(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 29 052 T2** 2004.06.09

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 886 829 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 29 052.9**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IL96/00117**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 931 218.0**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 97/012326**
(86) PCT-Anmeldetag: **25.09.1996**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **03.04.1997**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **30.12.1998**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **09.07.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **09.06.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G06F 15/00**
G06T 5/00, G06T 11/00, G06T 15/10, G06T 17/30, H04N 13/00

(30) Unionspriorität:
11542895 27.09.1995 IL

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, ES, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:
Yeda Research and Development Co., Ltd., Rehovot, IL

(74) Vertreter:
Patentanwälte Walter Eggers Lindner, 81241 München

(72) Erfinder:
ZAJFMAN, Daniel, 76303 Rehovot, IL; HEBER, Oded, 76289 Rehovot, IL; VAGER, Zeev, 76100 Rehovot, IL

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR DREIDIMENSIONALEN ABBILDUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Technik des Abbildens und genauer ein System und ein Verfahren eines dreidimensionalen Abbildens.

Hintergrundtechnik

[0002] Dreidimensionales Abbilden ist eine verbreitet verwendete Technik für jegliche Anwendungen im Alltagsleben. Die Systeme und Verfahren, die soweit genutzt werden, erfordern jedoch entweder viele Eingabeproben und Computerrekonstruktionen des Bildes, wie bei Computertomographie oder bei Kernmagnetresonanz, oder viele unabhängige Proben zusammen mit anspruchsvoller und teurer Elektronik, wie bei Teilchenstrahldetektoren.
[0003] Künstliches Sehen ist sehr wichtig in der Robotik und Automatensteuerung. Die problematische Frage bei den bekannten Techniken ist, dass die Bilder, die von dem Roboter gesehen werden, nur zweidimensional sind, was die Handhabung von räumlichen Objekten und Positionsbestimmung schwierig macht. Daher ist die Forschung und Entwicklung bei künstlichem Sehen hauptsächlich darauf fokussiert, wie das 3-D Bild durch Mustererkennung und ähnliche Verfahren zu rekonstruieren ist, die problematisch und langsam sind.
[0004] Die EP-554089 beschreibt ein System zum Messen von Flugcharakteristika eines sich bewegenden Sportgegenstandes. Es setzt zwei verschließbare Kameraeinheiten ein, von welchen jede Lichtmuster von jedem und jedem einzelnen einer Mehrzahl von kontrastierenden Bereichen an dem Gegenstand in schneller aufeinanderfolgender Folge empfängt. Die erzeugten Signale werden von einem Computer verarbeitet, um die Flugcharakteristika des Gegenstandes zu bestimmen.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Es ist daher ein grobes Ziel der vorliegenden Erfindung, die obigen und anderen Nachteile der bekannten dreidimensionalen Abbildungsvorrichtungen zu überwinden und ein einfaches und schnelles Dreidimensionalabbildungssystem basierend auf bekannter Technologie bereit zu stellen.
[0006] Die Erfindung schafft daher ein dreidimensionales Abbildungsystem, wie es im Anspruch 1 definiert ist.
[0007] Das Bild kann auf einem elektrolumineszenten Schirm angezeigt werden, der eine bekannte Abklingzeit hat.
[0008] Der Schritt des Bestimmens kann durch Verwenden einer Abklingkalibrierungskurve für das spezifische Elektrolumineszentsmaterial des Schirms ausgeführt werden.
[0009] Das Bild kann durch eine eingehende Strahlung oder eine reflektierte Strahlung gebildet werden, die von einer gepulsten Lichtquelle mit einer bekannten Zeitabhängigkeit ausgeht.
[0010] Die Erfindung wird nun in Verbindung mit bestimmten bevorzugten Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die folgenden illustrativen Figuren beschrieben, so dass sie vollständiger verstanden werden kann.
[0011] Unter spezifischer Bezugnahme nun auf die Figuren im Detail wird betont, dass die gezeigten Einzelheiten nur beispielhaft und für die Zwecke der illustrativen Diskussion der bevorzugten Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung sind und aus dem Grund dargestellt werden, dass sie anzunehmenderweise die nützlichste und am leichtesten zu verstehende Beschreibung der Prinzipien und begrifflichen Aspekte der Erfindung bereit stellen. In dieser Hinsicht wird kein Versuch unternommen, strukturelle Details der Erfindung genauer zu zeigen, als es für ein grundsätzliches Verständnis der Erfindung erforderlich ist, wobei die mit den Zeichnungen herangezogene Beschreibung es Fachleuten verdeutlicht, wie die verschiedenen Formen der Erfindung in der Praxis eingesetzt werden können.
[0012] In den Zeichnungen:
[0013] **Fig.** 1 ist eine schematische Wiedergabe des Systems für dreidimensionale Abbildung gemäß der vorliegenden Erfindung;
[0014] **Fig.** 2 ist eine schematische Wiedergabe des Systems für dreidimensionale Abbildung gemäß der vorliegenden Erfindung, einschließlich einer Lichtkonvertier- und -verstärkungseinheit, und
[0015] **Fig.** 3 stellt Charakteristikkurven dar, die das Verfahren des Bildens eines dreidimensionalen Bildes gemäß der vorliegenden Erfindung darstellen.
[0016] In der **Fig.** 1 ist ein dreidimensionales Abbildungssystem **2** gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. Das System **2** enthält eine erste Kamera, z. B. eine CCD-Kamera **6**, und eine zweite Kamera **8**, wobei beide Kameras in dieselbe Richtung weisen und mit einem Rahmenerfassungsmittel **10** verbunden sind. Anstelle einer Rahmenerfassungsschaltung kann jedoch eine Rahmengrenzunterdrückungsschaltung verwendet werden, da die Funktionen von Erfassungsmitteln und Unterdrückungsmitteln dieselben sind, wobei der Aus-

druck "Rahmenerfassungsmittel" ("frame grabber") hierin verwendet wird, um beide Arten von Schaltungen zu bezeichnen.

[0017] Die Kamera **8** ist mit einer schnellen Torsteuervorrichtung **12** verbunden, die dazwischen und dem Sichtfeld, dem sie zugewandt ist, angeordnet ist. Das Sichtfeld hat bei diesem Ausführungsbeispiel seinen Ursprung an einer gepulsten Lichtquelle **14**, von der die Zeitabhängigkeit bekannt ist. Die Torsteuervorrichtung, vorzugsweise eine optische Torsteuerung, z. B. eine 100-Pikosekunden-Torsteuervorrichtung, ist normalerweise offen und schließt auf Befehl. Ein Computer (Prozessor) **16**, von dem die Funktionen anschließend beschrieben werden, ist ebenso vorgesehen.

[0018] Unter Bezugnahme auf die **Fig.** 2 ist das System zu sehen, das vorteilhafterweise mit einer Strahlungskonvertier- und -verstärkungseinheit **18** genutzt wird. Die Einheit **18** besteht aus einer ersten Schicht **20**, die einen Strahlungskonverter zum Konvertieren der eingehenden Strahlung bildet, die in der Form von sichtbarem Licht, Ultraviolett, Röntgenstrahlungsphotonen, Atomen oder schnellen Elektronen bis hin zu langsamen Elektronen sein kann. Die Schicht ist nicht erforderlich, wenn die Zeitabhängigkeit der eingehenden Strahlung bekannt ist. Die somit verlangsamten Elektronen werden dann durch ein elektrostatisches Feld, das von jeglicher geeigneten, für sich bekannten Vorrichtung **22** erzeugt wird, zu einem Elektronenvervielfacher **24**, z. B. eine Mikrokanalplatte (MCP), beschleunigt, die bis zu 10^7 Elektronen für jedes eingehende Elektron erzeugt. Die Verstärkung wird durch die Potentialdifferenz gesteuert, die an dem Vervielfacher anliegt. Die wichtigen Charakteristika von solchen MCP's sind, dass diese Vorrichtungen empfindlich für einzelne Teilchen sind, und dass der Verstärkungsprozess sehr schnell (Nanosekunden) und sehr lokalisiert (50 Mikrometer) ist. Die dritte Schicht **26** ist ein schnell (wenige Nanosekunden) abklingender elektrolumineszenter Schirm **26**, z. B. ein Phosphorschirm, auf welchen zu die Elektronen beschleunigt werden, was einen Lichtimpuls mit einer genau definierten Position und Zeit erzeugt.

[0019] Der Betrieb des Abbildungssystems **2**, ungeachtet dessen, ob die eingehende, reflektierte oder angezeigte gepulste Strahlung mit der Strahlungskonvertiereinheit **18** verwendet wird oder nicht, und unter Bezugnahme auf die **Fig.** 1 und 2 ist folgendermaßen:

Eine zweidimensionale (2-D) Abbildung (Bild), die ein Sichtfeld bildet oder auf dem Schirm **26** gebildet ist, wird durch die zwei Kameras **6** und **8** detektiert. Die Kamera **6** wird als eine reguläre 2-D-Abbildungsvorrichtung und Intensitätsnormalisierung verwendet, während die zweite Kamera **8** dem Sichtfeld oder Schirm **26** durch die Torsteuerungsvorrichtung **12** zugewandt ist. Wenn einmal Information, von der angenommen wird, das sie aufgezeichnet werden soll, vollständig auf dem Schirm angezeigt wird, schließt sich die Torsteuerungsvorrichtung. Daher existieren zwei verschiedene Bilder des Bildschirms: Das erste enthält die integralen Intensitäten des gesamten Lichtes, das auf dem Schirm angezeigt wurde (d. h. die Intensität integriert über die vollständige Abklingzeit des Phosphorschirms), während das zweite Bild nur das Licht enthält, das ankam, bis das schnelle Tor geschlossen ist. Da die Phosphorabklingzeit und die Torsteuerzeit bekannt sind, oder alternativ, wenn die Vorrichtung **18** nicht verwendet wird und die Zeitabhängigkeit der Lichtintensität bekannt ist, hat durch Dividieren der zwei Bildintensitäten Bildelement um Bildelement und Verwenden einer Verzögerungskalibrierungskurve für das elektrolumineszente Material des Schirms, z. B. den Phosphor, jeder Punkt des Bildes eine genau definierte Position und Zeit. Das Auslesen jeder Kamera wird unter Verwendung der Rahmenerfassungsmittel (frame grabber) **10** erledigt. Jedes Bild kann on-line in Echtzeit unter Verwendung des Computers **14** mit einer Rate von 50 Bildern pro Sekunde analysiert werden. Eine Positionsauflösung von 100 Mikrometern (auf dem Schirm) und eine Zeitauflösung von 100 Pikosekunden kann mit der existierenden Technologie erhalten werden.

[0020] Das Verfahren zum Erzeugen eines dreidimensionalen Bildes gemäß der vorliegenden Erfindung wird nun genauer und unter Bezugnahme auf die **Fig.** 2 und 3 beschrieben. Es sollte jedoch realisiert werden, dass dasselbe wesentliche Verfahren angewandt werden kann, wenn die Vorrichtung **18** nicht verwendet wird und die Zeitabhängigkeit der eingehenden Strahlung bekannt ist. Es wird angenommen, dass zwei Teilchen (Photonen) #1 und #2 die Oberfläche des Converters **20** mit einer Zeitdifferenz Δt treffen. Nach der Elektronenkonversion und – verstärkung durch den Vervielfacher **24** sind zwei Lichtflecke auf dem Schirm **26** sichtbar. Wenn die Abklingzeit des elektrolumineszenten Materials gegeben ist durch τ, kann die Zeitabhängigkeit der Intensität für jedes Teilchen in jeder Kamera **6** und **8** gezeichnet werden, wie in der **Fig.** 3 zu sehen ist.

[0021] In jedem Bildelement der Kamera sind die integrierten Intensitäten P_0 und P'_0 für das erste bzw. zweite Teilchen in der nicht mit der Torsteuerung versehenen Kamera **6**, und P_1 bzw. P'_1 in der mit der Torsteuerung versehenen Kamera **8**. Die Durchschaltzeit ist t_0. Anhand eines Studiums der Figur ist zu sehen, dass aus dem Verhältnis P_1 und P_0 die Durchschaltzeit erhalten werden kann, während die Zeitdifferenz zwischen den zwei Teilchen auf das Verhältnis zwischen P'_1 und P'_0 bezogen ist. Genauer werden zur Vereinfachung, unter der Annahme einer exponentiellen Abklingzeit für das Licht, das von dem elektrolumineszenten Material emittiert wird, die folgenden Gleichungen erhalten:

$$P_0 = I_0 \int_0^\infty e^{-t/\tau} dt = I_0 \tau \qquad (1)$$

$P_0' = I_1 \int_{\Delta t}^{\infty} e^{-(t-\Delta t)/\tau} dt = I_1 \tau$ (2)

$$P_1 = I_0 \int_0^{t_0} e^{-t/\tau} dt = I_0 \tau \left[1 - e^{-t_0/\tau}\right] \quad (3)$$

$$P_1' = I_1 \int_{\Delta t}^{t_0} e^{-(t-\Delta t)/\tau} dt = I_1 \tau \left[1 - e^{-(t_0-\Delta t)/\tau}\right] \quad (4)$$

wobei I_0 und I_1 die Spitzenintensität des Lichts für die ersten bzw. zweiten Teilchen sind.
[0022] Wenn Ω definiert ist als:

$$\Omega = \frac{P_1}{P_0} = 1 - e^{-t_0/\tau} \quad (5)$$

kann die Durchschaltzeit aus dem Verhältnis der Intensitäten extrahiert werden

$t_0 = -\tau 1n(1 - \Omega)$ (6)

[0023] Daher ist das Verhältnis zwischen P'_1 und P'_0 definiert als:

$$\Omega' = \frac{P_1'}{P_0'} = 1 - e^{-(t_0-\Delta t)/\tau} \quad (7)$$

[0024] Die Zeitdifferenz Δt zwischen den zwei Ereignissen kann von dieser letzten Gleichung hergeleitet werden:

$$\Delta t = \tau \ln\left(\frac{1 - \Omega'}{1 - \Omega}\right) \quad (8)$$

[0025] Eine Simulation des Abklingprozesses des elektrolumineszenten Materials und die Verwendung der obigen Gleichungen zeigen, dass eine Auflösung von ungefähr 100 Pikosekunden erzielbar ist, wenn das Intensitätsverhältnis für jedes Bildelement mit einer Genauigkeit von 5% gemessen werden kann. Wenn die Bildelementintensität unter Verwendung von z. B. einem Analog-in-Digital-Converter (ADC) mit nur 8 Bits analysiert wird, kann eine Genauigkeit von 0,5% leicht erreicht werden.
[0026] Die Vorrichtung, die oben beschrieben wurde, kann mit z. B. einem Blitzlicht (wie schnellen UV-Lampen) verwendet werden, um ein schnelles vollständiges 3-D Bild zu erhalten. Eine Blitzlichtlampe könnte z. B. einen Raum mit einem kurzen Impuls beleuchten. Das reflektierte Licht von den Gegenständen in dem Raum wird das System **2** erreichen. Wegen der endlichen Geschwindigkeit von Licht werden jedoch Photonen von Gegenständen, die in größeren Abständen sind, die Kamera später erreichen als jene, die aus kürzeren Abständen kommen. Da die vorgeschlagene Vorrichtung die Ankunftszeit in jedem Bildelement der Kamera messen kann, wird nicht nur das 2-D Bild aufgenommen (mit großer Empfindlichkeit), sondern es kann auch der Abstand jedes Punktes berechnet werden. Die Abstandsauflösung ist in der Größenordnung von wenigen Zentimetern und ist unabhängig von dem Abstand, an dem sich die Gegenstände befinden. Ähnlich kann das System die Geschwindigkeit von sich schnell bewegenden Gegenständen in einem einzigen Bild messen.
[0027] Es ist für Fachleute offensichtlich, dass die Erfindung nicht auf die Einzelheiten der vorstehend dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt ist, und dass die vorliegende Erfindung in anderen spezifischen Formen ausgeführt werden kann, ohne von ihrem Umfang abzuweichen. Die vorliegenden Ausführungsbeispiele werden daher in jeglicher Hinsicht als illustrativ und nicht beschränkend erachtet, wobei der Umfang der Erfindung durch die angefügten Ansprüche definiert ist.

Patentansprüche

1. System zum dreidimensionalen Abbilden, das einschließt eine erste Kamera (**6**) mit einer ersten optischen Achse;
eine zweite Kamera (**8**) mit einer zweiten, zu der genannten ersten optischen Achse parallelen optischen Achse, wobei erste und zweite Kamera ein gemeinsames Sichtfeld erfassen;

eine Erfassungsvorrichtung (**12**), die zwischen dem genannten gemeinsamen Erfassungsbereich und allein der genannten zweiten Kamera (**8**) angeordnet ist;
ein Ramenerfassungsmittel (**10**), das mit der genannten ersten Kamera (**6**) und der genannten zweiten Kamera (**8**) verbunden ist und
einen Rechner (**16**), der von der genannten ersten Kamera (**6**) und von der genannten zweiten Kamera (**8**) ausgehende Signale aufnimmt, wobei die genannten von der genannten ersten Kamera (**6**) ausgehenden Signale, Bildelement für Bildelement, die Lichtintensitäten einer Abbildung mit einer bekannten Zeitveränderungscharakteristik repräsentieren, wobei die genannten, von der genannten zweiten Kamera (**8**) ausgehenden Signale, Bildelement für Bildelement, die gleichen Bildintensitäten, die von der genannten zweiten Kamera aufgenommen werden, solange repräsentieren bis die Erfassungsvorrichtung (**12**) geschlossen wird und wobei der Rechner (**16**), Bildelement für Bildelement, Signale bestimmt, die ein dreidimensionales Bild dadurch repräsentieren, dass Signale, die Sichtintensitäten der ersten Kamera repräsentieren durch Signale, die Lichtintensitäten der zweiten Kamera repräsentieren, dividiert werden in Übereinstimmung mit der bekannten Zeitänderungscharakteristik und der Erfassungszeit.

2. System wie in Anspruch 1 beansprucht, bei dem das genannte Sichtfeld durch aufgenommennes oder reflektiertes, von einer Lichtquelle (**14**) ausgestrahltem Licht gebildet wird.

3. System wie in Anspruch 1 beansprucht, bei dem das genannte LSchtfeld durch zweidimensionale Abbildungen gebildet wird, die auf einem elektrolumineszierenden Bildschirm (**26**) dargestellt werden.

4. System wie in Anspruch 1 beansprucht, das weiter eine strahlungsumkehrende und -verstärkende Einheit (**18**) einschließt, die zwischen dem genannten System und dem genannten Sichtfeld angeordnet ist.

5. System wie in Anspruch 4 bansrucht, bei dem die genannte Einheit (**18**) eine erste, dem Feld der ankommenden Strahlung zugekehrte erste Schicht aufweist, die einen Strahlungsumwandler (**20**) bildet sowie eine zweite, eine elektronische Multipliziereinheit (**24**) bildende Fläche und eine einen elektrolumineszierenden Bildschirm (**26**) bildende dritte Schicht aufweist.

6. System wie in Anspruch 5 beansprucht, das weiter Mittel (**22**) zum Beschleunigen der Elektronen von Schicht zu Schicht einschließt.

7. System wie in Anspruch 1 beansprucht, bei dem die Erfassungsvorrichtung (**12**) ein optisches Tor ist.

8. Verfahren zum Erzeugen einer dreidimensionalen Abbildung, das einschließt
das Empfangen von von einer ersten Kamera (**6**) kommenden Signalen in deren Anordnung um eine erste optische Achse, wobei die von der ersten Kamera (**6**) kommenden Signale, Bildelement für Bildelement, Intensitäten einer Abbildung mit einer bekannten Zeitveränderungscharakteristik repäsentieren,
das Empfangen von von einer zweiten Kamera kommenden Signalen in deren Anordnung um eine zweite, zu der ersten optischen Achse parallelen optischen Achse, wobei die von der zweiten Kamera (**8**) kommenden Signale, Bildelement für Bildelement, Lichtintensitäten der Abbildung repräsentieren,
wobei
die erste Kamera (**6**) und die zweite Kamera (**8**) ein gemeinsames Sichtfeld erfassen und
das Verfahren weiter einschließt
eine Empfangseinheit (**12**), die zwischen der zweiten Kamera und dem gemeinsamen Sichtfeld angeordnet ist,
das Schließen der Empfangseinheit (**12**) und das Notieren der Emfpangszeit und
das Bestimmen, Bildelement für Bildelement, von Signalen, die eine dreidimensionale Abbildung repräsentieren durch Teilen von Signalen, die die Lichtintensitäten der ersten Kamera (**6**) repräsentieren, durch Signale die die Lichtintensitäten der zweiten Kamera (**8**) repräsentieren, bis die Empfangseinheit (**12**) in Übereinstimmung mit bekannten Zeitveränderungscharakteristiken und der Empfangszeit geschlossen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Abbildung auf einem elektrolumineszierenden Bildschirm (**26**) wiedergegeben wird, der eine bekannte Verfallszeitdauer hat.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem der Verfahrensschritt der Bestimmung einer dreidimensionalen Abbildung durch Verwendung einer Verfallsbestimmungskurve für das elektrolumineszierende Material des genannten Bildschirmes (**26**) ausgeführt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Abbildung entweder durch ankommende Strahlung oder eine reflektierte Strahlung, die von einer gepulsten Lichtquelle (**14**) mit bekannter Zeitabhängigkeit herrührt, gebildet

wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

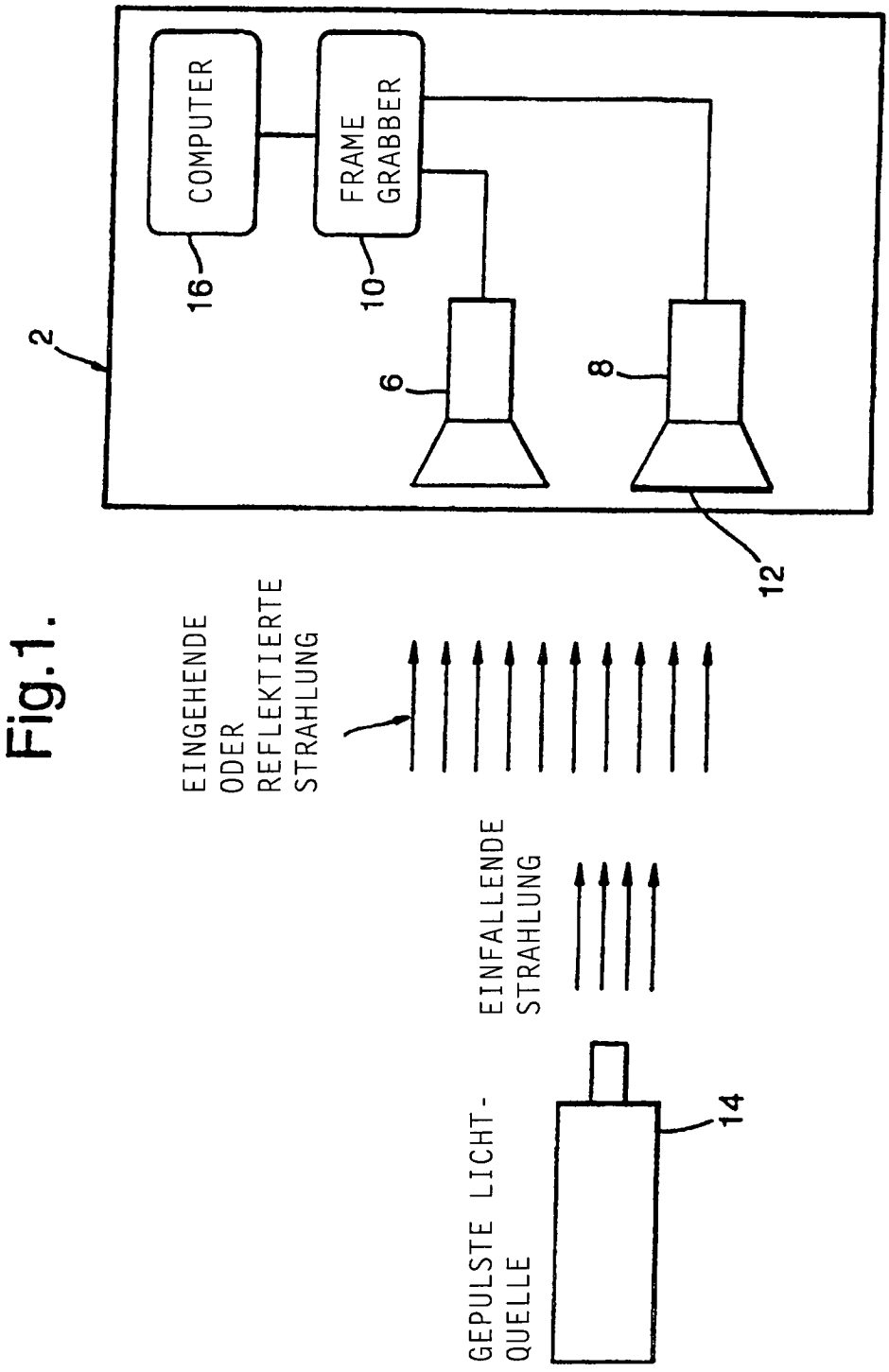


Fig.1.

Fig.2.

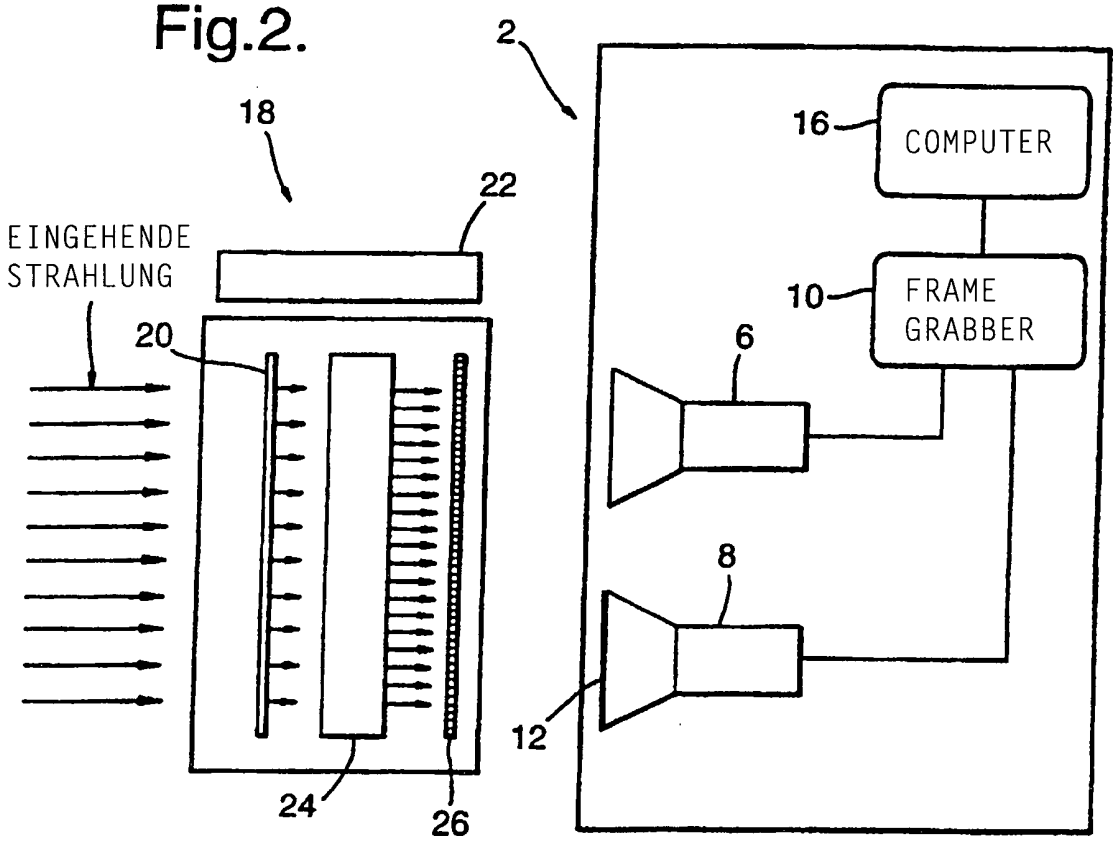
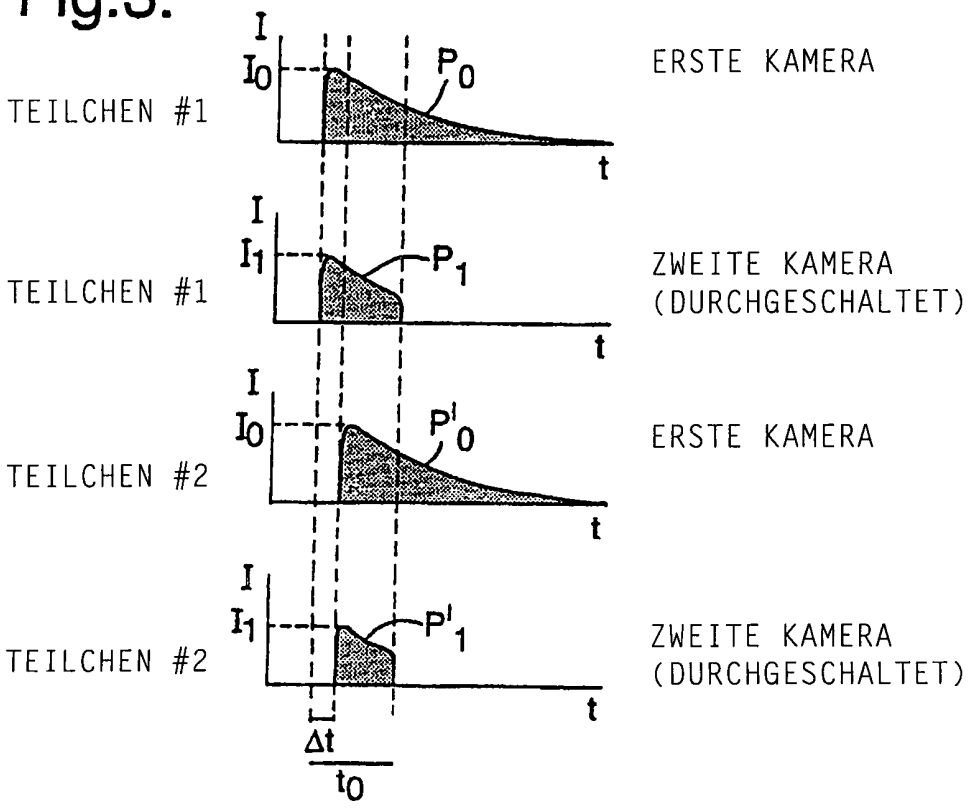

2
18
16
COMPUTER
22
EINGEHENDE
STRAHLUNG
10
FRAME
GRABBER
20
6
8
12
24
26

Fig.3.


I
I_0
P_0
t
TEILCHEN #1
ERSTE KAMERA
I
I_1
P_1
t
TEILCHEN #1
ZWEITE KAMERA
(DURCHGESCHALTET)
I
I_0
P'_0
t
TEILCHEN #2
ERSTE KAMERA
I
I_1
P'_1
t
TEILCHEN #2
ZWEITE KAMERA
(DURCHGESCHALTET)
Δt
t_0