen können Kanten ohne eine erste Klassifizierung der Pixel nach Objekt oder Hintergrund erfasst werden. Beispielsweise kann $\Delta\beta$ als der Unterschied in der Helligkeit zwischen benachbarten Pixeln definiert werden. Ist $|\Delta\beta|$ über einem Schwellwert (beispielsweise 0,3 oder 0,5 hinsichtlich der Sättigungsskala), kann dies einen Übergang zwischen benachbarten Pixeln vom Hintergrund zum Objekt oder vom Objekt zum Hintergrund bezeichnen. (Das Vorzeichen von $\Delta\beta$ kann die Richtung des Übergangs bezeichnen.) In einigen Fällen, in denen die Kante des Objekts tatsächlich in der Mitte eines Pixels liegt, kann ein Pixel mit einem mittleren Wert an der Grenze vorhanden sein. Dies kann z. B. durch Berechnung zweier Helligkeitswerte für einen Pixel i erfasst werden: $\beta_L = (\beta_i + \beta_{i-1})/2$ und $\beta_R = (\beta_i + \beta_{i+1})/2$, wobei der Pixel $(i-1)$ links von Pixel i und der Pixel $(i+1)$ rechts von Pixel i ist. Falls sich der Pixel i nicht in der Nähe der Kante befindet, ist $|\beta_L - \beta_R|$ im Allgemeinen nahe bei Null; falls ein Pixel nahe an der Kante ist, dann ist der Betrag von $|\beta_L - \beta_R|$ nahe bei 1 und es kann ein Schwellwert von $|\beta_L - \beta_R|$ zur Erfassung von Kanten verwendet werden.

[0063] In einigen Fällen kann ein Teil eines Objekts in einem Bild teilweise einen anderen Teil eines anderen Objekts verdecken; beispielsweise kann im Fall einer Hand ein Finger teilweise die Handfläche oder einen anderen Finger verdecken. Eine Verdeckung von Kanten, die dort auftritt, wo ein Teil des Objekts teilweise einen anderen Teil des Objekts verdeckt, kann auch auf Grundlage von kleineren, jedoch unterscheidbaren Änderungen in der Helligkeit erfasst werden, sobald die Hintergrundpixel eliminiert wurden. **Fig. 3C** stellt ein Beispiel einer solchen teilweisen Verdeckung dar und die Stellen der Verdeckungskanten sind sichtbar.

[0064] Erfasste Kanten können für eine Vielzahl von Zwecke eingesetzt werden. Die Kanten des Objekts, wie sie durch die zwei Kameras gesehen werden, können beispielsweise gemäß der vorangehenden Beschreibung dazu verwendet werden, eine ungefähre Lage des Objekts im 3D-Raum zu bestimmen. Die Position des Objekts in einer 2D-Ebene quer zur optischen Achse der Kamera kann aus einem einzigen Bild bestimmt werden und der Versatz (Parallaxe) zwischen der Position des Objekts in zeitkorrelierten Bildern unterschiedlicher Kameras kann zur Bestimmung des Abstands des Objekts bestimmt werden, falls der Abstand zwischen den Kameras bekannt ist.

[0065] Weiterhin können die Position und die Gestalt des Objekts auf Grundlage der Lage seiner Kanten in zeitkorrelierten Bildern zweier unterschiedlicher Kameras bestimmt werden und die Bewegung (einschließlich Artikulation) des Objekts kann aus einer Analyse sukzessiver Paare von Bildern bestimmt werden. Beispiele von Techniken, die zur Bestimmung einer Position eines Objekts, einer Gestalt eines Objekts und einer Bewegung eines Objekts auf Grundlage der Stellen von Kanten des Objekts verwendet werden können, sind in der parallelen anhängigen US-Anmeldung mit Anmeldenummer 13/414,485, eingereicht am 7. März 2012, beschrieben, deren gesamter Inhalt durch Bezugnahme hierin aufgenommen wird. Dem Fachmann in Kenntnis der vorliegenden Beschreibung sind auch andere Techniken zur Positions-, Gestalt- und Bewegungsbestimmung eines Objekts auf Basis von Informationen bezüglich der Lage von Kanten des Objekts bekannt.

[0066] In einigen Ausführungsformen können die Lichtquellen **108, 110** in einem gepulsten Modus betrieben werden und nicht dauerhaft eingeschaltet sein. Dies kann nützlich sein, falls z. B. die Lichtquellen **108, 110** in einem gepulsten Betrieb ein helleres Licht erzeugen können, als im Dauerbetrieb. **Fig. 5** stellt eine Zeitleiste dar, in der die Lichtquellen **108, 110** in regelmäßigen Intervallen gepulst sind, wie bei **502** dargestellt ist. Die Schließmechanismen der Kameras **102, 104** können zu Zeiten geöffnet werden, die mit den Lichtpulsen zusammenfallen, um Bilder aufzunehmen, wie bei **504** gezeigt ist. Folglich kann ein Objekt von Interesse in den Zeiten hell beleuchtet werden, in denen Bilder aufgenommen werden.

[0067] In einigen Ausführungsformen kann das Pulsieren der Lichtquellen **108, 110** dazu verwendet werden, den Kontrast zwischen einem Objekt von Interesse und dem Hintergrund durch Vergleich von Bildern, die aufgenommen werden, wenn die Lichter **108, 110** eingeschaltet sind, mit Bildern, bei denen die Lichter **108, 110** ausgeschaltet sind, vergrößert werden. **Fig. 6** stellt eine Zeitleiste dar, in der die Lichtquellen **108, 110** in regelmäßigen Intervallen gepulst sind, wie bei **602** gezeigt ist. Währenddessen sind die Schließmechanismen der Kameras **102, 104** geöffnet, um während der Zeiten Bilder aufzunehmen, wie bei **604** gezeigt ist. In diesem Fall sind die Lichtquellen **108, 110** bei jedem anderen Bild "eingeschaltet". Falls das Objekt von Interesse bedeutend näher an den Lichtquellen **108, 110** ist, als die Hintergrundbereiche, fällt der Unterschied in der Lichtintensität für Objektpixel stärker aus als für Hintergrundpixel. Dementsprechend kann ein Vergleichen der Pixel in aufeinander folgenden Bildern dabei helfen, Objekt- und Hintergrundpixel zu unterscheiden.

[0068] **Fig. 7** zeigt ein Flussdiagramm eines Prozesses **700** zum Identifizieren von Objektkanten unter Verwendung aufeinander folgender Bilder gemäß ei-

ner Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Bei Block **702** werden die Lichtquellen ausgeschaltet und bei Block **704** wird ein erstes Bild (A) aufgenommen. Dann werden die Lichtquellen bei Block **706** eingeschaltet und es wird bei Block **708** ein zweites Bild (B) aufgenommen. Bei Block **710** wird ein "Unterschieds"-Bild $B - A$ berechnet, beispielsweise durch Abziehen des Helligkeitswerts von jedem Pixel in Bild A von dem Helligkeitswert des entsprechenden Pixels in Bild B. Da das Bild B bei eingeschaltetem Licht aufgenommen wurde, ist zu erwarten, dass $B - A$ für die meisten Pixel positiv ist.

[0069] Bei Block **712** kann an das Unterschiedsbild ($B - A$) ein Schwellwert angelegt werden, um Objektpixel zu identifizieren, wobei ($B - A$) über einem Schwellwert mit Objektpixel assoziiert wird und ($B - A$) unterhalb des Schwellwerts einem Hintergrundpixel zugeordnet wird. Die Objektkanten können dann durch Identifizieren davon festgelegt werden, wo die Objektpixel nahe bei den Hintergrundpixel sind, wie vorangehend beschrieben wurde. Die Objektkanten können für Zwecke verwendet werden, wie z. B. die Positions- und/oder Bewegungserfassung, wie vorangehend beschrieben ist.

[0070] Eine kontrastbasierte Objekterfassung, wie hierin beschrieben ist, kann in jeder Situation angewendet werden, in der Objekte von Interesse relativ zu Hintergrundobjekte als zu der bzw. den Lichtquelle (n) bedeutend näher (beispielsweise halber Abstand) erwartet werden. Eine entsprechende Anwendung betrifft die Verwendung der Bewegungserfassung als Benutzereingabe zur Wechselwirkung mit einem Computersystem. Beispielsweise kann der Benutzer auf den Schirm deuten oder andere Handgesten ausführen, die von dem Computersystem als Eingabe interpretiert werden.

[0071] Ein Computersystem **800**, das eine Bewegungserfassungsvorrichtung als Benutzereingabegerät gemäß einer Ausführungsform der Erfindung aufweist, ist in **Fig. 8** dargestellt. Das Computersystem **800** umfasst eine Desktopbox **802**, die verschiedene Komponenten eines Computersystems aufnehmen kann, wie z. B. Prozessoren, Speicher, feste oder entfernbare Diskettenlaufwerke, Videotreiber, Audiotreiber, Netzwerkschnittstellenkomponenten usw. Mit der Desktopbox **802** ist eine Anzeigevorrichtung **804** verbunden und derart angeordnet, dass sie durch einen Benutzer betrachtet werden kann. Eine Tastatur **806** ist innerhalb einer Reichweite der Benutzerhände angeordnet. Nahe der Tastatur **806** (beispielsweise dahinter, wie dargestellt ist, oder an einer Seite davon) ist eine Bewegungserfassungseinheit **808** angeordnet, die zu einem Bereich ausgerichtet ist, in dem der Benutzer natürlicherweise Gesten ausführt, die auf die Bildwiedergabevorrichtung **804** gerichtet sind (beispielsweise einen Bereich in der Luft über der Tastatur und vor dem Monitor). Die

Kameras **810, 812** (die ähnlich oder identisch zu den Kameras **102, 104** sein können, wie vorangehend beschrieben sind) sind derart angeordnet, dass sie im Allgemeinen nach oben weisen. Die Lichtquellen **814, 816** (die ähnlich oder identisch zu den Lichtquellen **108, 110** sein können, die vorangehend beschrieben sind) sind an jeder Seite der Kameras **810, 812** angeordnet, um einen Bereich über der Bewegungserfassungseinheit **808** zu beleuchten. In typischen Umsetzungen sind die Kameras **810, 812** und die Lichtquellen **814, 816** im Wesentlichen koplanar. Diese Konfiguration verhindert das Auftreten von Schatten, die sich z. B. auf die Kantenerfassung störend auswirken können (wie der Fall sein kann, wenn die Lichtquellen zwischen den Kameras und nicht an deren Flanken angeordnet sind). Über der Oberseite der Bewegungserfassungseinheit **808** kann ein nicht dargestelltes Filter angeordnet sein (oder über den Aperturen der Kameras **810, 812**), um Licht herauszufiltern, das außerhalb eines Bands um die Spitzenfrequenzen der Lichtquellen **814, 816** liegt.

[0072] Wenn der Benutzer eine Hand oder ein anderes Objekt (bspw. ein Stift) in der dargestellten Konfiguration im Sichtfeld der Kameras **810, 812** bewegt, setzt sich wahrscheinlich der Hintergrund aus einer Zimmerdecke und/oder verschiedenem an der Decke angebrachten Inventar zusammen. Die Hand eines Benutzers kann 10–20 cm über der Bewegungserfassungsvorrichtung **808** sein, während die Decke fünf- bis zehnmal oder mehr beabstandet ist. Die Beleuchtung der Hand des Benutzers durch die Lichtquellen **814, 816** ist demzufolge sehr viel intensiver als an der Decke und die hierin beschriebenen Techniken können eingesetzt werden, um in den durch die Kameras **810, 812** aufgenommen Bildern zuverlässig zwischen Objektpixel und Hintergrundpixel zu unterscheiden. Falls Infrarotlicht verwendet wird, wird der Benutzer nicht durch das Licht gestört oder abgelenkt.

[0073] Das Computersystem **800** kann die in **Fig. 1A** dargestellte Architektur verwenden. Beispielsweise können die Kameras **810, 812** der Bewegungserfassungseinheit **808** Bilddaten für die Desktopbox **802** bereitstellen, und es kann eine Bildanalyse und nachfolgende Interpretation unter Verwendung der Prozessoren und anderer Komponenten durchgeführt werden, die in die Desktopbox **802** aufgenommen sind. Alternativ kann die Bewegungserfassungseinheit **808** Prozessoren umfassen oder andere Komponenten aufweisen, um einige oder alle Stufen einer Bildanalyse und -interpretation durchzuführen. Die Bewegungserfassungseinheit **808** kann z. B. einen Prozessor (programmierbar oder mit fester Funktion) umfassen, der wenigstens einen der vorangehenden Abläufe zur Unterscheidung zwischen Objektpixel und Hintergrundpixel ausführt. In diesem Fall kann die Bewegungserfassungseinheit **808** eine verringerte Darstellung der aufgenommenen Bilder (z. B. eine Darstellung, in der alle Hintergrundpixel auf Null

gesetzt sind) zur weiteren Analyse und Interpretation an die Desktopbox **802** weiterleiten. Es ist keine besondere Aufteilung von Verarbeitungsaufgaben zwischen einem Prozessor innerhalb der Bewegungserfassungseinheit **808** und eines Prozessors innerhalb der Desktopbox **802** erforderlich.

[0074] Es ist nicht immer notwendig, zwischen Objektpixel und Hintergrundpixel aufgrund absoluter Helligkeitsniveaus zu unterscheiden; z. B. kann dort, wo die Objektgestalt bekannt ist, die Struktur des Helligkeitsabfalls dazu verwendet werden, das Objekt in einem Bild zu erfassen, sogar ohne explizit die Objektkanten zu erfassen. Auf runden Objekten (wie z. B. Hände und Finger) erzeugt die $1/r^2$ -Beziehung nahe dem Zentrum der Objekte Gaußsche oder annähernd Gaußsche Helligkeitsverteilungen; Abbilden eines Zylinders, der durch eine LED beleuchtet wird und senkrecht zu einer Kamera angeordnet ist, ergibt ein Bild mit einer hellen Mittellinie entsprechend der Zylinderachse, wobei die Helligkeit an jeder Seite (um den Zylindermantel) abfällt. Finger sind ungefähr zylindrisch und bei Identifizierung dieser Gaußschen Spitzen ist es möglich, Finger sogar in den Situationen zu lokalisieren, in denen der Hintergrund nahe ist und die Kanten aufgrund der relativen Helligkeit des Hintergrunds nicht sichtbar sind (aufgrund der Nähe oder der Tatsache, dass der Hintergrund aktiv Infrarotlicht emittieren kann). Der Ausdruck "Gauß" wird im weitesten Sinne hierin zur Bezeichnung einer glockenförmigen Kurve verwendet, die typischerweise symmetrisch ist, und ist nicht auf Kurven beschränkt, die explizit konform zu einer Gaußschen Funktion sind.

[0075] Fig. 9 stellt einen Tablet-Computer **900** mit einer Bewegungserfassungsvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar. Der Tablet-Computer **900** weist ein Gehäuse auf, dessen Vorderseitenoberfläche einen Bildschirm **902** umfasst, der durch eine Einfassung **904** umgeben ist. Die Einfassung **904** weist wenigstens einen Steuerknopf **906** auf. Der Tablet-Computer **900** kann innerhalb des Gehäuses, beispielsweise hinter dem Bildschirm **902**, eine Vielzahl herkömmlicher Computerkomponenten (Prozessoren, Speicher, Netzwerkschnittstellen usw.) aufweisen. Unter Verwendung von Kameras **912**, **914** (bspw. ähnlich oder identisch mit den Kameras **102**, **104** aus Fig. 1A) und Lichtquellen **916**, **918** (bspw. ähnlich oder identisch mit den Lichtquellen **108**, **110** aus Fig. 1A) kann in die Einfassung **904** eingebaut und zu der Vorderseitenoberfläche hin orientiert sein, um die Bewegung eines vor dem Tablet-Computer **900** angeordneten Benutzers aufzunehmen.

[0076] Bei der Bewegung einer Hand oder eines anderen Objekts des Benutzers im Sichtfeld der Kameras **912**, **914**, wird die Bewegung erfasst, wie vorangehend beschrieben ist. In diesem Fall ist der Hin-

tergrund wahrscheinlich der eigene Körper des Benutzers im Abstand von ungefähr 25–30 cm zum Tablet-Computer **900**. Der Benutzer kann eine Hand oder ein anderes Objekt unter einem kurzen Abstand zum Display **902** halten, wie z. B. 5–10 cm. Solange die Hand des Benutzers bedeutend näher ist als der Körper des Benutzers (beispielsweise halber Abstand) zu den Lichtquellen **916**, **918**, können die hierin beschriebenen Beleuchtung-basierten Kontrastverbesserungstechniken verwendet werden, um Objektpixel von Hintergrundpixel zu unterscheiden. Die Bildanalyse und nachfolgende Interpretation bei der Ausführung von Eingabegesten innerhalb des Tablet-Computers **900** (ein Neigen, das beispielsweise den Hauptprozessor zur Ausführung des Betriebssystems oder einer anderen Software, um Daten zu analysieren, die von den Kameras **912**, **914** erhalten werden). Der Benutzer kann folglich mit dem Tablet **900** unter Verwendung von Gesten im 3D-Raum interagieren.

[0077] Es kann auch ein Brillensystem **1000**, wie in Fig. 10 dargestellt ist, eine Bewegungserfassungsvorrichtung entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfassen. Das Brillensystem **1000** kann z. B. in Verbindung mit Umgebungen der virtuellen Realität und/oder der verbesserten Realität verwendet werden. Das Brillensystem **1000** umfasst eine Brille **1002**, die von einem Benutzer getragen werden kann, ähnlich herkömmlicher Brillen. Die Brille **1002** umfasst Augenstücke **1004**, **1006**, die Bildschirme mit kleiner Bildanzeige aufweisen können, um Bilder für das linke und rechte Auge des Benutzers bereitzustellen, beispielsweise eine Umgebung einer virtuellen Realität. Diese Bilder können durch eine Basiseinheit **1008** (bspw. ein Computersystem) bereitgestellt werden, die mit den Brillen **1002** entweder drahtlos oder über eine verdrahtete Verbindung verbunden ist. In einem Rahmenabschnitt der Brille **1002** können Kameras **1010**, **1012** (bspw. ähnlich oder identischen mit den Kameras **102**, **104** aus Fig. 1A) eingebaut sein, so dass sie nicht die Sicht des Benutzers beeinträchtigen. In den Rahmenabschnitt der Brille **1002** können an jeder Kameraseite Lichtquellen **1014**, **1016** angebracht sein. Die durch die Kameras **1010**, **1012** gesammelten Bilder können an die Basiseinheit **1008** als Gesten, die eine Benutzerinteraktion mit der virtuellen oder verbesserten Umgebung bezeichnen, zur Analyse und Interpretation übertragen werden. (In einigen Ausführungsformen kann die virtuelle oder verbesserte Umgebung, die durch die Augenstücke **1004**, **1006** dargestellt werden, eine Darstellung der Hand des Benutzers umfassen und die Darstellung kann auf den durch die Kameras **1010**, **1012** gesammelten Bilder basieren.)

[0078] Wenn der Benutzer unter Verwendung einer Hand oder eines anderen Objekts im Sichtfeld der Kameras **1008**, **1010** gestikuliert, wird die Bewegung erfasst, wie oben beschrieben ist. In diesem Fall

ist der Hintergrund wahrscheinlich eine Wand eines Raums, in dem sich der Benutzer befindet, und der Benutzer sitzt oder steht höchstwahrscheinlich mit Abstand zur Wand. Solange die Hand des Benutzers bedeutend näher ist als der Körper des Benutzers (beispielsweise halber Abstand) zu den Lichtquellen **1012**, **1014**, vereinfachen die hierin beschriebenen beleuchtungs-basierten Kontrastverbesserungstechniken die Unterscheidung von Objektpixel bezüglich Hintergrundpixel. Die Bildanalyse und nachfolgende Interpretation als Eingabegesten kann innerhalb der Basiseinheit **1008** erfolgen.

[0079] Die Ausgestaltungen zu der in den **Fig. 8–Fig. 10** dargestellten Bewegungserfassung sind anschaulich und es sind Variationen und Modifizierungen möglich. Beispielsweise kann eine Bewegungserfassungsvorrichtung oder Komponente davon in einem Gehäuse mit anderen Benutzereingabevorrichtungen kombiniert werden, wie z. B. einer Tastatur oder einem Trackpad. In eifern anderen Beispiel kann eine Bewegungserfassungsvorrichtung in einen Laptop-Computer eingebaut sein, beispielsweise mit nach oben orientierten Kameras und Lichtquellen, die in die gleiche Oberfläche eingebaut sind, wie die Tastatur des Laptops (beispielsweise auf einer Seite der Tastatur oder davor oder hinter der Tastatur) oder mit nach vorne orientierten Kameras und Lichtquellen, die in eine Einfassung eingebaut sind, die die Bildschirmanzeige des Laptops umgibt. In wieder einem anderen Beispiel kann eine tragbare Bewegungserfassungsvorrichtung gebildet sein, beispielsweise als Stirnband oder Headset, das keine aktiven Bildwiedergabevorrichtungen oder optischen Komponenten umfasst.

[0080] Gemäß der Darstellung in **Fig. 11** kann eine Bewegungsinformation als Benutzereingabe zur Steuerung eines Computersystems oder eines anderen Systems gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden. Der Prozess **1100** kann beispielsweise in Computersystemen umgesetzt sein, wie z. B. denen, die in den **Fig. 8–Fig. 10** dargestellt sind. Bei Block **1102** werden Bilder unter Verwendung der Lichtquellen und Kameras der Bewegungserfassungsvorrichtung aufgenommen. Gemäß der obigen Beschreibung kann die Aufnahme der Bilder eine Verwendung der Lichtquellen zur Beleuchtung des Sichtfelds der Kameras umfassen, so dass Objekte näher an den Lichtquellen (und den Kameras) heller beleuchtet sind als weiter entfernte Objekte.

[0081] Bei Block **1104** werden die aufgenommenen Bilder analysiert, um Kanten des Objekts auf Basis von Änderungen in der Helligkeit zu erfassen. Diese Analyse kann z. B. ein Vergleichen der Helligkeit von jedem Pixel mit einem Schwellwert, ein Erfassen von Übergängen in der Helligkeit von einem niedrigen Niveau zu einem hohen Niveau entlang benach-

barter Pixel und/oder ein Vergleichen sukzessiver Bilder, die mit und ohne Beleuchtung durch die Lichtquellen aufgenommen werden, umfassen, wie vorangehend beschrieben ist. Bei Block **1106** wird ein Kanten-basierter Algorithmus verwendet, um die Position und/oder Bewegung eines Objekts zu bestimmen. Dieser Algorithmus kann z. B. ein beliebiger Algorithmus auf Tangenten-Basis sein, wie in der oben genannten '485-Anmeldung beschrieben ist; es können auch andere Algorithmen verwendet werden.

[0082] Bei Block **1108** wird eine Geste auf Basis der Position des Objekts und/oder der Bewegung des Objekts identifiziert. Beispielsweise kann eine Bibliothek von Gesten auf Grundlage der Position und/oder Bewegung eines Fingers des Benutzers definiert sein. Auf Grundlage einer schnellen Bewegung eines ausgestreckten Fingers zu einem Bildschirm kann ein "Tap" definiert sein. Eine "Spur" kann als Bewegung eines ausgestreckten Fingers in einer Ebene ungefähr parallel zum Bildschirm festgelegt sein. Ein Pinch nach innen kann durch zwei ausgestreckte Finger definiert werden, die nahe beieinander bewegt werden. Ein Pinch nach außen kann als zwei ausgestreckte Finger definiert werden, die weiter voneinander bewegt werden. Auf Basis einer Bewegung der gesamten Hand in einer speziellen Richtung (beispielsweise aufwärts, abwärts, links, rechts) können Wischbewegungen definiert werden. Unterschiedliche Wischbewegungen können weiterhin auf Basis der Zahl ausgestreckter Finger (beispielsweise ein, zwei, alle) definiert werden. Es können auch andere Gesten definiert werden. Durch Vergleich einer erfassten Bewegung mit der Bibliothek kann eine spezielle Geste, die der erfassten Position und/oder Bewegung zugeordnet wird, bestimmt werden.

[0083] Bei Block **1110** wird die Geste als eine Benutzereingabe interpretiert, die das Computersystem verarbeiten kann. Die spezielle Verarbeitung hängt im Allgemeinen von Anwendungsprogrammen ab, die gegenwärtig auf dem Computersystem laufen und wie diese Programme hinsichtlich einer Antwort auf bestimmte Eingaben ausgeführt werden. Ein Tap in einem Browserprogramm kann z. B. als ein Auswählen eines Links interpretiert werden, zu dem der Finger zeigt. Ein Tap in einem Wortverarbeitungsprogramm kann als Anordnen des Cursors an einer Position interpretiert werden, auf die der Finger zeigt, oder als Auswählen eines Menüelements oder eines anderen grafischen Kontrollelements interpretiert werden, das auf dem Bildschirm sichtbar sein kann. Die speziellen Gesten und Interpretationen können wunschgemäß auf Ebene der Betriebssysteme und/oder Anwendungen bestimmt werden, jedoch ist keine spezielle Interpretation einer Geste erforderlich.

[0084] Eine Vollkörperbewegung kann aufgenommen und für ähnliche Zwecke verwendet werden. In solchen Ausführungsformen tritt vorteilhafterweise

die Analyse und Rekonstruktion ungefähr in Echtzeit auf (beispielsweise in Zeiten vergleichbar mit den Reaktionszeiten des Menschen), so dass der Benutzer eine natürliche Interaktion mit dem Gerät erfährt. In anderen Anwendungen kann eine Bewegungserkennung zur digitalen Bearbeitung verwendet werden, die nicht in Echtzeit erfolgt, beispielsweise für computergestützte Filme oder dergleichen; in diesen Fällen kann die Analyse solange brauchen, wie erforderlich ist.

[0085] Die hierin beschriebenen Ausführungsformen stellen eine effiziente Unterscheidung zwischen einem Objekt und einem Hintergrund in aufgenommenen Bildern durch Erfassung der Abnahme der Lichtintensität mit dem Abstand bereit. Durch ein helles Ausleuchten der Objekte unter Verwendung von wenigstens einer Lichtquelle, die im Vergleich zum Hintergrund ausreichend nahe an dem Objekt angeordnet ist (beispielsweise um einen Faktor von zwei oder mehr), kann der Kontrast zwischen dem Objekt und dem Hintergrund erhöht werden. In einigen Fällen können Filter zur Entfernung eines Lichts der Quellen verwendet werden, die nicht zu den beabsichtigten Quellen gehören. Unter Verwendung von Infrarotlicht kann unerwünschtes "Rauschen" oder können helle Punkte der sichtbaren Lichtquellen, die wahrscheinlich in der Umgebung dargestellt werden, in der die Bilder aufgenommen werden, und die auch eine Störung des Benutzers verringern können (der mutmaßlich Infrarot nicht sehen kann), unterdrückt werden.

[0086] Die oben beschriebenen Ausführungsformen stellen zwei Lichtquellen bereit, wobei eine an jeder Seite der Kameras angeordnet ist, um Bilder des Objekts von Interesse aufzunehmen. Diese Anordnung kann besonders nützlich sein, wenn die Position und Bewegungsanalyse auf einer Kenntnis der Kanten des Objekts beruht, wie sie von jeder Kamera aus gesehen werden, da die Lichtquellen diese Kanten beleuchten. Es können jedoch auch andere Anordnungen verwendet werden. **Fig. 12** zeigt z. B. ein System **1200** mit einer einzigen Kamera **1202** und zwei Lichtquellen **1204**, **1206**, die an jeder Seite der Kamera **1202** angeordnet sind. Diese Anordnung kann zur Aufnahme von Bildern des Objekts **1208** und von Schatten, wie durch das Objekt **1208** gegen einer flachen Hintergrundbereich **1210** geworfen werden, verwendet werden. In dieser Ausführungsform können Objektpixel und Hintergrundpixel schon unterscheidbar sein. Darüber hinaus besteht immer noch genug Kontrast zwischen Pixel im abgeschatteten Hintergrundbereich und Pixel im nicht-abgeschatteten Hintergrundbereich, um eine Unterscheidung zwischen den beiden zu ermöglichen, wenn der Hintergrund **1210** nicht zu weit vom Objekt entfernt ist. Algorithmen zur Erfassung der Position und Bewegung unter Verwendung von Bildern eines Objekts und dessen Schatten sind in der oben genannten '485-Anmeldung beschrieben und das System **1200**

kann Eingabeinformation für solche Algorithmen bereitstellen, einschließlich der Lage von Kanten des Objekts und dessen Schatten.

[0087] **Fig. 13** stellt ein anderes System **1300** mit zwei Kameras **1302**, **1304** und einer Lichtquelle **1306** dar, die zwischen den Kameras angeordnet ist. Das System **1300** kann Bilder eines Objekts **1308** gegen einen Hintergrund **1310** aufnehmen. Das System **1300** ist im Allgemeinen weniger zuverlässig für eine Beleuchtung von Kanten, wie das System **100** aus **Fig. 1A**; es beruhen jedoch alle Algorithmen zur Bestimmung der Position und Bewegung auf einer präzisen Kenntnis der Kanten eines Objekts. Dementsprechend kann das System **1300** beispielsweise mit Kanten-basierten Algorithmen in Situationen verwendet werden, in denen eine geringere Genauigkeit erforderlich ist. Das System **1300** kann mit Algorithmen verwendet werden, die nicht auf Kanten basieren.

[0088] Während die Erfindung mit Bezug auf spezielle Ausführungsformen beschrieben wurden, sind zahlreiche Modifizierungen möglich. Es kann die Anzahl und Anordnung von Kameras und Lichtquellen geändert werden. Die Eigenschaften einer Kamera, einschließlich der Framerate, der räumlichen Auflösung und der Intensitätsauflösung, können auch wunschgemäß verändert werden. Die Lichtquellen können in einem kontinuierlichen oder gepulsten Modus betrieben werden. Die hierin beschriebenen Systeme stellen Bilder mit verbessertem Kontrast zwischen Objekt und Hintergrund bereit, um eine Unterscheidung zwischen den beiden zu vereinfachen. Diese Information kann für zahlreiche Zwecke verwendet werden, von denen die Positions- und/oder Bewegungserfassung lediglich eine unter vielen Möglichkeiten darstellt.

[0089] Die Cutoffschwelle und andere Kriterien zur Unterscheidung eines Objekts vom Hintergrund kann für spezielle Kameras und spezielle Umgebungen angepasst werden. Der Kontrast kann sich gemäß der obigen Anmerkungen erwartungsgemäß vergrößern, wenn das Verhältnis r_B/r_O zunimmt. In einigen Ausführungsformen kann das System in einer speziellen Umgebung kalibriert werden, beispielsweise durch ein Einstellen der Helligkeit der Lichtquelle, der Schwellwertkriterien usw. Die Verwendung von einfachen Kriterien, die in schnellen Algorithmen umgesetzt werden kann, kann in einem gegebenen System Prozessleistungen für andere Zwecke freisetzen.

[0090] Ein beliebiges Objekt kann unter Verwendung dieser Techniken einer Bewegungserfassung unterzogen werden und es können verschiedene Aspekte der Umsetzung für ein spezielles Objekt optimiert werden. Die Art und die Positionen von Kameras und/oder Lichtquellen können z. B. auf Grundlage der Größe des Objekts optimiert werden, dessen Bewegung aufzunehmen ist, und/oder des Volumens,

in dem eine Bewegung aufzunehmen ist. Analysetechniken gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können als Algorithmen in einer beliebigen geeigneten Computersprache abgefasst sein und auf programmierbaren Prozessoren ausgeführt werden. Alternativ können einige oder alle der Algorithmen in Logikschaltungen mit einer festen Funktion umgesetzt sein und solche Schaltungen können entworfen und hergestellt unter herkömmlichen oder anderen Werkzeugen sein.

[0091] Computerprogramme mit verschiedenen Merkmalen der vorliegenden Erfindung können auf verschiedenen computerlesbaren Speichermedien codiert sein; geeignete Medien umfassen eine magnetische Diskette oder ein Magnetband, optische Speichermedien, wie z. B. ein kompaktes (CD) oder DVD (digital versatile disk), Flashmemory, und ein anderes nicht-transistorisches Medium, das Daten in computerlesbarer Form speichern kann. Ein computerlesbares Speichermedium, das mit dem Programmcode codiert ist, kann mit einer kompatiblen Vorrichtung verpackt sein oder separat von anderen Vorrichtungen bereitgestellt werden. Zusätzlich kann ein Programmiercode codiert und über Drahtverbindungen optisch und/oder über drahtlose Netzwerke in Konformität mit einer Vielzahl von Protokollen übertragen werden, einschließlich dem Internet, wodurch eine Verteilung, beispielsweise über einen Internetdownload, unterstützt wird.

[0092] Demzufolge deckt die Erfindung alle Modifizierungen und Äquivalente ab, die in den Rahmen der folgenden Ansprüche fallen, obwohl die Erfindung mit Bezug auf spezielle Ausführungsformen beschrieben wurde.

Patentansprüche

1. Objektbeleuchtungs- und Bildaufnahme-Element einer Personen-Maschinen-Schnittstelle, umfassend:

eine zu einem Sichtfeld orientierte Kamera;
eine Mehrzahl von einzeln steuerbaren Lichtelementen, die auf das Sichtfeld gerichtet sind, wobei wenigstens einige der Lichtelemente unterschiedliche Strahlwinkel aufweisen, einschließlich wenigstens eines Lichtelements mit breitem Strahl und ein oder mehrere Lichtelemente mit schmalem Strahl; und
eine Steuerung, die mit der Kamera und den Lichtquellen verbunden und dazu konfiguriert ist:
die Kamera zur Aufnahme einer Sequenz von Bildern, einschließlich eines Steuerobjekts, zu bedienen, das an dem Sichtfeld ankommt und sich in das Sichtfeld bewegt;
die Lichtelemente zur Beleuchtung des Sichtfelds durch das Lichtelement mit breitem Strahl zu bedienen, während die Annäherung des Steuerobjekts erfasst wird, und um die Lichtquellen mit schmalem Strahl zu aktivieren und das Steuerobjekt durch die

Lichtelemente mit schmalem Strahl zu verfolgen, sobald es sich innerhalb des Sichtfelds bewegt; und
das sich bewegende Kontrollobjekt unter Verwendung der Lichtelemente mit schmalem Strahl bei ausreichender Intensität zu beleuchten, um eine Erfassung von Steuergesten durch das Steuerobjekt innerhalb des Sichtfelds zu unterstützen.

2. Personen-Maschinen-Schnittstelle nach Anspruch 1, wobei eine Mehrzahl von Lichtelemente durch Lichtelemente mit schmalem Strahl bereitgestellt wird.

3. Personen-Maschinen-Schnittstelle nach Anspruch 2, wobei die Lichtelemente mit schmalem Strahl einen Strahlwinkel von ungefähr 60° aufweisen.

4. Personen-Maschinen-Schnittstelle nach Anspruch 2, wobei das wenigstens eine Lichtelement mit breitem Strahl einen Strahlwinkel von ungefähr 120° aufweist.

5. Personen-Maschinen-Schnittstelle nach Anspruch 2, wobei die Steuerung zur Nachverfolgung des Objekts und zur Aktivierung unterschiedlicher Lichtelemente mit schmalem Strahl zur Aufrechterhaltung der Beleuchtung des Objekts konfiguriert ist, wenn sich dieses bewegt.

6. Personen-Maschinen-Schnittstelle nach Anspruch 5, wobei die Steuerung zur Deaktivierung von Lichtelementen ausgebildet ist, die nicht unbedingt zur Beleuchtung des Objekts erforderlich sind.

7. Personen-Maschinen-Schnittstelle nach Anspruch 2, wobei die Steuerung zur Steuerung der Lichtelemente mit schmalem Strahl ausgebildet ist, um das Objekt durch wenigstens eines dieser Elemente weiterhin zu beleuchten, sobald sich dieses bewegt.

8. Personen-Maschinen-Schnittstelle nach Anspruch 1, wobei die Steuerung zur Analyse von Bildern der Kamera ausgebildet ist, um eine Trajektorie des Objekts vorherzusagen und Lichtelemente gemäß der vorhergesagten Trajektorie zu aktivieren und zu steuern.

9. Systemelement einer Personen-Maschinen-Schnittstelle zur Objektbeleuchtung und Bildaufnahme, umfassend:
eine Kamera, die zu einem Sichtfeld orientiert ist;
eine Mehrzahl von einzeln steuerbaren Lichtelementen und steuerbaren Optiken, die dem wenigstens einen Lichtelement zugeordnet sind, wobei die Optiken einen Strahlwinkel steuerbar ändern, der den Lichtelementen zugeordnet ist; und
eine Steuerung, die mit der Kamera und den Lichtquellen verbunden und dazu ausgebildet ist:

die Kamera zur Aufnahme einer Sequenz von Bildern, einschließlich eines Steuerobjekts, zu bedienen, das sich im Sichtfeld bewegt;
 die Lichtelemente und die Optiken zur Beleuchtung des Sichtfelds mit wenigstens einem breiten Strahl zu bedienen, während eine Annäherung des Steuerobjekts erfasst wird, und mit einem schmalen Strahl zu betreiben, während es dem Steuerobjekt folgt, wenn sich dieses im Sichtfeld bewegt; und
 die Bewegung des Steuerobjekts mit ausreichender Intensität zu beleuchten, um eine Anwendung einer Objektachsenerfassung auf die Sequenz von Bildern des Steuerobjekts zu unterstützen.

10. System nach Anspruch 9, wobei die Optiken einstellbare Linsen umfassen.

11. System nach Anspruch 10, wobei die Steuerung die Optiken steuert, um einen Strahlwinkel eines Lichtelements und einen Betriebsstrom zu ändern, um eine ausgegebene Luminanz des Lichtelements zu variieren.

12. Verfahren zum Beleuchten eines Objekts und zum Aufnahmen eines Bildes als Teil einer Personen-Maschinen-Schnittstelle, die in einer Kamera verwendet wird, und einer Mehrzahl von Lichtelementen, die zu einem Sichtfeld orientiert sind, wobei wenigstens einige der Lichtelemente unterschiedliche Strahlwinkel aufweisen, wobei das Verfahren umfasst:
 ein Bedienen der Kamera zur Aufnahme einer Sequenz von Bildern, einschließlich eines Steuerobjekts, das sich im Sichtfeld bewegt; und
 ein Bedienen der Lichtelemente zum Beleuchten des Sichtfelds mit einem Lichtelement mit breitem Strahl, während eine Annäherung des Steuerobjekts erfasst wird, und um ein Lichtelement mit schmalen Strahl zu aktivieren und dem Steuerobjekt mit den Lichtelementen mit schmalen Strahl zu folgen, wenn sich das Objekt innerhalb des Sichtfelds bewegt; und
 ein Beleuchten der Bewegung des Objekts mit ausreichender Intensität, um ein Anwenden einer Objektachsenerfassung auf die Sequenz von Bildern des Steuerobjekts zu unterstützen.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die Lichtelemente eine Mehrzahl von Lichtelemente mit schmalen Strahl umfassen.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Lichtelemente mit schmalen Strahl einen Strahlwinkel von ungefähr 60° aufweisen.

15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das wenigstens eine Lichtelement mit breitem Strahl einen Strahlwinkel von ungefähr 120° aufweist.

16. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Objekt nachverfolgt wird und unterschiedliche der Lichtelemente mit schmalen Strahl aktiviert werden, um die

Beleuchtung des Objekts zu erhalten, wenn es sich bewegt.

17. Verfahren nach Anspruch 16, ferner umfassend ein Deaktivieren der Lichtelemente, die nicht zur Beleuchtung des Objekts erforderlich sind.

18. Verfahren nach Anspruch 13, ferner umfassend ein Steuern des Lichtelements mit schmalen Strahl, um eine Beleuchtung des Objekts durch wenigstens ein solches Objekt aufrechtzuerhalten, wenn sich das Objekt bewegt.

19. Verfahren nach Anspruch 12, ferner umfassend ein Analysieren von Bildern der Kamera zum Vorhersagen einer Trajektorie des Objekts und ein Aktivieren oder Steuern der Lichtelemente gemäß der vorhergesagten Trajektorie.

20. Verfahren zum Beleuchten eines Objekts und zum Aufnahmen eines Bildes als Teil einer Personen-Maschinen-Schnittstelle, die mit einer Kamera und einer Mehrzahl von einzelnen steuerbaren Lichtelementen verwendet wird, wobei diese zu einem Sichtfeld gerichtet sind, und weiter umfassend steuerbare Optiken, die wenigstens einigen der Lichtelemente zugeordnet sind, wobei die Optiken eine Änderung eines Strahlwinkels der zugeordneten Lichtelemente steuern, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:
 ein Bedienen der Kamera zur Aufnahme einer Sequenz von Bildern, einschließlich eines Steuerobjekts, das sich im Sichtfeld bewegt;
 ein Bedienen der Lichtelemente und der Optiken zum Beleuchten des Sichtfelds durch das Lichtelement mit breitem Strahl, während eine Annäherung des Steuerobjekts erfasst wird, und zum Aktivieren von Lichtelemente mit schmalen Strahl und zum Nachverfolgen des Steuerobjekts durch die Lichtelemente mit schmalen Strahl, wenn sich das Steuerobjekt innerhalb des Sichtfelds bewegt; und
 ein Beleuchten des sich bewegenden Objekts mit ausreichender Intensität zur Unterstützung einer Erfassung von Steuergesten durch das Steuerobjekt innerhalb des Sichtfelds.

21. Bildaufnahme- und Bildanalyse-System, umfassend:

eine zu einem Sichtfeld orientierte Kamera;
 eine Mehrzahl von einzelnen steuerbaren Lichtelementen, die zum Sichtfeld orientiert sind; wobei wenigstens einige der Lichtelemente unterschiedliche Strahlwinkel aufweisen; und
 eine Steuerung, die mit der Kamera und den Lichtquellen verbunden ist, und die dazu ausgebildet ist:
 die Kamera zur Aufnahme einer Sequenz von Bildern, einschließlich eines Objekts, das sich im Sichtfeld bewegt, zu bedienen; und
 die Lichtelemente zur Beleuchtung des sich bewegenden Objekts mit ausreichender Intensität zur Un-

terstützung einer Bildaufnahme durch die Kamera mit minimalem Leistungsverbrauch zu bedienen.

22. System nach Anspruch 21, wobei wenigstens eines der Lichtelemente ein Lichtelement mit breitem Strahl ist und eine Mehrzahl der Lichtelemente Lichtelemente mit schmalem Strahl umfasst.

23. System nach Anspruch 22, wobei die Lichtelemente mit schmalem Strahl einen Strahlwinkel von 60° aufweisen.

24. System nach Anspruch 22, wobei wenigstens ein Lichtelement mit breitem Strahl einen Strahlwinkel von ungefähr 120° aufweist.

25. System nach Anspruch 22, wobei die Steuerung zur Nachverfolgung des Objekts und zur Aktivierung unterschiedlicher Lichtelemente der Lichtelemente mit schmalem Strahl ausgebildet ist, um die Beleuchtung des Objekts aufrechtzuerhalten, wenn es sich bewegt.

26. System nach Anspruch 25, wobei die Steuerung zur Deaktivierung der Lichtelemente ausgebildet ist, die nicht zur Beleuchtung des Objekts erforderlich sind.

27. System nach Anspruch 22, wobei die Steuerung zur Steuerung der Lichtelemente mit schmalem Strahl ausgebildet ist, um die Beleuchtung des Objekts durch wenigstens ein solches Element aufrechtzuerhalten, wenn sich das Objekt bewegt.

28. System nach Anspruch 21, wobei die Steuerung zur Analyse von Bildern durch die Kamera zur Vorhersage einer Trajektorie des Objekts und zur Aktivierung oder Steuerung von Lichtelementen gemäß der vorhergesagten Trajektorie ausgebildet ist.

29. Bildaufnahme- und Bildanalyse-System, umfassend:

eine zu einem Sichtfeld orientierte Kamera;
eine Mehrzahl von einzeln steuerbaren Lichtelementen und steuerbaren Optiken, die wenigstens einigen der Lichtelemente zugeordnet sind, wobei die Optiken eine Änderung eines Strahlwinkels der zugeordneten Lichtelemente steuerbar ändern; und
eine Steuerung, die mit der Kamera und den Lichtquellen verbunden und dazu konfiguriert ist: die Kamera zur Aufnahme einer Sequenz von Bildern, einschließlich eines sich im Sichtfeld bewegenden Objekts, zu bedienen; und
die Lichtelemente und die Optiken zur Beleuchtung des sich bewegenden Objekts mit ausreichender Intensität zur Unterstützung einer Bildaufnahme durch die Kamera mit minimalem Leistungsverbrauch zu bedienen.

30. System nach Anspruch 29, wobei die Optiken einstellbare Linsen umfassen.

31. System nach Anspruch 30, wobei die Steuerung die Optiken steuert, um einen Strahlwinkel eines Lichtelements und einen Betriebsstrom zu ändern, um eine vom Lichtelement ausgegebene Luminanz zur Minimierung des Betriebsstroms zu ändern.

32. Verfahren zur Bildaufnahme und Bildanalyse zur Verwendung mit einer Kamera und einer Mehrzahl von Lichtelementen, die einem Sichtfeld zugeordnet sind, wobei wenigstens einige der Lichtelemente unterschiedliche Strahlwinkel aufweisen, das Verfahren umfassend:

ein Bedienen der Kamera zur Aufnahme einer Sequenz von Bildern, einschließlich eines sich im Sichtfeld bewegenden Objekts; und
ein Bedienen der Lichtelemente zur Beleuchtung des sich bewegenden Objekts mit ausreichender Intensität, um eine Bildaufnahme durch die Kamera bei minimalem Leistungsverbrauch zu unterstützen.

33. Verfahren nach Anspruch 32, wobei die Lichtelemente wenigstens ein Lichtelement mit breitem Strahl und eine Mehrzahl von Lichtelemente mit schmalem Strahl aufweisen.

34. Verfahren nach Anspruch 33, wobei die Lichtelemente mit schmalem Strahl einen Strahlwinkel von ungefähr 60° aufweisen.

35. Verfahren nach Anspruch 33, wobei das wenigstens eine Lichtelement mit breitem Strahl einen Strahlwinkel von ungefähr 120° aufweist.

36. Verfahren nach Anspruch 33, wobei das Objekt nachverfolgt wird und unterschiedliche Lichtelemente der Lichtelemente mit schmalem Strahl aktiviert werden, um eine Beleuchtung des Objekts aufrechtzuerhalten, wenn es sich bewegt.

37. Verfahren nach Anspruch 36, ferner umfassend ein Deaktivieren der Lichtelemente, die nicht zur Beleuchtung des Objekts erforderlich sind.

38. Verfahren nach Anspruch 33, ferner umfassend ein Steuern der Lichtelemente mit schmalem Strahl zur Aufrechterhaltung einer Beleuchtung des Objekts durch wenigstens ein solches Element, wenn sich das Objekt bewegt.

39. Verfahren nach Anspruch 32, ferner umfassend ein Analysieren von Bildern der Kamera zur Vorhersage einer Trajektorie des Objekts und zur Aktivierung oder Steuerung der Lichtelemente gemäß der vorhergesagten Trajektorie.

40. Verfahren zum Aufnahmen und Analysieren von Bildern zur Verwendung mit einer Kamera und

einer Mehrzahl von einzelnen steuerbaren Lichtelementen, die zu einem Sichtfeld orientiert sind, und steuerbaren Optiken, die wenigstens einigen der Lichtelemente zugeordnet sind, wobei die Optiken einen Strahlwinkel von zugeordneten Lichtelementen steuerbar ändern, wobei das Verfahren umfasst:
ein Bedienen der Kamera zum Aufnehmen einer Sequenz von Bildern, einschließlich eines Objekts, das sich im Sichtfeld bewegt;
ein Bedienen der Lichtelemente und der Optiken zum Beleuchten des sich bewegenden Objekts mit ausreichender Intensität, um eine Bildaufnahme durch die Kamera zu unterstützen, wobei ein Leistungsverbrauch minimiert wird.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

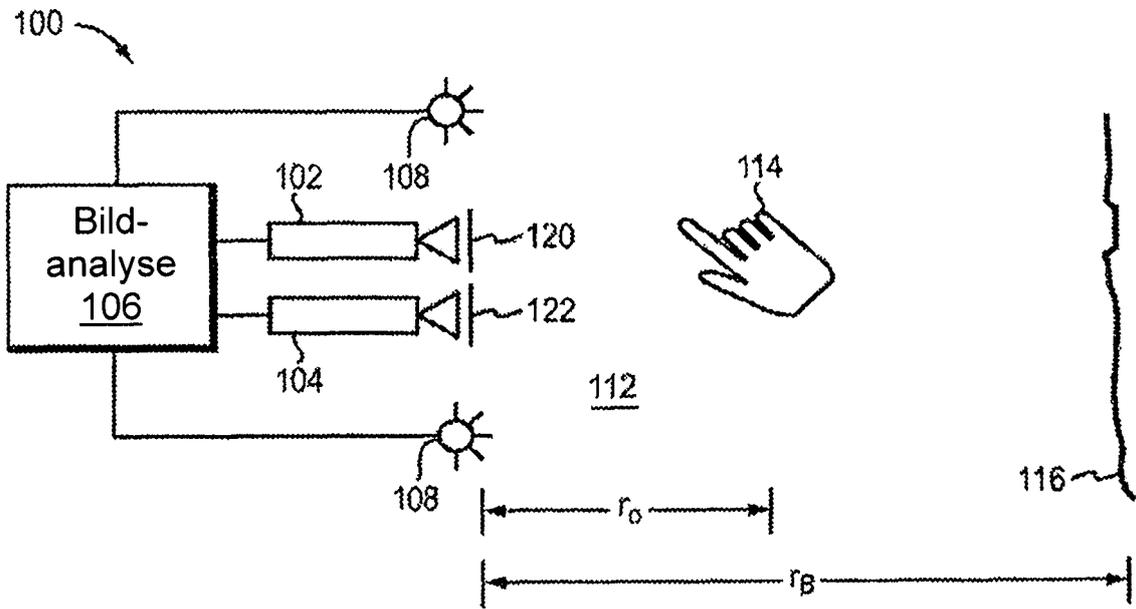


FIG. 1A

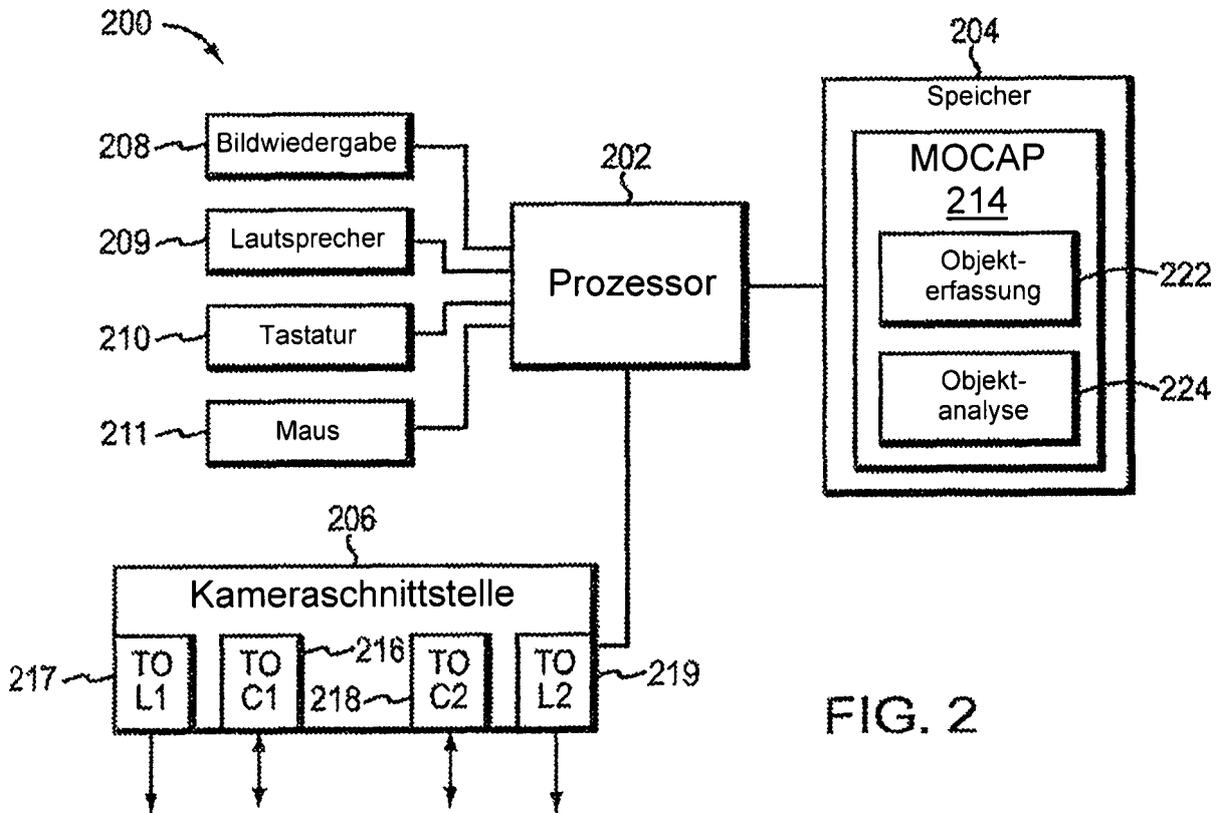


FIG. 2

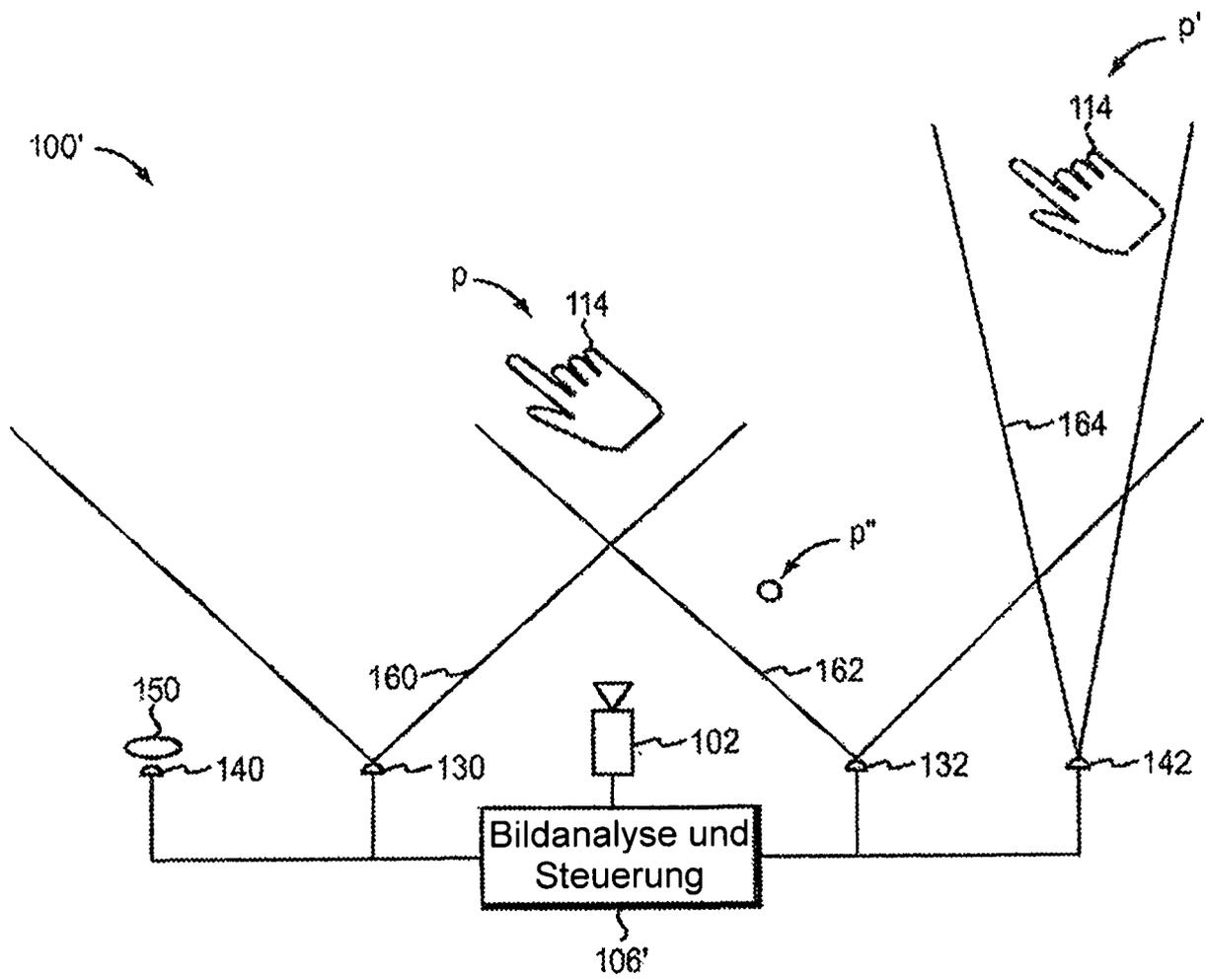


FIG. 1B

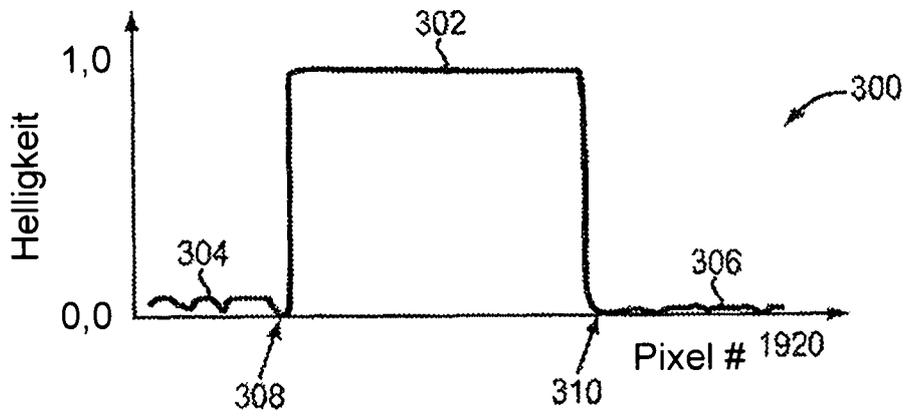


FIG. 3A

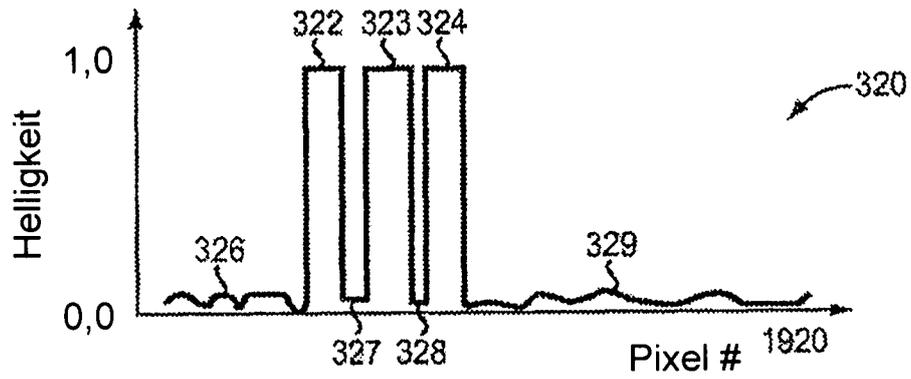


FIG. 3B

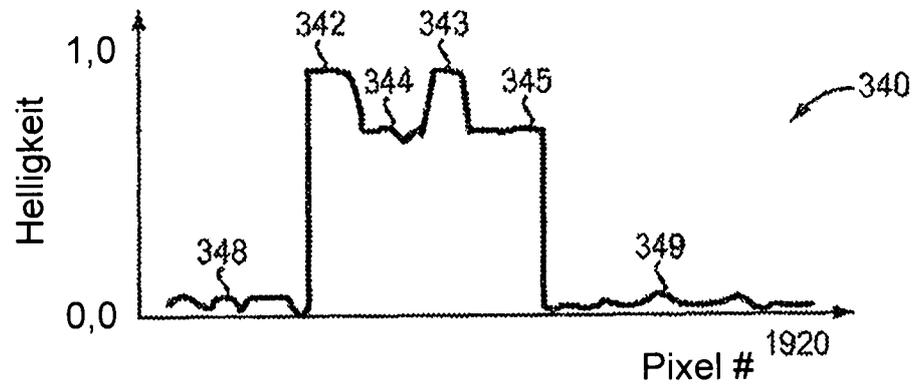


FIG. 3C

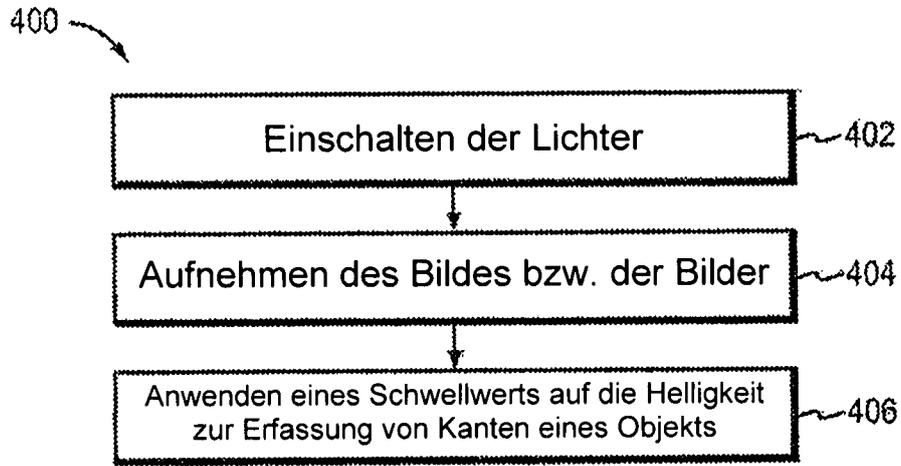


FIG. 4

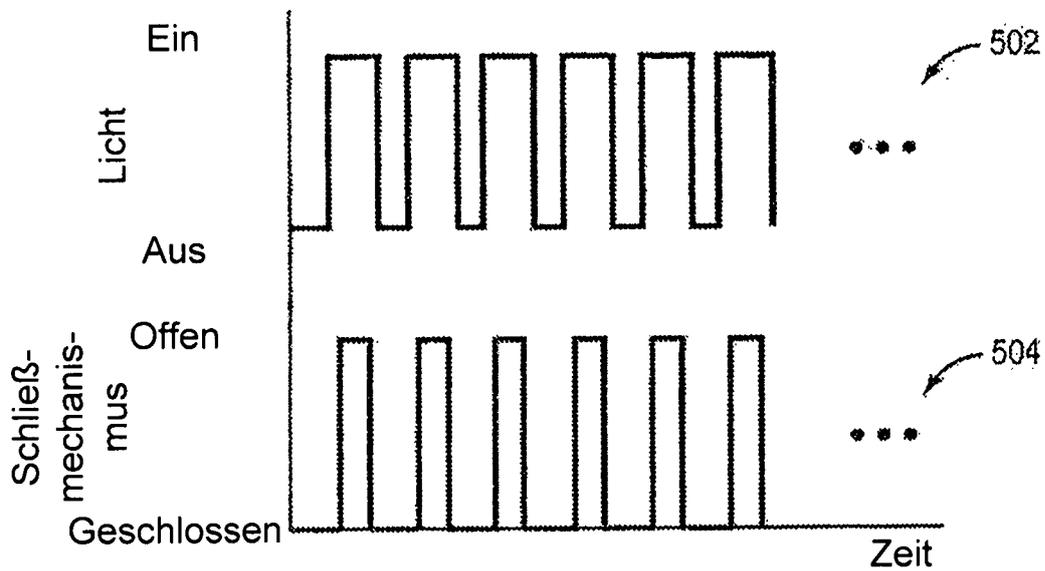


FIG. 5

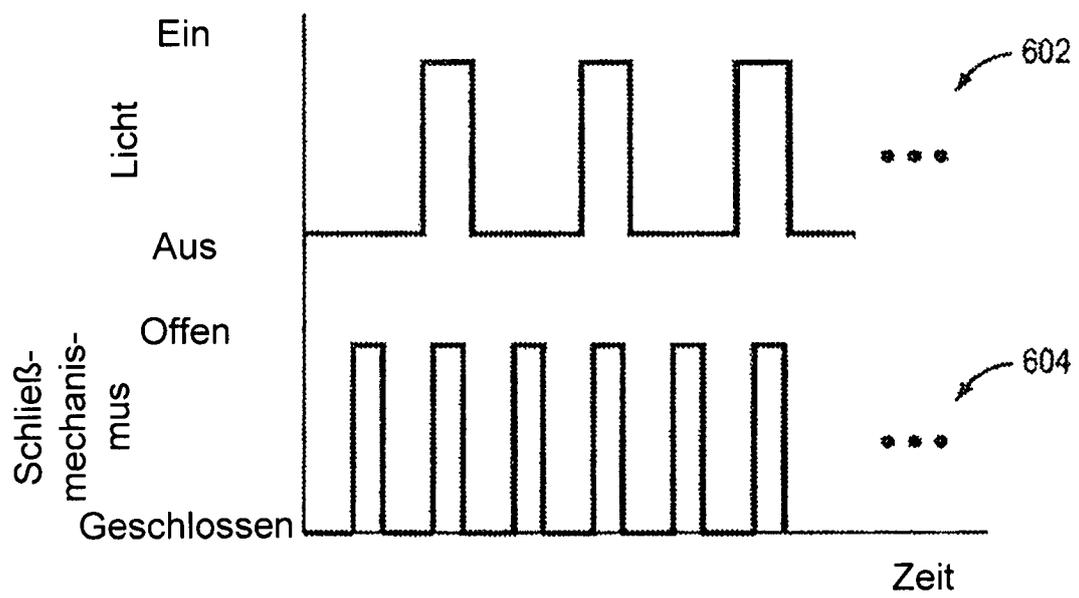


FIG. 6

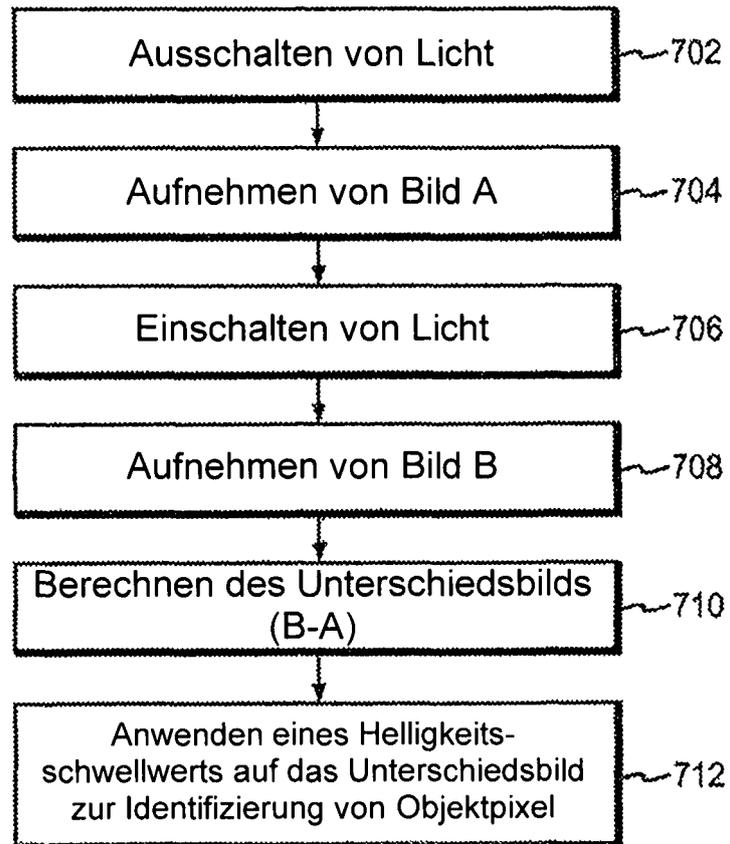


FIG. 7

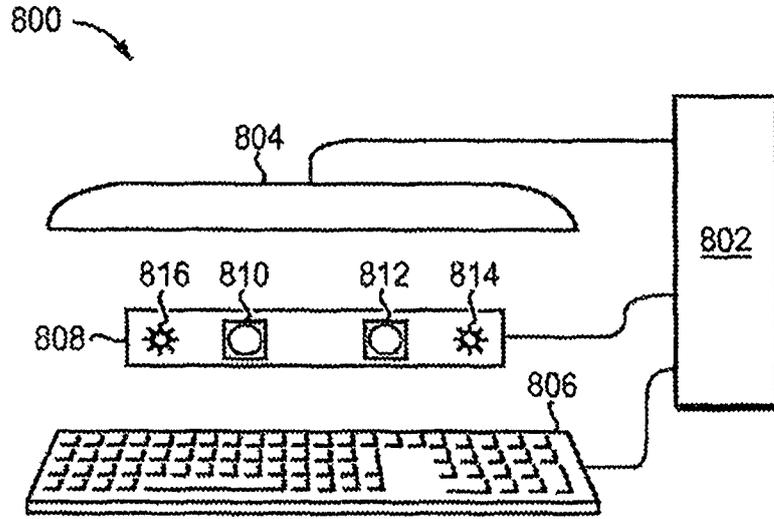


FIG. 8

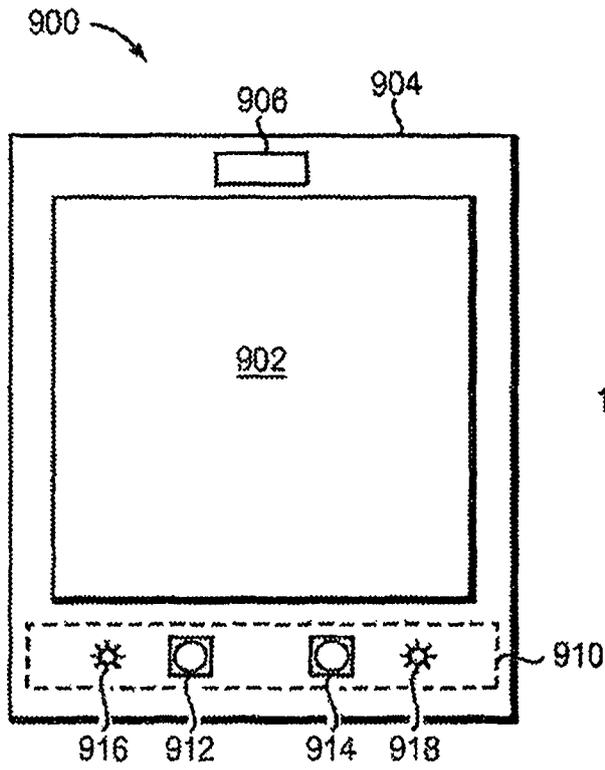


FIG. 9

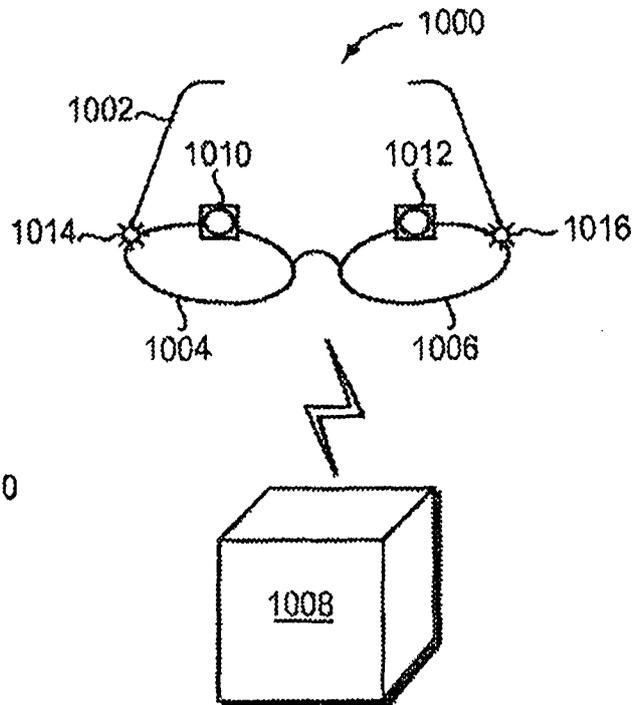


FIG. 10

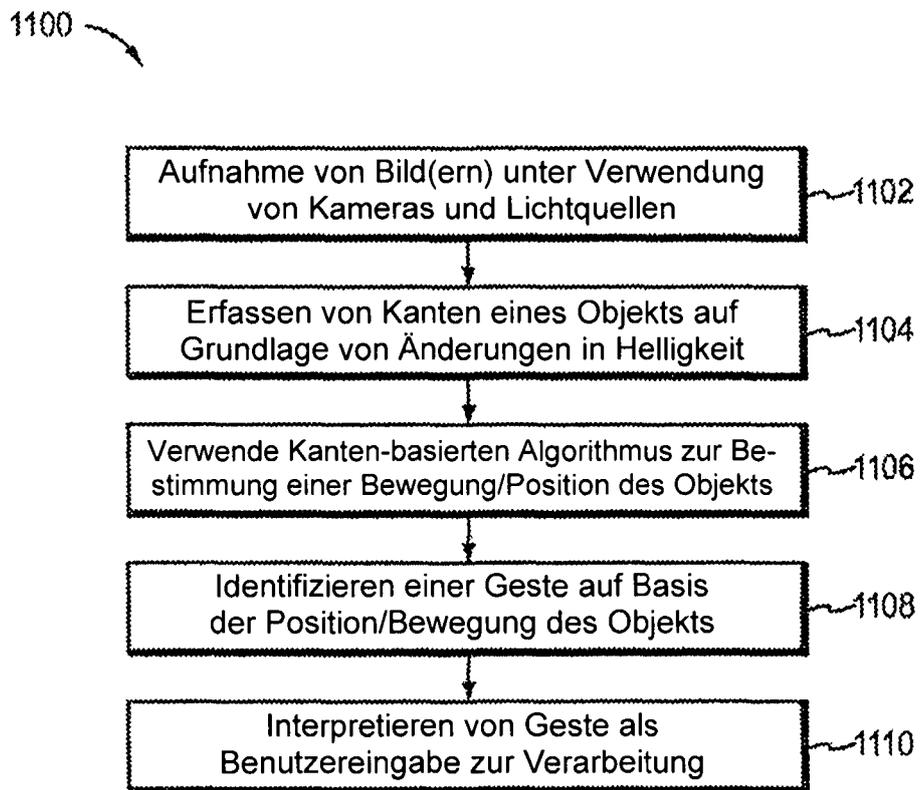


FIG. 11

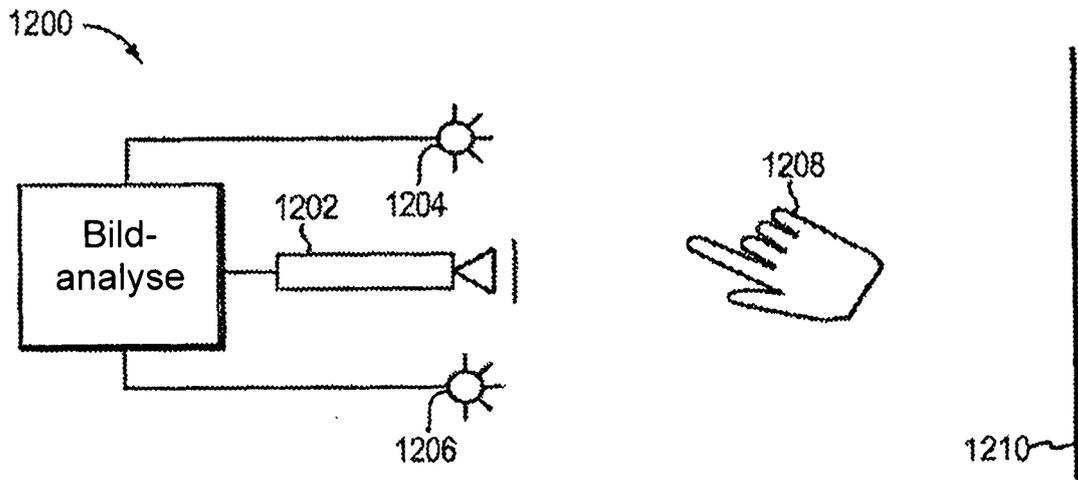


FIG. 12

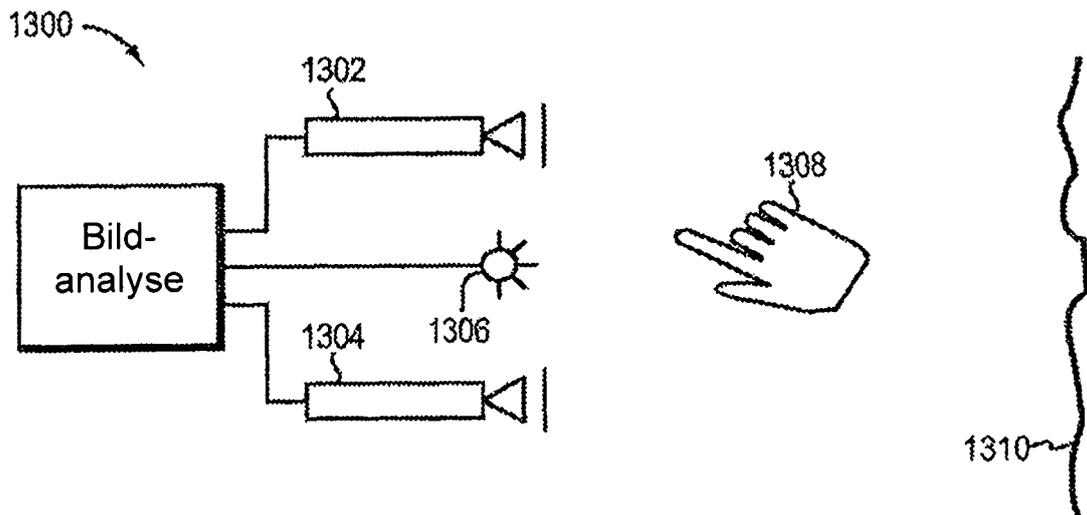


FIG. 13