



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 197 36 995 B4** 2009.05.07

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **197 36 995.2**
 (22) Anmeldetag: **26.08.1997**
 (43) Offenlegungstag: **04.03.1999**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **07.05.2009**

(51) Int Cl.⁸: **A61B 3/113** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
 angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

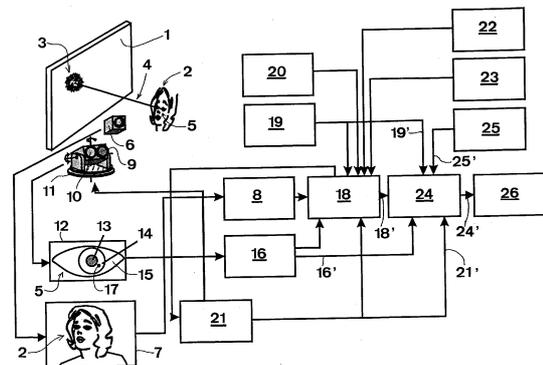
(74) Vertreter:
**RACKETTE Partnerschaft Patentanwälte, 79098
 Freiburg**

(72) Erfinder:
Liu, Jin, Dr.-Ing., 12357 Berlin, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 197 31 303 A1
EP 02 40 336 B1
US 45 82 403 A
EP 06 31 222 A1
**Faber, J.; Ihlenburg, L.; Meiers, T.; Ruschin, D.: "Fe-
 rnseh-Bildgüte bei dynamischem Blickverhalten",
 Ab-
 schlussbericht, 31.12.1995; Lida M., Tomono A.:
 "G-
 aze Point Detection System Allowing Head
 Motion",
 Systems and Computers, Vol.23, No.6, 1992;**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zum Bestimmen eines Fixationspunktes**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zum Bestimmen eines Fixationspunktes (3) eines anthropomorph aufgebauten Auges (5) beim Betrachten eines Gegenstandes (1) mit einer Augenreferenzpunktdetektionseinrichtung, mit der das Auge (5) innerhalb eines vorbestimmten Raumbereiches abbildbar ist, mit einem als Flächendetektor ausgebildeten Augenreferenzpunktdetektor (6), mit dem ein zu dem Auge (5) in fester räumlicher Beziehung stehender Augenreferenzpunkt (49) detektierbar ist, mit einer Blickrichtungsdetektionseinrichtung, mit der eine Blickrichtung des Auges als Blickrichtungsfunktion bestimmbar ist, wobei die Blickrichtungsdetektionseinrichtung über einen als Flächendetektor ausgebildeten Blickrichtungsdetektor (9) verfügt, der mit einem in zwei überlagerbaren Richtungen schwenkbaren und neigbaren Schwenk/Neigelement (11) auf das Auge (5) ausrichtbar ist und mit dem wenigstens die Pupille (13) sowie die unmittelbare Pupillenumgebung (14, 15) abbildbar ist, und wobei das Schwenk/Neigelement (11) von einer mit Steuersignalen aus der Augenreferenzpunktdetektionseinrichtung speisbaren und nachführbaren Nachführeinheit (21) so einstellbar ist, daß bei Bewegungen des Auges (5) im Raum der Blickrichtungsdetektor (9) auf das Auge (5) ausgerichtet bleibt, und mit einer...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Bestimmen eines Fixationspunktes eines anthropomorph aufgebauten Auges beim Betrachten eines Gegenstandes mit einer Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung, mit der das Auge innerhalb eines vorbestimmten Raumbereiches abbildbar ist, mit einem als Flächendetektor ausgebildeten Augenreferenzpunktsdetektor, mit dem ein zu dem Auge in fester räumlicher Beziehung stehender Augenreferenzpunkt detektierbar ist, mit einer Blickrichtungsdetektionseinrichtung, mit der eine Blickrichtung des Auges als Blickrichtungsfunktion bestimmbar ist, wobei die Blickrichtungsdetektionseinrichtung über einen als Flächendetektor ausgebildeten Blickrichtungsdetektor verfügt, der mit einem in zwei überlagerbaren Richtungen schwenkbaren und neigbaren Schwenk/Neigeelement auf das Auge ausrichtbar ist und mit dem wenigstens die Pupille sowie die unmittelbare Pupillenumgebung abbildbar ist, und wobei das Schwenk/Neigeelement von einer mit Steuersignalen aus der Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung speisbaren und nachführbaren Nachführeinheit so einstellbar ist, daß bei Bewegungen des Auges im Raum der Blickrichtungsdetektor auf das Auge ausgerichtet bleibt, und mit einer Recheneinrichtung, mit der aus der Blickrichtungsfunktion der Fixationspunkt des Auges bestimmbar ist.

[0002] Eine derartige Vorrichtung ist aus der EP 0 240 336 B1 bekannt. Die vorbekannte Vorrichtung verfügt über eine Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung, mit der ein anthropomorph aufgebautes Auge innerhalb eines vorbestimmten Raumbereiches abbildbar ist. Weiter ist ein als Flächendetektor ausgebildeter Augenreferenzpunktsdetektor vorhanden, mit dem ein zu dem Auge in fester räumlicher Beziehung stehender, in diesem Fall durch die Pupille des betreffenden Auges gebildeter Augenreferenzpunkt detektierbar ist. Die vorbekannte Vorrichtung ist weiterhin mit einer Blickrichtungsdetektionseinrichtung ausgestattet, die über einen als Flächendetektor ausgebildeten Blickrichtungsdetektor verfügt. Der Blickrichtungsdetektor ist mit einem in zwei überlagerbaren Richtungen schwenkbaren und neigbaren Schwenk/Neigeelement, an dem ein Spiegel angebracht ist, in zwei überlagerbaren Richtungen schwenkbar und neigbar auf das Auge ausrichtbar und dient zum Abbilden wenigstens der Pupille sowie der unmittelbaren Pupillenumgebung. Das Schwenk/Neigeelement ist mit einer mit Steuersignalen aus der Augenreferenzpunktsdetektionseinheit speisbaren und nachführbaren Nachführeinheit so einstellbar, dass bei Bewegungen des Auges im Raum der Blickrichtungsdetektor auf das Auge ausgerichtet bleibt. Schließlich ist die vorbekannte Vorrichtung mit einer Recheneinrichtung ausgestattet, mit der aus der Blickrichtungsfunktion der Fixationspunkt des Auges bestimmbar ist.

[0003] Zwar sind mit der vorbekannten gattungsgemäßen Vorrichtung Fixationspunkte zum Analysieren des Sehverhaltens von Versuchspersonen bezüglich dargebotener bewegter Werbeszenen bestimmbar, allerdings ist die Genauigkeit auf Grund der alleinigen Berücksichtigung der Blickrichtungsfunktion für einige Anwendungen wie beispielsweise der Computersteuerung nicht in allen Fällen ausreichend.

[0004] Eine weitere Vorrichtung zum Bestimmen eines Fixationspunktes ist aus dem Abschlußbericht zu dem von dem Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 01BK203/8 geförderten Projekt "Fernseh-Bildgüte bei dynamischem Blickverhalten", „Anhang 2“, bekannt. Bei der vorbekannten Vorrichtung ist als Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung ein raumfest angeordneter Kopfstellungssender und ein beispielsweise an einem brillenartigen Gestell an einem Kopf eines Anwenders angebrachten Kopfstellungsdetektor vorgesehen. Weiterhin verfügt die Vorrichtung über eine Recheneinrichtung, mit der die Relativlage des Kopfstellungsdetektors in bezug auf den Kopfstellungssender in Raumkoordinaten, nämlich der Abstand und die Verdrehung des Kopfstellungsdetektors zu dem Kopfstellungssender, berechenbar ist.

[0005] Weiterhin weist die letztgenannte vorbekannte Vorrichtung eine Blickrichtungsdetektionseinrichtung auf, die ebenfalls an dem Gestell angebracht und zum Erfassen einer Blickrichtungsfunktion eines Auges, dessen Fixationspunkt auf einem Bildschirm zu erfassen ist, eingerichtet ist. Dabei wird die Blickrichtungsfunktion mit Hilfe eines Kalibrierverfahrens aus der bekannten Tatsache gewonnen, daß die mittels zweier Meßwerte erfaßte Augenstellung eindeutig einer Blickrichtungsfunktion zugeordnet werden kann. Weiterhin wird bei der vorbekannten Vorrichtung beispielsweise durch Abschätzung ein Translationsvektor zwischen dem Kopfstellungsdetektor und einem Augenreferenzpunkt, beispielsweise dem Pupillenmittelpunkt oder dem Augenmittelpunkt, ermittelt.

[0006] Zum Bestimmen des Fixationspunktes auf dem Bildschirm wird mittels der Recheneinrichtung verhältnismäßig rechenaufwendig die Blickrichtungsfunktion skaliert, um den Translationsvektor verschoben, mit einer die Verdrehung des Kopfes gegenüber dem Kopfstellungssender repräsentierenden Drehmatrix multipliziert und um den Abstandsvektor zwischen dem Kopfstellungssender und dem Kopfstellungsdetektor korrigiert. Zur Berechnung des Skalierungsfaktors wird die die Kopfverdrehung repräsentierende Drehmatrix zum

einen mit dem Translationsvektor zwischen dem Kopfstellungsdetektor und dem Augenreferenzpunkt und zum anderen mit der vektoriellen Blickrichtungsfunktion mit nachfolgender Quotientenbildung multipliziert und die beiden Multiplikationsergebnisse miteinander dividiert.

[0007] Aus dem Artikel "Gaze Point Detection System Allowing Head Motion" von M. Iida und A. Tomono in Systems and Computers in Japan, Vol. 23, No. 6, 1992 ist eine ähnlich aufgebaute Vorrichtung mit einem an einem Kopf anzubringenden Gestell bekannt, an dem ein Kopfstellungssender zugeordneter Kopfstellungsdetektor, eine Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung und eine Blickrichtungsdetektionseinrichtung angebracht sind.

[0008] Aus der US-A-4,582,403 ist eine Vorrichtung bekannt, mit der durch Erfassen eines Referenzpunktes mittels einer Referenzpunktserfassungseinrichtung Kopfbewegungen beim Bestimmen eines Fixationspunktes ausgleichbar sind. Bei Ausgestaltungen dieser Vorrichtung ist zum einen in für einen Anwender wenig komfortabler Weise ein brillenartiges Gestell vorgesehen, das einen Referenzpunktsdetektor zum Erfassen eines Referenzpunktes auf einem Bildschirm sowie eine Blickrichtungsdetektionseinrichtung trägt. Bei einer anderen Ausgestaltung ist vorgesehen, den zu beobachtenden Referenzpunkt beispielsweise auf der Stirn eines Anwenders durch einen im infraroten Spektralbereich hochreflektiven Beschichtungspunkt auszugestalten. Allerdings besteht hier die Gefahr, daß sich der Beschichtungspunkt ablöst und die Vorrichtung vollkommen neu kalibriert werden muß.

[0009] Eine weitere Vorrichtung zum Bestimmen eines Fixationspunktes eines anthropomorph aufgebauten Auges beim Betrachten eines Gegenstandes ist aus der nachveröffentlichten DE 197 31 303 A1 bekannt, die die Merkmale der oben genannten vorbekannten Vorrichtung aufweist und bei der Verschiebungen oder Verdrehungen des Kopfes relativ zu dem Augenreferenzpunktsdetektor oder auch Pupillendurchmesseränderungen über einen Soll/Istwertvergleich an Referenzpunkten des Gegenstandes durch dynamische Rekalibrierung berücksichtigbar sind. Dies führt jedoch zu einer gewissen Einschränkung bezüglich der zeitlichen Auflösung beim Bestimmen von Fixationspunkten.

[0010] Aus EP 0 631 222 A1 ist eine Vorrichtung zum Bestimmen eines Fixationspunktes bekannt, bei der ein Bildschirm, Mittel zum Berechnen einer Zentralposition auf einer Pupille eines Nutzers, der auf den Bildschirm blickt, und Mittel zum Detektieren von Veränderungen im Bereich der Pupille des Nutzers vorhanden sind. Weiterhin weist diese vorbekannte Vorrichtung Mittel zum Abschätzen des Fixationspunktes des Benutzers auf dem Bildschirm auf, die auf berechnete Daten zurückgreifen, die durch die Berechnungsmittel und Kalibrierungsdaten erhalten worden sind. Schließlich sind Mittel zum Verändern der Helligkeit des abgeschätzten Fixierpunktes vorhanden, wobei eine aktuelle Zentralposition der Pupille und ein abgeschätzter Fixierpunkt in den Abschätzmitteln aufgenommen werden, um als Kalibrierdaten zu dienen, um einen Fixationspunkt des Benutzers in Abhängigkeit einer detektierten Veränderung in dem Bereich der Pupille des Benutzers durch die Detektionsmittel und einer detektierten Veränderung in der Zentralposition der Pupille durch die Berechnungsmittel nach einem Wechsel in der Helligkeit abzuschätzen.

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, die schnell und präzise die Erfassung eines Fixationspunktes auf einem betrachteten Gegenstand gestattet.

[0012] Diese Aufgabe wird bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass mit der Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung die räumlichen Koordinaten des Augenreferenzpunktes als Augenreferenzpunktskoordinatenwerte bestimmbar sind und daß eine Kompensationseinheit vorhanden ist, der dem Gegenstand zugeordnete Gegenstandskoordinatenwerte, dem Blickrichtungsdetektor zugeordnete Blickrichtungsdetektorkoordinatenwerte, der Blickrichtungsfunktion in einem Blickrichtungskoordinatensystem zugeordnete Blickrichtungswerte, der Ausrichtung des Blickrichtungsdetektors zugeordnete Ausrichtwerte sowie die Augenreferenzpunktskoordinatenwerte einspeisbar sind, wobei die Kompensationseinheit über ein Rotationskompensationsglied, mit dem die Blickrichtungsfunktion in ihren Blickrichtungswerten um die Ausrichtwerte korrigierbar ist, über ein Skalierungsmitglied, mit dem die Größe der drehkorrigierten Blickrichtungswerte bei Anblick des Gegenstandes berechenbar ist, und über ein Translationskompensationsglied verfügt, mit dem der Versatz des Augenreferenzpunktes gegenüber dem Ursprung eines Gegenstandskoordinaatensystemes korrigierbar ist.

[0013] Dadurch, daß zum Bestimmen des Fixationspunktes mittels der Kompensationseinheit alle Kopfbewegungen durch Verrechnung der der Kompensationseinheit eingespeisten, durch den Augenreferenzpunktsdetektor und den Blickrichtungsdetektor sowie das Schwenk/Neigeelement gewonnenen Daten über Rotations-, Skalierungs- und Translationsrechen Schritte berücksichtigt werden, ist eine kontinuierliche und durch die rech-

nerischen Koordinatentransformationen schnelle sowie genaue Bestimmung der Fixationspunkte erzielt.

[0014] Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung. Es zeigen:

[0015] [Fig. 1](#) in einem Blockschaltbild ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei dem eine Augenreferenzpunktdetektionseinrichtung und eine Blickrichtungsdetektionseinrichtung jeweils mit einem Flächendetektor ausgestattet sind,

[0016] [Fig. 2](#) in einem Blockschaltbild den Aufbau einer Augenreferenzpunktbewegungskompensationseinheit der Vorrichtung gemäß [Fig. 1](#),

[0017] [Fig. 3](#) in einer schematischen Darstellung die bei der Vorrichtung gemäß [Fig. 1](#) verwendeten Koordinatensysteme,

[0018] [Fig. 4](#) in einer graphischen Darstellung einen Ausrichtvorgang einer Blickrichtungsdetektionseinrichtung des Ausführungsbeispiels gemäß [Fig. 1](#),

[0019] [Fig. 5](#) in einer graphischen Veranschaulichung die Funktionsweise von Teilschritten einer in der Augenreferenzpunktbewegungskompensationseinheit gemäß [Fig. 2](#) erfolgenden Kompensationsschritten und

[0020] [Fig. 6](#) in einem Blockschaltbild ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung gemäß der Erfindung, bei der die Augenreferenzpunktdetektionseinrichtung und die Blickrichtungsdetektionseinrichtung über einen gemeinsamen schwenkbar und neigbar gelagerten Flächendetektor verfügen.

[0021] [Fig. 1](#) zeigt in einem Blockschaltbild ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zum Bestimmen eines Fixationspunktes gemäß der Erfindung. Zum Bestimmen eines beispielsweise auf einem Bildschirm **1** eines Arbeitsplatzrechners als von einer Person **2** betrachteter Gegenstand gelegener Fixationspunkt **3**, wobei unter Fixationspunkt **3** der Punkt auf dem Bildschirm **1** zu verstehen ist, der von einer Blicklinie **4** eines Auges **5** der Person **2** getroffen wird, ist eine Augenreferenzpunktdetektionseinrichtung vorgesehen, die über einen Augenreferenzpunktdetektor **6** verfügt. Der Augenreferenzpunktdetektor **6** ist beispielsweise durch eine kurz-brennweitige Videokamera als Flächendetektor ausgeführt. Mit dem Augenreferenzpunktdetektor **6** ist innerhalb eines vorbestimmten Raumbereiches beispielsweise der Kopf-Schulter-Bereich der Person **2** erfassbar und in einem Kopfbildspeicher **7** als Bilddaten speicherbar. Der Kopfbildspeicher **7** ist an eine Flächenaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **8** der Augenreferenzpunktdetektionseinrichtung angeschlossen, mit der ein Augenreferenzpunkt aus den Bilddaten des Kopfbildspeichers **7** bestimmbar ist. Aus meßtechnischen Gründen ist als Augenreferenzpunkt vorzugsweise der Pupillenmittelpunkt vorgesehen.

[0022] Weiterhin verfügt die Vorrichtung gemäß [Fig. 1](#) über einen Blickrichtungsdetektor **9**, der beispielsweise durch eine langbrennweitige Videokamera als Flächendetektor gebildet und zusammen mit einer Beleuchtungseinheit **10** auf einer in zwei Raumrichtungen schwenkbaren und neigbaren Schwenk/Neigeplattform **11** als Schwenk/Neigeelement angebracht ist. Die Beleuchtungseinheit **10** ist beispielsweise als im nahen infraroten Spektralbereich bei beispielsweise etwa 880 Nanometer emittierendes Leuchtdiodenarray ausgebildet, dessen Ausgangsstrahlung in die gleiche Richtung wie ein Sichtbereich des Blickrichtungsdetektors **9** abgegeben wird. Der Blickrichtungsdetektor **9** ist mit einem Autofokusmodul ausgestattet, das eine scharfe Abbildung des Auges **5** auch bei Änderung des Abstandes zwischen dem Auge **5** und dem Blickrichtungsdetektor **9** gestattet. Der Blickrichtungsdetektor **9** ist auf das Auge **5** der Person **2** ausgerichtet, dessen Fixationspunkt **3** zu bestimmen ist. Dabei ist bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#) das Auge **5** mit der Pupille, der Hornhaut, üblicherweise auch Cornea genannt, und dem sichtbaren Teil des Glaskörpers erfassbar.

[0023] Der Blickrichtungsdetektor **9** ist an einen Augenbildspeicher **12** angeschlossen, in dem dessen Bilddaten speicherbar sind. In der Darstellung gemäß [Fig. 1](#) sind als abgespeicherte Bilddaten schematisch ein Bild des Auges **5** mit der Pupille **13** und die sie umgebende Regenbogenhaut **14**, der sogenannten Iris, mit dem sichtbaren Teil des Glaskörpers **15** als unmittelbare Pupillenumgebung dargestellt. Der Augenbildspeicher **12** ist an eine Flächenblickrichtungsbestimmungseinheit **16** der Blickrichtungsbestimmungseinrichtung angeschlossen, mit der beispielsweise nach der bekannten sogenannten "Cornea-Reflex-Methode", bei der aufgrund des monotonen Zusammenhanges zwischen einem durch Bestrahlung mit Ausgangslicht der Beleuchtungseinheit **10** auf der Hornhaut des Auges **5** erfaßten Reflexmittelpunktes **17** und dem Mittelpunkt der Pupille **13** als Meßwerte nach Durchführen eines Kalibriervorganges eine mit der Blickrichtung eineindeutig verknüpfte

Blickrichtungsfunktion berechenbar ist. Weiterhin sind mit der Flächenblickrichtungsbestimmungseinheit **16** in einem dem Blickrichtungsdetektor **9** zugeordneten Blickrichtungsdetektorkoordinatensystem die flächigen zweidimensionalen Koordinaten des Augenreferenzpunktes in der Detektorebene des Blickrichtungsdetektors **9** bestimmbar.

[0024] Die Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung der Vorrichtung gemäß [Fig. 1](#) weist eine an die Flächenaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **8** angeschlossene Raumaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** auf, die an die Flächenblickrichtungsbestimmungseinheit **16** angeschlossen und mit Augenreferenzpunktskoordinatenwerten in dem Blickrichtungskoordinatensystem beaufschlagbar ist. Weiterhin ist die Raumaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** mit Ursprungsraumkoordinaten als Blickrichtungsdetektorkoordinatenwerte aus einem Blickrichtungsdetektorkoordinatenspeicher **19** beaufschlagbar, die den Ursprung des Blickrichtungskoordinatensystemes repräsentieren.

[0025] Die Raumaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** ist mit Parameterdaten aus einem Blickrichtungsdetektorparameterspeicher **20** beaufschlagbar, die Abbildungseigenschaften des Blickrichtungsdetektors **9** zugeordnet sind. Schließlich ist die Raumaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** mit einem Schwenkwinkelwert und einem Neigungswinkelwert aus einer Nachführeinheit **21** der Blickrichtungsdetektionseinrichtung beaufschlagbar, mit denen über zugeordnete Stellsignale Verstellelemente der Schwenk/Neigeplattform **11** zum Ausrichten des Blickrichtungsdetektors **9** und der Beleuchtungseinheit **10** auf das Auge **5** der Person **2** ansteuerbar sind.

[0026] An die Raumaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** sind weiterhin ein Augenreferenzpunktsdetektorparameterspeicher **22** und ein Augenreferenzpunktsdetektorkoordinatenspeicher **23** angeschlossen, denen Geräteparameter des Augenreferenzpunktsdetektors **6** und Ursprungsraumkoordinatenwerte eines dem Augenreferenzpunktsdetektor **6** zugeordneten Augenreferenzpunktsdetektorkoordinatensystem zum Berechnen von Augenreferenzpunktskoordinatenwerten einspeisbar sind.

[0027] Mit der Raumaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** sind räumliche Augenreferenzpunktskoordinatenwerte sowohl in dem Blickrichtungskoordinatensystem als auch in einem dem Bildschirm **1** zugeordneten Displaykoordinatensystem berechenbar. Die Augenreferenzpunktskoordinatenwerte in dem Blickrichtungskoordinatensystem sind über eine Rückführung auf die Nachführeinheit **21** rückführbar und dienen zur Ermittlung von neuen Neigungswinkelwerten und neuen Schwenkwinkelwerten zum nachführenden Ausrichten des Blickrichtungsdetektors **9** auf das Auge **5**.

[0028] Augenreferenzpunktskoordinatenwerte in dem Displaykoordinatensystem sind über eine Raumaugenreferenzpunktsleitung **18'** einer an die Raumaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** angeschlossenen Augenreferenzpunktsbewegungskompensationseinheit **24** einer Recheneinheit einspeisbar, die weiterhin über eine Blickrichtungsleitung **16'** an die Flächenblickrichtungsbestimmungseinheit **16**, über eine Blickrichtungsdetektorkoordinatenleitung **19'** an den Blickrichtungsdetektorkoordinatenspeicher **19**, über eine Nachführeinheit **21'** an die Nachführeinheit **21** sowie über eine Bildschirmkoordinatenleitung **25'** an einen Bildschirmkoordinatenspeicher **25** angeschlossen ist. Mittels der Flächenblickrichtungsbestimmungseinheit **16** sind der Augenreferenzpunktsbewegungskompensationseinheit **24** Blickrichtungsfunktionswerte in dem Blickrichtungskoordinatensystem einspeisbar. Von der Nachführeinheit **21** sind der Augenreferenzpunktsbewegungskompensationseinheit **24** die Schwenkwinkelwerte und Neigungswinkelwerte des Blickrichtungsdetektors **9** zuführbar.

[0029] Schließlich sind der Augenreferenzpunktsbewegungskompensationseinheit **24** die Ursprungsraumkoordinatenwerte für den Blickrichtungssensor **9** im zugeordneten Blickrichtungskoordinatensystem aus dem Blickrichtungsdetektorkoordinatenspeicher **19** und die räumlichen Koordinatenwerte des Bildschirms **1** als Gegenstandsraumkoordinatenwerte aus dem Bildschirmkoordinatenspeicher **25** einspeisbar. Wie weiter unten näher erläutert ist, sind mit der Augenreferenzpunktsbewegungskompensationseinheit **24** unter Kompensation von beispielsweise durch Kopfdrehungen und/oder Kopfverschiebungen hervorgerufenen räumlichen Änderungen des Augenreferenzpunktes die Blickrichtungsfunktionswerte in dem Blickrichtungskoordinatensystem in Fixationspunktskoordinatenwerte des Fixationspunktes **3** in dem Displaykoordinatensystem transformierbar und einer der Augenreferenzpunktskompensationseinheit **24** nachgeordneten Fixationspunktskoordinatenauswerteeinheit **26** über eine Fixationspunktsleitung **24'** einspeisbar. Mittels der Fixationspunktskoordinatenauswerteeinheit **26** sind beispielsweise Schaltfunktionen zur Steuerung des den Bildschirm **1** aufweisenden Arbeitsplatzrechners auslösbar, wenn der Fixationspunkt **3** in bestimmte Schaltfunktionen symbolisch darstellende Fensterbereiche fällt und dort über eine gewisse Zeit verbleibt.

[0030] [Fig. 2](#) zeigt in einem Blockschaltbild die Augenreferenzpunktsbewegungskompensationseinheit **24** gemäß [Fig. 1](#), die über ein Rotationskompensationsglied **27**, ein Skalierungsglied **28** und ein Translationskompensationsglied **29** verfügt. Das Rotationskompensationsglied **27** ist an die Blickrichtungsleitung **16'**, die Nachführwerteleitung **21'** und die Bildschirmkoordinatenleitung **25'** angeschlossen. Mit dem Rotationskompensationsglied **27** sind die Blickrichtungsfunktionswerte mittels einer Rotationsmatrix, die den Neigungswinkelwert und den Schwenkwinkelwert des Blickrichtungsdetektors **9** sowie räumliche Koordinatenwerte des Bildschirms **1** als Gegenstandskoordinatenwerte enthält, in ein bewegliches kopffestes Kopfkoordinatensystem transformierbar.

[0031] Das dem Rotationskompensationsglied **27** nachgeordnete Skalierungsglied **28** ist an die Raugaugenreferenzpunktsleitung **18'**, die Blickrichtungsdetektorkoordinatenleitung **19'** und die Bildschirmkoordinatenleitung **25'** angeschlossen. Mit dem Skalierungsglied **28** sind die Blickrichtungsfunktionswerte in dem Kopfkoordinatensystem unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Abbildung der Blickrichtungsfunktion auf den Blickrichtungsdetektor **9** proportional zu dem Abstand zwischen dem Auge **5** und dem Blickrichtungsdetektor **9** und die Abbildung auf dem Bildschirm **1** proportional zu dem Abstand zwischen dem Auge **5** und dem Bildschirm **1** ist, mit einem Skalierungsfaktor zum Bestimmen der Abbildungsgröße der Blickrichtungsfunktionswerte auf dem Bildschirm **1** multiplizierbar.

[0032] Das dem Skalierungsglied **28** nachgeordnete Translationskompensationsglied **29** ist schließlich an die Raugaugenreferenzpunktsleitung **18'** sowie die Bildschirmkoordinatenleitung **25'** angeschlossen und zum Verschieben des Koordinatenursprunges des Kopfkoordinatensystemes zu dem Ursprung des Displaykoordinatensystemes eingerichtet. Die somit bestimmten Fixationspunktskoordinaten in dem Displaykoordinatensystem sind über die Fixationspunktsleitung **24'** der Fixationspunktskoordinatenauswerteeinheit **26** gemäß [Fig. 1](#) einspeisbar.

[0033] [Fig. 3](#) zeigt in einer schematischen Darstellung die bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung relevanten Koordinatensysteme. Ein dem Bildschirm **1** zugeordnetes Displaykoordinatensystem **30** hat seinen Ursprung beispielsweise in der Darstellung gemäß [Fig. 3](#) in der linken oberen Ecke des Bildschirms **1**. Ist der Bildschirm **1** raumfest angeordnet, ist es zweckmäßig, das Displaykoordinatensystem **30** als Weltkoordinatensystem zu wählen. Die von der Blicklinie **4** beaufschlagte Displayoberfläche **31** liegt in der durch die x_D -Achse **32** und die y_D -Achse **33** des Displaykoordinatensystems **30** aufgespannten x_D - y_D -Ebene. Eine z_D -Achse **34** des Displaykoordinatensystemes **30** ist in Richtung des Auges **5** gerichtet. Mit dem so gewählten Displaykoordinatensystem **30** hat ein Fixationspunkt **3** auf der Displayoberfläche **31** die Koordinaten $d_D = (d_{DX}, d_{DY}, 0)$.

[0034] Dem Augenreferenzpunktsdetektor **6** ist ein Augenreferenzpunktskoordinatensystem **35** zugeordnet, dessen x_P -Achse **36** und y_P -Achse **37** in der Detektorebene des Augenreferenzpunktsdetektors **6** liegen. Die z_P -Achse **38** des Augenreferenzpunktskoordinatensystemes **35** steht rechtwinklig auf der x_P -Achse **36** und der y_P -Achse **37**.

[0035] Dem Blickrichtungsdetektor **9** ist ein Blickrichtungskoordinatensystem **39** zugeordnet, dessen x_B -Achse **40** sowie y_B -Achse **41** in der Detektorebene des Blickrichtungsdetektors **9** liegen und dessen z_B -Achse **42** in Richtung des aus meßtechnischen Gründen durch vorzugsweise aus dem Pupillenmittelpunkt, im Hinblick auf die Genauigkeit jedoch idealerweise durch den Augenmittelpunkt gebildeten Augenreferenzpunktes ausgerichtet ist.

[0036] Der Ursprung des Augenreferenzpunktskoordinatensystemes **35** in Koordinaten des Displaykoordinatensystemes **30** liegt in dem Punkt $p_D = (p_{DX}, p_{DY}, p_{DZ})$. Der Ursprung des Blickrichtungskoordinatensystemes **39** in den Koordinaten des Displaykoordinatensystemes liegt in dem Punkt $b_D = (b_{DX}, b_{DY}, b_{DZ})$.

[0037] Das Blickrichtungskoordinatensystem **39** ist um eine Neigeachse **43** um einen Neigewinkel α und um eine Schwenkachse **44** um einen Schwenkwinkel β neigbar beziehungsweise schwenkbar gegenüber dem Displaykoordinatensystem **30** ausrichtbar.

[0038] Weiterhin wird ein bewegliches, kopffestes Kopfkoordinatensystem **45** eingeführt, dessen Ursprung im Augenreferenzpunkt liegt. Der Ursprung des Kopfkoordinatensystemes **45** hat im Displaykoordinatensystem **30** die Koordinaten $a_D = (a_{DX}, a_{DY}, a_{DZ})$. Eine durch eine x_K -Achse **46** und eine y_K -Achse **47** aufgespannte x_K - y_K -Ebene des Kopfkoordinatensystemes **45** ist parallel zu der durch die x_B -Achse **40** und die y_B -Achse **41** des Blickrichtungskoordinatensystemes **39** aufgespannte Detektorebene ausgerichtet, während eine z_K -Achse **48** des Kopfkoordinatensystemes **45** parallel zu der z_B -Achse **42** des Blickrichtungskoordinatensystemes **39** ausgerichtet ist.

[0039] **Fig. 4** zeigt in einem Schaubild eine Nachföhrbewegung des Blickrichtungsdetektors **9** bei Bewegen des Augenreferenzpunktes **49** mit den Koordinaten $a_B = (a_{BX}, a_{BY}, a_{BZ})$ im Blickrichtungskordinatensystem **39** nach Neigen um den Neigewinkel α und Schwenken um den Schwenkwinkel β zusammen mit den Verschiebestrecken a_{BX} , a_{BY} und a_{BZ} . Bei der Neigung um den Neigewinkel α wird die x_B -Achse so gedreht, daß die z_B -Achse auf der Strecke Oa_{vz} liegt. Bei der Schwenkbewegung um den Schwenkwinkel β wird das Blickrichtungskordinatensystem so um die y_B -Achse **41** gedreht, daß die z_B -Achse **41** auf der Strecke zwischen dem Ursprung O des Blickrichtungskordinatensystemes **39** und dem Augenreferenzpunkt **49** liegt. Dabei sind der Neigewinkel α durch die Gleichung

$$\alpha = -\arctan \frac{a_{BY}}{a_{BZ}} \quad (1)$$

und der Schwenkwinkel β durch die Gleichung

$$\beta = \arctan \frac{a_{BX}}{\sqrt{a_{BY}^2 + a_{BZ}^2}} \quad (2)$$

gegeben.

[0040] Zum Bestimmen der Koordinaten des Fixationspunktes **3** in dem Displaykordinatensystem **30** muß die in dem Blickrichtungskordinatensystem **39** gemessene Blickrichtungsfunktion $f_B(g) = (f_{BX}(g_{BX}, g_{BY}), f_{BY}(g_{BX}, g_{BY}), a_{BZ})$ nun in das Displaykordinatensystem **30** transformiert werden, wobei g_{BX} , g_{BY} für die die Blicklinie der Blickrichtungsfunktion $f_B(g)$ festlegenden Meßwerte stehen, f_{BX} und f_{BY} die Komponenten der Blickrichtungsfunktion in der durch die x_B -Achse **40** und die y_B -Achse aufgespannte x_B - y_B -Ebene **50** sind und a_{BZ} der Abstand zwischen dem Augenreferenzpunkt **49** und der x_B - y_B -Ebene **50** ist.

[0041] **Fig. 5** zeigt in einer schematischen Darstellung den Transformationsvorgang zum Transformieren der Blickrichtungsfunktion $f_B(g)$ von dem Blickrichtungskordinatensystem **39** in das Displaykordinatensystem des Bildschirmes **1**.

[0042] Zu Beginn dieser Transformation ist die durch die Blickrichtungsdetektionseinrichtung ermittelte Blickrichtungsfunktion $f_B(g)$ in ihren Komponenten f_{BX} , f_{BY} und dem über die Raumaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** ermittelbaren Abstand a_{BZ} , die mittels der Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung ermittelten Raumkoordinaten $a_D = (a_{DX}, a_{DY}, a_{DT})$ im Displaykordinatensystem **30** sowie der Neigewinkel α und Schwenkwinkel β des Blickrichtungsdetektors **9** gegeben.

[0043] Bei einem ersten Transformationsschritt wird das Blickrichtungskordinatensystem **39** zuerst um den Augenreferenzpunkt **49** um die Winkel $-\beta$, $-\alpha$ zurückrotiert, so daß die x_B - y_B -Ebene **50** des Blickrichtungsdetektors **9** und die in der Displayoberfläche **31** liegende, durch die x_D -Achse **32** und die y_D -Achse **33** des Displaykordinatensystemes **30** aufgespannte x_D - y_D -Ebene **50** parallel zueinander stehen. Diese Rotationstransformation wird mittels des Rotationskompensationsgliedes **27** der Augenreferenzpunktsbewegungskompensationseinheit **24** gemäß **Fig. 1** und **Fig. 2** durchgeführt.

[0044] Die resultierende Blickrichtungsfunktion $f'_B(g)$ hat nunmehr die Gestalt

$$f'_B(g) = (f'_{BX}, f'_{BY}, z'_B) = R \cdot f_B(g), \quad (3)$$

wobei R eine Rotationsmatrix und $f_B(g)$ die im Blickrichtungskordinatensystem **39** gemessene Blickrichtungsfunktion ist.

[0045] Bei Zusammenfallen des Displaykordinatensystemes **30** mit dem Weltkordinatensystem, beispielsweise bei einem feststehenden Bildschirm **1**, hat die Rotationsmatrix R folgende Form:

$$R = R(-\alpha) \cdot R(-\beta) = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ \sin\alpha \sin\beta & \cos\alpha & -\sin\alpha \cos\beta \\ -\cos\alpha \sin\beta & \sin\alpha & \cos\alpha \cos\beta \end{pmatrix}, \quad (4)$$

wobei die Winkel α und β den Winkel gemäß obiger Gleichung (1) und Gleichung (2) entsprechen.

[0046] Diese Transformation stellt sich als Überführen der x_B - y_B -Ebene **50** in die parallel zu der Displayober-

fläche **31** ausgerichteten x'_B - y'_B -Ebene **51** gemäß [Fig. 5](#) dar.

[0047] Dann wird in einem zweiten Transformationsschritt die Blickrichtungsfunktion $f'_B(\mathbf{g})$ mit einem Faktor

$$F = \frac{a_{DZ}}{z'_B} \quad (5)$$

mit a_{DZ} als dem Abstand zwischen dem Augenreferenzpunkt **49** und der Displayoberfläche **31** und z'_B als dem Abstand zwischen dem Augenreferenzpunkt **49** und der x'_B - y'_B -Ebene **51** gemäß [Fig. 5](#) skaliert. Die Größe z'_B berechnet sich gemäß

$$z'_B = (R \cdot f_B(\mathbf{g})), \quad (6)$$

so daß die Blickrichtungsfunktion auf der Bildschirmoberfläche **31** nunmehr die Größe

$$(f'_B)_{X,Y} = F(R \cdot f_B(\mathbf{g}))_{X,Y} \quad (7)$$

aufweist. Die Transformation gemäß Gleichung (7) wird mittels des Skalierungsgliedes **28** durchgeführt.

[0048] In einem dritten Transformationsschritt, der mit dem Translationskompensationsglied **29** durchführbar ist, wird der Ursprung des Kopfkoordinatensystemes **45** auf den Ursprung des Displaykoordinatensystemes **30** verschoben. Die Koordinaten des Fixationspunktes **3** in dem Displaykoordinatensystem **30** lauten somit

$$d_D = \begin{pmatrix} d_{DX} \\ d_{DY} \\ d_{DZ} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{DX} \\ f_{DY} \\ z_D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F (R \cdot f_B(\mathbf{g}))_X \\ F (R \cdot f_B(\mathbf{g}))_Y \\ -a_{DZ} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{DX} \\ a_{DY} \\ a_{DZ} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

[0049] Mit den drei Transformationsschritten, nämlich einer Rotation, einer Skalierung und einer Translation der x-y-Komponenten der Blickrichtungsfunktion ist eine effiziente, verhältnismäßig wenig rechenaufwendige Transformation erzielt. Da die Rotationsmatrix R die Ist-Rotationswinkel α , β des Blickrichtungsdetektors **9** beschreibt, ist deren mechanisch präzise Erfassung in verhältnismäßig einfacher Weise möglich.

[0050] Die Abweichungen der Ist-Rotationswinkel α , β von den durch die Raugaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** erfaßten Soll-Winkeln lassen sich durch die Rückkopplung der Augenreferenzpunktskoordinaten von der Raugaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** auf die Nachführeinheit **21** weitgehend verringern.

[0051] In vielen Fällen ist eine Bewegung des Augenreferenzpunktes **49** zum Blickrichtungsdetektor **9** und/oder zum Bildschirm **1** wesentlich kleiner als die Abstände z_B und a_{DZ} , so daß der Skalierungsfaktor F weitgehend von der Meßgenauigkeit des Augenreferenzpunktsdetektors **6** unabhängig ist. Die Genauigkeit der drei Transformationsschritte wird im wesentlichen durch die Genauigkeit der x-y-Komponente des Augenreferenzpunktes im Displaykoordinatensystem **30** bestimmt. Diese Komponenten sind in der Regel genauer als die z-Komponente a_{DZ} gegeben.

[0052] [Fig. 6](#) zeigt in einem Blockschaltbild ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung gemäß der Erfindung, wobei sich bei den Ausführungsbeispielen gemäß [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 6](#) entsprechende Bauelemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen und im weiteren nicht näher erläutert sind. Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 6](#) ist vorgesehen, für den Flächendetektor der Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung und Blickrichtungsdetektionseinrichtung gemeinsam einen hochauflösenden Doppeldetektor **52** vorzusehen, der auf der Schwenk/Neigeplattform **11** schwenkbar sowie neigbar angebracht ist und ein Autofokusmodul aufweist, dessen Autofokuswerte der Raugaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** einspeisbar sind.

[0053] Die in einem Doppelbildspeicher **53** speicherbaren beispielsweise dem Bildausschnitt des Blickrichtungsdetektors **9** gemäß [Fig. 1](#) entsprechenden Bilddaten sind zum einen der Flächenblickrichtungsbestimmungseinheit **16** und zum anderen der Raugaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** einspeisbar. In Abweichung von dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#) ist mit der Raugaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit **18** gemäß [Fig. 6](#) der Augenreferenzpunkt mittels der Parameterdaten des Blickrichtungsdetektorparameterspeichers **20**, die Abbildungseigenschaften des Doppeldetektors **52** zugeordnet sind, sowie der Autofokus-

werte bestimmbar. Das Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 6](#) zeichnet sich durch einen verhältnismäßig geringen apparativen Aufwand aus, da lediglich ein Flächendetektor sowohl zur Bestimmung des Augenreferenzpunktes als auch dem Erfassen der Blickrichtung vorgesehen ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Bestimmen eines Fixationspunktes (3) eines anthropomorph aufgebauten Auges (5) beim Betrachten eines Gegenstandes (1) mit einer Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung, mit der das Auge (5) innerhalb eines vorbestimmten Raumbereiches abbildbar ist, mit einem als Flächendetektor ausgebildeten Augenreferenzpunktsdetektor (6), mit dem ein zu dem Auge (5) in fester räumlicher Beziehung stehender Augenreferenzpunkt (49) detektierbar ist, mit einer Blickrichtungsdetektionseinrichtung, mit der eine Blickrichtung des Auges als Blickrichtungsfunktion bestimmbar ist, wobei die Blickrichtungsdetektionseinrichtung über einen als Flächendetektor ausgebildeten Blickrichtungsdetektor (9) verfügt, der mit einem in zwei überlagerbaren Richtungen schwenkbaren und neigbaren Schwenk/Neigeelement (11) auf das Auge (5) ausrichtbar ist und mit dem wenigstens die Pupille (13) sowie die unmittelbare Pupillenumgebung (14, 15) abbildbar ist, und wobei das Schwenk/Neigeelement (11) von einer mit Steuersignalen aus der Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung speisbaren und nachführbaren Nachführeinheit (21) so einstellbar ist, daß bei Bewegungen des Auges (5) im Raum der Blickrichtungsdetektor (9) auf das Auge (5) ausgerichtet bleibt, und mit einer Recheneinrichtung, mit der aus der Blickrichtungsfunktion der Fixationspunkt (3) des Auges (5) bestimmbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß mit der Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung die räumlichen Koordinaten des Augenreferenzpunktes (49) als Augenreferenzpunktskoordinatenwerte bestimmbar sind und daß eine Kompensationseinheit (24) vorhanden ist, der dem Gegenstand (1) zugeordnete Gegenstandskoordinatenwerte, dem Blickrichtungsdetektor (9) zugeordnete Blickrichtungsdetektorkoordinatenwerte, der Blickrichtungsfunktion in einem Blickrichtungskordinatensystem (39) zugeordnete Blickrichtungswerte, der Ausrichtung des Blickrichtungsdetektors (9) zugeordnete Ausrichtwerte sowie die Augenreferenzpunktskoordinatenwerte einspeisbar sind, wobei die Kompensationseinheit (24) über ein Rotationskompensationsglied (27), mit dem die Blickrichtungsfunktion in ihren Blickrichtungswerten um die Ausrichtwerte korrigierbar ist, über ein Skalierungsmitglied (28), mit dem die Größe der drehkorrigierten Blickrichtungswerte bei Anblick des Gegenstandes (1) berechenbar ist, und über ein Translationskompensationsglied (29) verfügt, mit dem der Versatz des Augenreferenzpunktes (49) gegenüber dem Ursprung eines Gegenstandskoordinatensystemes (30) korrigierbar ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an die Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung und das Kompensationsglied (24) Speicher (19, 20, 22, 23, 25) angeschlossen sind, mit denen interne geräteabhängige Parameter und Koordinatenwerte der Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung und der Blickrichtungsdetektionseinrichtung in bezug auf das Gegenstandskoordinatensystem (30) abspeicherbar sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Blickrichtungsdetektionseinrichtung zum Ermitteln der Blickrichtungsfunktion nach dem sogenannten "Cornea-Reflex"-Verfahren eingerichtet ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung über eine Flächenaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit (8) verfügt, mit der aus dem Bild des Augenreferenzpunktsdetektors (9) der Augenreferenzpunkt (49) in Flächenkoordinaten eines Augenreferenzpunktskoordinatensystemes (35) bestimmbar ist, und daß eine an die Flächenaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit (8) angeschlossene Raumaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit (18) vorgesehen ist, die neben den Flächenkoordinaten aus der Flächenaugenreferenzpunktsbestimmungseinheit (8) mit Flächenkoordinaten in einem Blickrichtungskordinatensystem (39) des Augenreferenzpunktsdetektors (6) und des Blickrichtungsdetektors (9) sowie den Ausrichtwerten beaufschlagbar ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Augenreferenzpunktsdetektionseinrichtung und die Blickrichtungsdetektionseinrichtung über einen gemeinsamen, an das Schwenk/Neigeelement (11) angebrachte Flächendetektor (52) verfügt, mit dem das Auge (5) innerhalb des vorbestimmten Raumbereiches erfaßbar ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

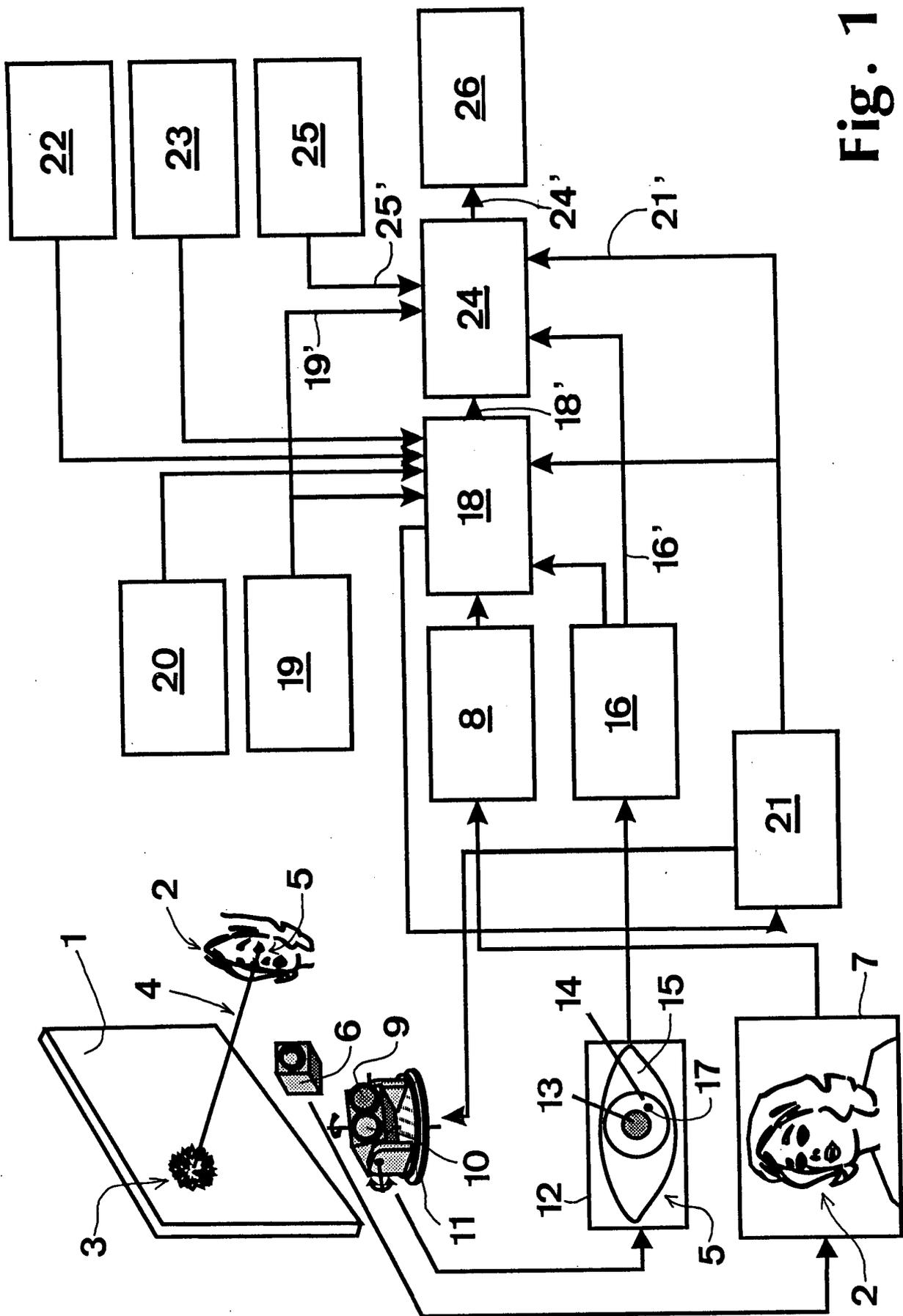


Fig. 1

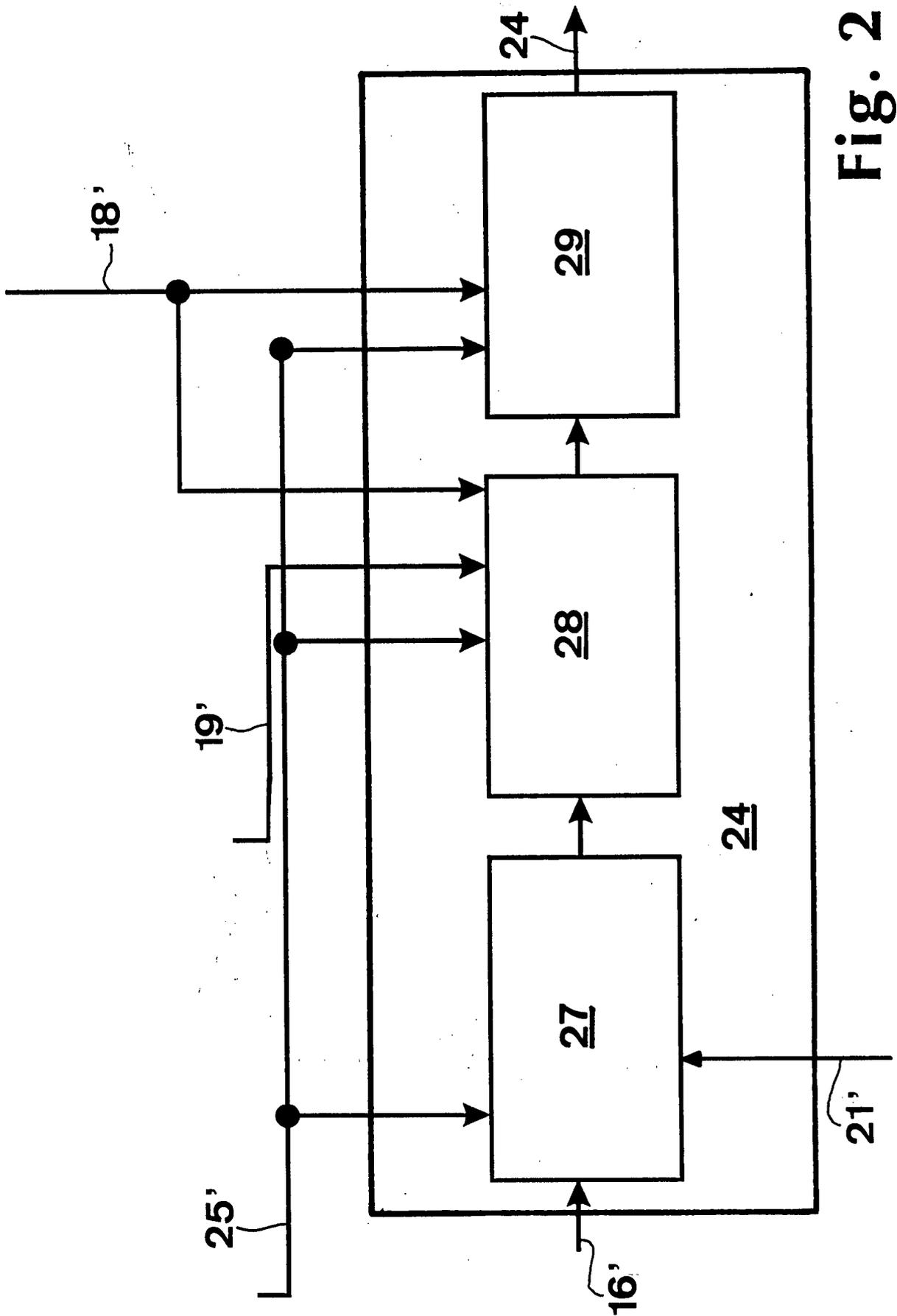


Fig. 2

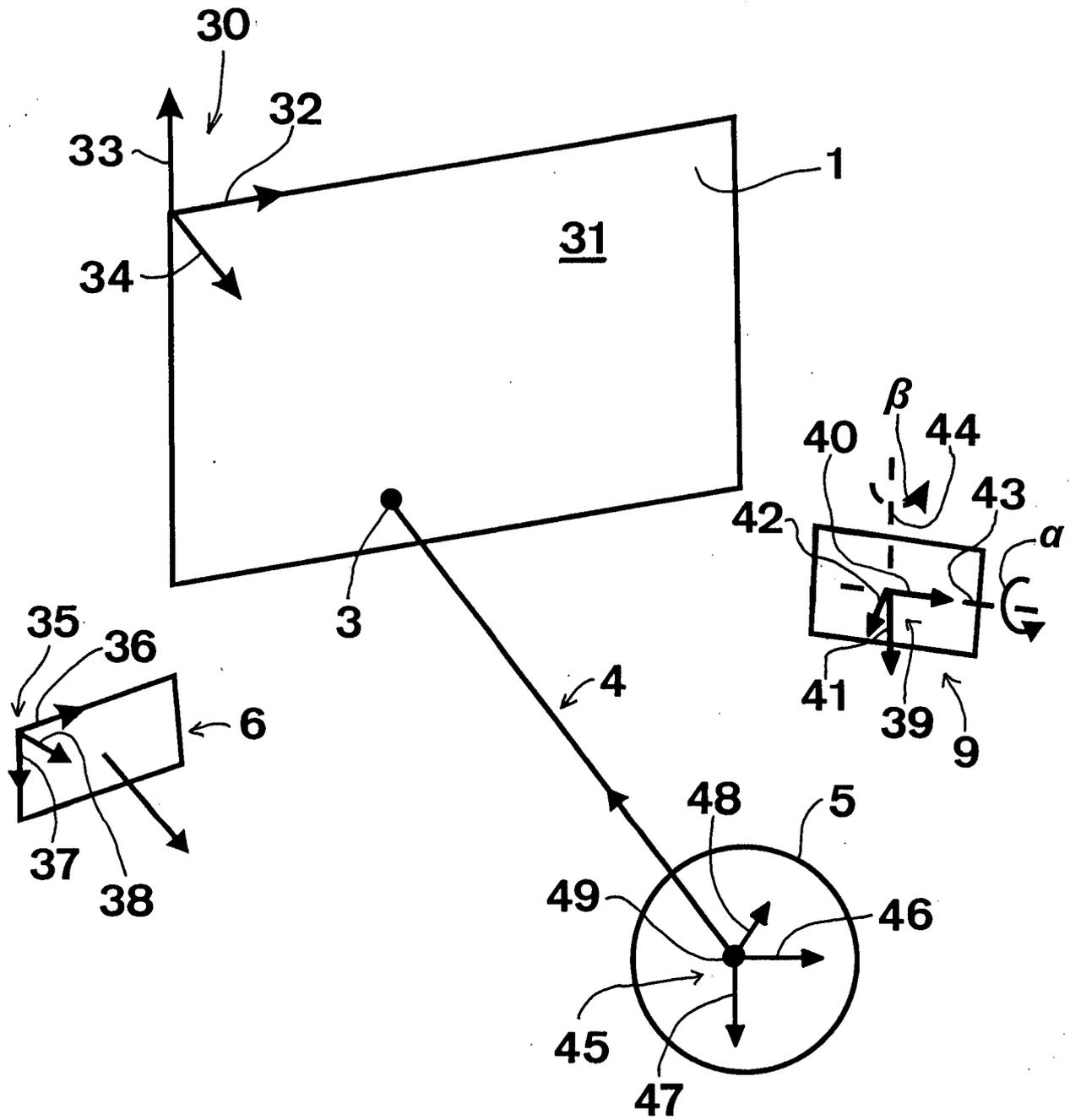


Fig. 3

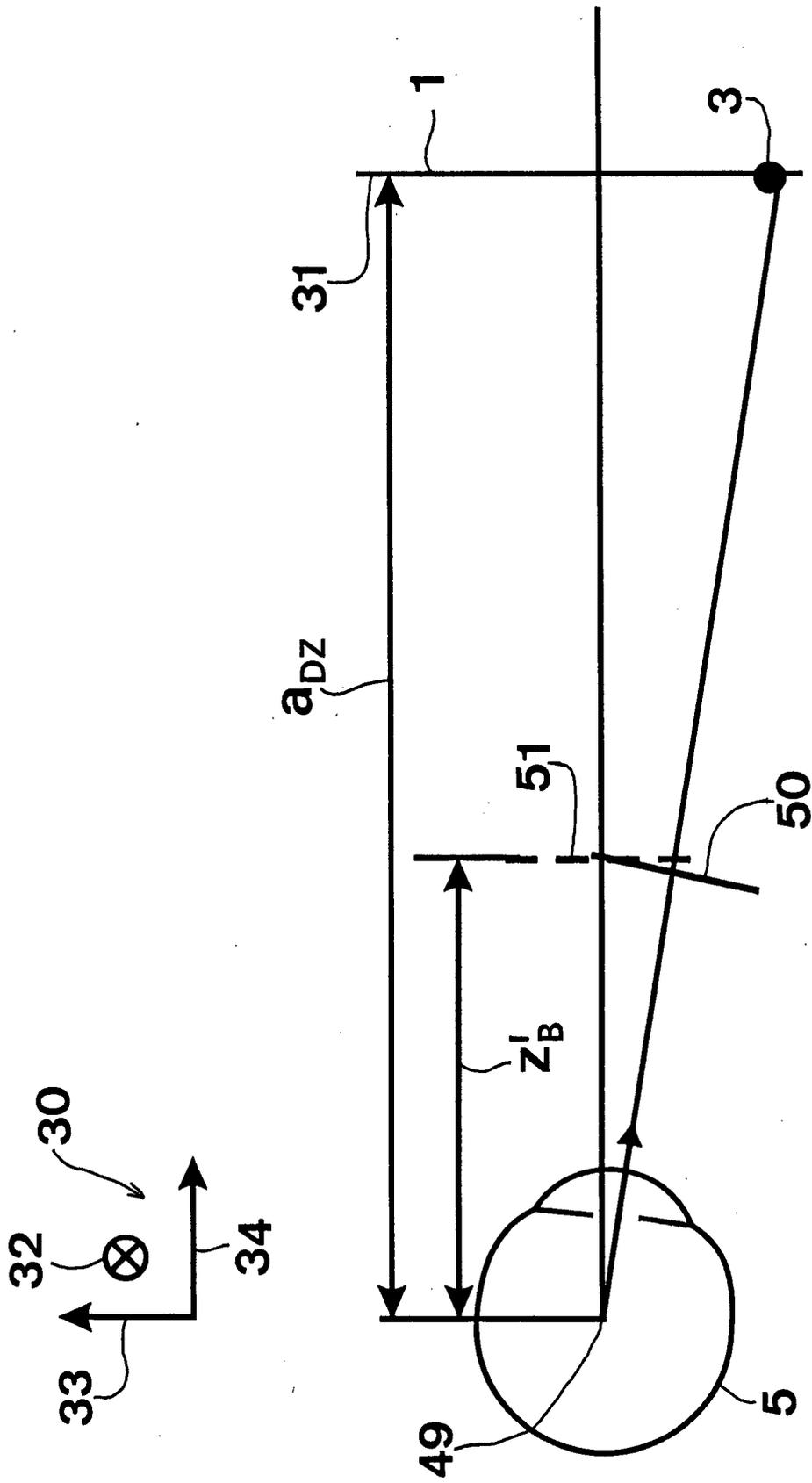


Fig. 5

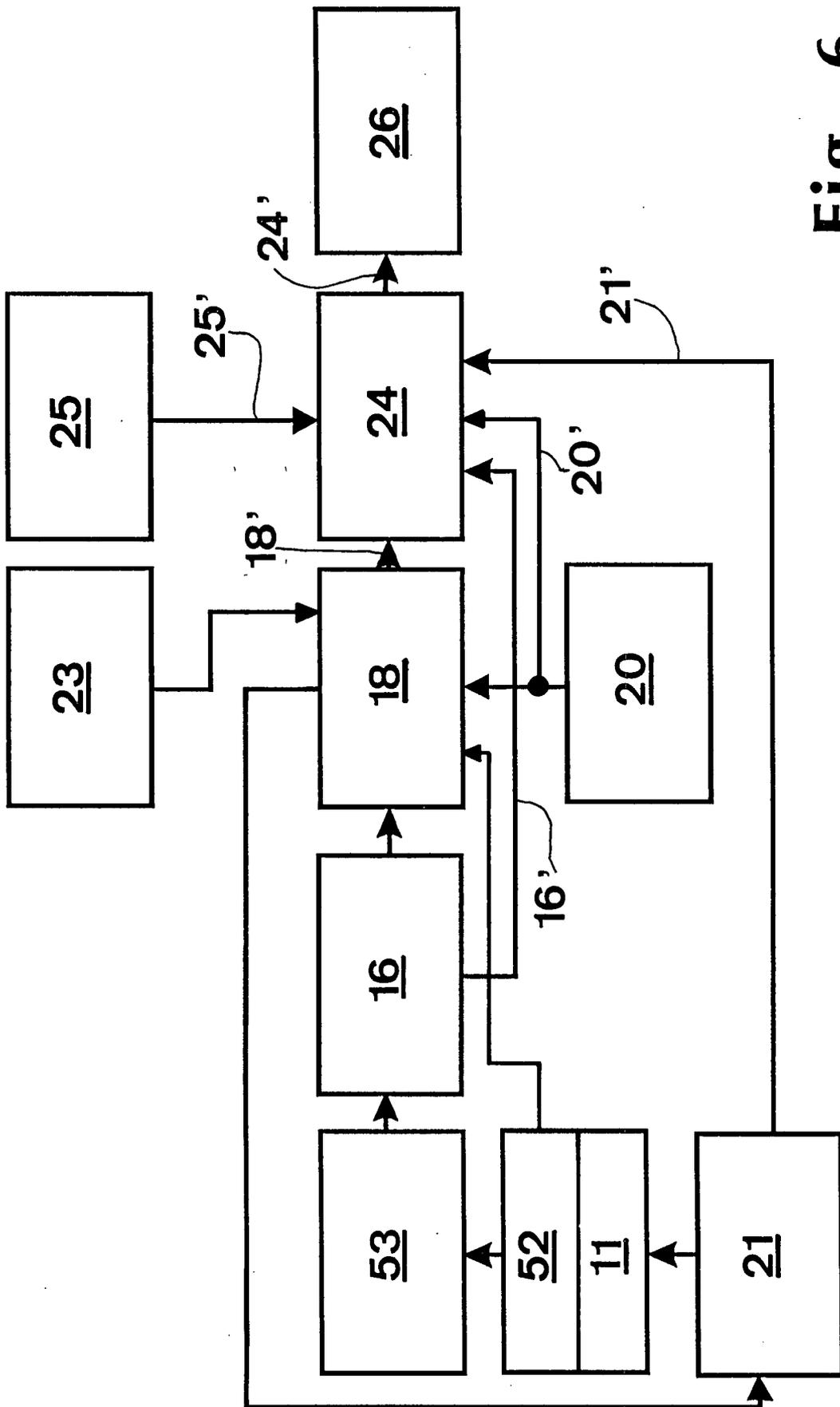


Fig. 6