



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

51 Int. Cl. 6:  
A 61 B 3/113

87 EP 0 547 931 M1

10 DE 692 17 875 T 2

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 692 17 875.9
- 86 Europäisches Aktenzeichen: 92 403 226.1
- 86 Europäischer Anmeldetag: 30. 11. 92
- 87 Erstveröffentlichung durch das EPA: 23. 6. 93
- 87 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 5. 3. 97
- 47 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 11. 9. 97

DE 692 17 875 T 2

30 Unionspriorität:  
9114901 02.12.91 FR

73 Patentinhaber:  
Commissariat à l'Énergie Atomique, Paris, FR

74 Vertreter:  
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,  
Anwaltssozietät, 80538 München

84 Benannte Vertragsstaaten:  
DE, GB, SE

72 Erfinder:  
Masse, Dominique, F-38500 Coublevie, FR; Baudoin,  
Christian, F-38470 Vinay, FR

54 Verfahren und Gerät zur Messung der Augenbewegungen

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 Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 692 17 875 T 2

92 403 226.1  
COMMISSARIAT

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und seine Anwendungsvorrichtung um die Augenbewegungen zu messen und z.B. die Blickrichtung zu erkennen.

Ihre Anwendungsgebiete sind zahlreich und unterschiedlich. Sie hilft nämlich auf medizinischem Gebiet bei der Diagnostik, insbesondere in der Augenheilkunde, um das Schielen zu diagnostizieren, in der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, bei Gleichgewichtsstörungen und in der Neurologie. Die Erfindung kann auch in der wissenschaftlichen Forschung über die Physiologie des visuellen Systems und des Ohrenvorhof-Systems eingesetzt werden, oder auch bei der Untersuchung der Transport- bzw. Anfallkrankheit (mal des transports) und insbesondere der Raumkrankheit. Eine weitere Anwendung der Erfindung betrifft die Ergonomie und insbesondere die Analyse der Strategie der visuellen Informationserfassung und der Ermüdung an einem Arbeitsplatz.

Die Erfindung kann noch auf anderen Gebieten angewandt werden, z.B. als Hilfe für Behinderte (handicapés tétraplégiques), zur Untersuchung der Mechanismen des Lesens und der Werbung.

Das Auge ist nämlich ein Organ des Menschen, das zu vielen Untersuchungen anregt.

In Figur 1 ist schematisch ein Auge dargestellt, von vorn gesehen. In dieser Figur ist die Augenhöhle 1 dargestellt, über der sich das Lid 2 befindet. In der Augenhöhle 1 kann man einen Teil der Lederhaut 3 sehen, die eine Art weißer Kugel bildet, die eine kreisförmige Öffnung aufweist, wo sich die Hornhaut 4 befindet, etwas stärker gewölbt als die Lederhaut 3. Die Hornhaut 4 ist transparent und ermöglicht, die Iris 5 zu unterscheiden, die eine opake Membran ist, durchbrochen von einer kreisrunden Öffnung, nämlich der Pupille 6. In dieser Figur ist ebenfalls der Hornhaut- bzw. Kornealreflex 7 dargestellt, d.h. der Reflex, den man auf der Hornhaut 4 erkennen kann, wenn das Auge beleuchtet wird.

Das Messen einer Augenbewegung besteht üblicherweise darin, die Lage der Pupille und des Hornhautreflexes des Auges zu bestimmen. Wenn jedoch das Auge ohne besondere Vorkehrungen

beleuchtet wird, können die hergestellten Bilder gewisse dunkle Bereiche wie die Wimpern und Augenbrauen enthalten, die zusammenfallen mit der dunklen Scheibe der Pupille. Ebenso können gewisse helle Bereiche des hergestellten Bildes wie z.B. die Reflexe auf der Haut der Augenlider oder das Weiß der Lederhaut zusammenfallen mit dem leuchtenden Fleck des Hornhautreflexes. Diese jeweils dunklen oder hellen Bereiche verfälschen die Berechnung der Mitte von jeweils der Pupille oder dem Hornhautreflex.

Fachleute haben einige Verfahren zur Beseitigung dieser Nachteile realisiert. Einige dieser Verfahren werden unten beschrieben.

Ein photographisches Verfahren zum Messen dieser Augenbewegungen besteht darin, das Auge zu photographieren (oder zu filmen). Die auf dem photographischen Film (oder Videofilm) erhaltenen Aufnahmen werden nach einer mühsamen Überprüfung ausgewertet. Dieses Verfahren ist nicht nur ziemlich mühsam, sondern außerdem nicht in Echtzeit anwendbar.

Ein Verfahren, angewandt mit einer Vorrichtung mit der Bezeichnung OBER<sup>2</sup> und beschrieben in dem Artikel "Eye movement registration system" der Zeitschrift "Pre-released information" vom Mai 1988, besteht darin, das Auge mit einer Infrarot-Quelle zu beleuchten. Eine Photodiode, in Augennähe angeordnet, mißt die global durch den Augapfel reflektierte Lichtmenge. Da die Iris und die Pupille des Auges weniger Licht reflektieren als die weiße Lederhaut, ist es ziemlich einfach, daraus global die Augenbewegung abzuleiten. Jedoch ist dieses zwar relativ einfach anzuwendende Verfahren wenig genau, denn die eventuellen Bewegungen der Augenlider verfälschen die durch die Photodiode gemessene Lichtmenge.

Ein anderes Verfahren, insbesondere angewandt durch die Vorrichtung mit der Bezeichnung "DORNIER eye tracking system" und beschrieben in einer Publikation der Firma DORNIER, besteht darin, Videobilder des Auges herzustellen und diese Bilder zu verarbeiten. Nach diesem Verfahren wird das Auge durch ein Infrarotlicht beleuchtet und mit einer Videokamera gefilmt. Die erhaltenen Bilder werden durch spezifische elektronische Operatoren bzw. Rechenwerke in Echtzeit verarbeitet. Dieses Verfahren

ist genau, aber die elektronischen Operatoren sind im allgemeinen komplex und teuer.

Ein weiteres Verfahren und ein entsprechendes System sind aus GB-A-2 207 748 bekannt.

Die vorliegende Erfindung hat nicht nur den Vorteil, nur eine relativ einfache Verarbeitungselektronik zu benötigen, sondern sie ermöglicht außerdem eine Verbesserung der Qualität der zu verarbeitenden Bilder (in bezug auf die nach vorhergehenden Verfahren erhaltenen Bilder) und infolgedessen eine bessere Genauigkeit bei der Messung der Augenbewegungen.

Die Erfindung ermöglicht nämlich, aufgrund von einem oder mehreren Videobild(ern), korrigiert von den meisten der durch die Aufnahmebeleuchtungen verursachen Reflexe und Schatten, die horizontalen und vertikalen Bewegungen des Auges in bezug auf den Kopf zu messen.

Noch genauer betrifft die Erfindung eine Meßverfahren für Augenbewegungen, das die folgenden Schritte umfaßt:

- Beleuchten des Auges aus wenigstens zwei verschiedenen Richtungen;
- Erfassen von wenigstens zwei Bildern des derart beleuchteten Auges;
- wenn diese Bilder des Auges erfaßt sind:
  - . Umsetzen jedes erfaßten Bildes in ein binäres Bild;
  - . Herstellen eines Bildes, korrigiert von allen durch die Beleuchtung des Auges bedingten Reflexen, durch Kombination der binären Bilder;
- Bestimmen der Augenstellung auf dem korrigierten Bild durch Berechnen des Schwerpunkts des besagten Auges.

Vorteilhafterweise besteht der Augenbeleuchtungsschritt darin, das zu beleuchtende Auge abwechselnd aus der einen und der anderen Richtung zu beleuchten, wobei für jede dieser Beleuchtungen ein Bild des Auges erfaßt wird.

Angewandt auf die Lagemessung der Pupille des Auges besteht das Verfahren darin, das Auge mit einer ersten Lichtstärke zu beleuchten, wobei der Schritt zur Herstellung des korrigierten Bildes, auf dem die Lage der Pupille gemessen wird, darin besteht, die bei jeder dieser Beleuchtungen erhaltenen Bilder zu überlagern.

Angewandt auf die Lagemessung des Korneal- bzw. Hornhautreflexes des Auges besteht das Verfahren darin, das Auge mit einer zweiten Lichtstärke zu beleuchten, wobei der Schritt zur Herstellung des korrigierten Bildes darin besteht, das Bild zu wählen, dessen Beleuchtungsrichtung dem Hornhautreflex winkelmäßig am nächsten kommt.

Angewandt zugleich auf die Messung der Lage der Pupille und des Hornhautreflexes besteht das Verfahren darin, das Auge mit einer Beleuchtungssequenz zu beleuchten, bei der das Auge nacheinander aus der einen oder der anderen Richtung beleuchtet wird oder aus beiden.

Die Anwendungsvorrichtung des Verfahrens umfaßt die in Anspruch 1 definierten Charakteristika.

Vorteilhafterweise umfassen die Beleuchtungseinrichtungen des Auges wenigstens zwei Lichtquellen, unterschiedlich ausgerichtet in bezug auf das Auge, so daß die durch die Beleuchtung aus verschiedenen Richtungen bedingten Reflexe auf dem Auge voneinander getrennt sind.

Sie umfassen außerdem einen Stromgenerator, verbunden mit jeder der Lichtquellen, an die er einen Strom variabler Stärke und/oder Dauer liefert und folglich Beleuchtungen mit diversen Lichtstärken sicherstellt.

Zudem umfaßt jede der Lichtquellen eine Vielzahl synchronisierter Lumineszenzdioden, wobei jede Diode in bezug auf das Auge in einer bestimmten Richtung ausgerichtet ist.

Erfindungsgemäß umfassen die Verarbeitungseinrichtungen einen Analog-Digital-Wandler, um die durch die Videoeinrichtungen erhaltenen Bilder umzuwandeln in Binärbilder, wobei die Bestimmung der Augenbewegungen aufgrund der Messung der Augenstellungen in den Binärbildern erfolgt.

Um die Stellung der Pupille zu bestimmen, umfassen die Verarbeitungseinheiten Kombinationseinrichtungen, um ein korrigiertes Bild herzustellen durch Überlagerung der Bilder, die man während der abwechselnden Beleuchtungen durch die Lichtquellen erhalten hat. Diese das korrigierte Bild liefernden Kombinationseinrichtungen umfassen einen Speicher, verbunden mit einem Ausgang des Analog-Digital-Wandlers, und eine logische ODER-Schal-

tung, einerseits mit dem Ausgang des besagten Wandlers verbunden und andererseits mit einem Ausgang des Speichers.

Außerdem umfaßt die Vorrichtung der Erfindung eine Folgesteuerungsschaltung, um die Videoeinrichtungen, die Augenbeleuchtungseinrichtungen und die Verarbeitungseinrichtungen zu synchronisieren.

Weitere Vorteile und Charakteristika der Erfindung gehen aus der nachfolgenden, erläuternden aber nicht einschränkenden Beschreibung hervor, bezogen auf die beigelegten Zeichnungen:

- die Figur 1, schon beschrieben, stellt schematisch ein von vorn gesehenes Auge dar;
- die Figur 2 zeigt schematisch eine Profilansicht eines Patientenkopfes mit der Vorrichtung zum Messen der Augenbewegungen;
- die Figur 3 stellt schematisch eine Vorderansicht des Teils der Vorrichtung dar, der sich in Augennähe befindet, insbesondere mit den das Auge beleuchtenden Lichtstrahlungen;
- die Figur 4 zeigt in Form eines Steuerungsdiagramms ein Beispiel einer Augenbeleuchtungssequenz; und
- die Figur 5 zeigt das Funktionsschema der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Die Figur 2 ist eine Gesamtdarstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Diese Vorrichtung umfaßt eine Meßeinheit 10, die beweglich ist, d.h. in Augennähe angeordnet werden kann, und Bildverarbeitungseinrichtungen 20. Die Meßeinheit 10 umfaßt eine Miniaturvideokamera 11, Lichtquellen (von denen nur die Quelle 12a in der Figur dargestellt ist) die aus verschiedenen Richtungen Lichtstrahlen auf den Spiegel 13 werfen, der so geneigt ist, daß er das Licht auf das Auge 9 des Patienten reflektiert, dessen Augenbewegungen man bestimmen möchte.

Diese Meßeinheit 10 kann auf ein Brillengestell, einen Helm oder jeden anderen, an den Kopf des Patienten anpaßbaren Träger montiert sein.

Nach dem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist die Meßeinheit 10 auf ein Brillengestell 14 montiert. Die Kamera 11 ist an dem Brillengestell 14 durch einen Kamerahalter 15 befestigt. Mechanische Einstelleinrichtungen 16 ermöglichen, die

Stellung des Kamerahalters 15 in bezug auf das Gestell 14 zu verändern, um die Vorrichtung an jeden Patienten anpassen zu können. Die Einstelleinrichtungen 16 befinden sich an dem Brillengestell 14, genauer an dem Schenkel 14a des Gestells, wobei die beiden Schenkel durch ein oder mehrere nachgiebige riemenartige Verbindungsbänder 14b, 14c verbunden sein können, die ermöglichen, sich von den meisten Restbewegungen des Brillengestells 14 in bezug auf den Kopf des Patienten frei zu machen. Die Kamera 11 ist also positionierbar durch die Einstelleinrichtungen 16, und die Lichtquellen sind ebenso wie der Spiegel 13 an der Kamera 11 befestigt. Außerdem ist die Einheit Lichtquellen/Spiegel/Kamera fest verbunden mit dem Kamerahalter 15 und folglich positionierbar, wenn man die Stellung des Kamerahalters 15 durch die Verstelleinrichtungen 16 einstellt.

Die Kamera 11 ist elektrisch durch die Verbindung 17 mit den Bildverarbeitungseinrichtungen 20 verbunden. Ebenso ist die Lichtquelle 12a durch die Verbindung 18 mit besagten Einrichtungen 20 verbunden. Das durch die Kamera 11 aufgenommene Bild des Auges wird nämlich den Verarbeitungseinrichtungen 20 gesandt, die die Lage von bestimmten Details des Auges wie z.B. der Iris, der Pupille und des Hornhaut- bzw. Kornealreflexes berechnen. Diese Verarbeitungseinrichtungen 20 ermöglichen außerdem, Bildkorrekturen zu berechnen, z.B. bei der Lagebestimmung der Pupille, und aufgrund der berechneten Lagen Korrekturen zu berechnen, verbunden mit der Kalibrierung des Auges des Patienten.

Ein Videoschirm 19 zur Sichtbarmachung der Augenaufnahme ist ebenfalls mit den Verarbeitungseinrichtungen 20 verbunden.

Eine den Anwendungen entsprechende Software zur Auswertung der Messungen ist Bestandteil der Vorrichtung.

Die in Figur 2 gezeigte Vorrichtung ermöglicht das Messen der horizontalen und vertikalen Augenbewegungen, wobei man sich freimacht von den Restbewegungen des Brillengestells in bezug auf den Kopf. Noch genauer ermöglicht sie, an einem von den meisten störenden Schatten und Reflexen korrigierten Videobild das Zentrum der Pupille und des Hornhautreflexes zu messen und eventuell die Iris zu beobachten.

Sie wendet effektiv ein Verfahren an, das auf der Optimierung der Augenbeleuchtungsbedingungen beruht. Eine optimale Beleuchtung des Auges ermöglicht nämlich, Bilder des Auges zu erhalten, in denen die Pupille als eine einfache dunkle Scheibe erscheint und der Hornhautreflex als ein einziger leuchtender Fleck.

In Figur 3 ist als Vorderansicht der in Augennähe befindliche Teil der Vorrichtung dargestellt. Diese Figur zeigt folglich einen Teil der Kamera 11, auf dem mittels zweier Träger 12c und 12d die Lichtquellen 12a und 12b ruhen. Diese Lichtquellen senden auf indirekte Weise Lichtstrahlen auf das Auge 9. Die Strahlen werden nämlich in unterschiedlichen Richtungen D1 bis D6 in Richtung Spiegel 13 gesandt, der besagte Strahlen auf das Auge 9 reflektiert.

Die Lichtquellen 12a und 12b sind unabhängig voneinander so ausgerichtet, daß sie eine optimale Beleuchtung des Auges 9 liefern. Dazu umfaßt jede Lichtquelle ein Gehäuse, in dem eine bestimmte Anzahl Lumineszenzdiode (LED) angeordnet sind, die in der Figur aus Gründen der Vereinfachung nicht dargestellt wurden. Diese Dioden, im allgemeinen vier pro Gehäuse, emittieren gleichzeitig Licht und sind ausgerichtet, um die Beleuchtung des Auges 9 zu optimieren. Jede Diode hat ihre eigene Orientierung; sie ist gerichtet und emittiert Licht in einem Konus mit einem Halbwinkel von ungefähr  $20^\circ$ .

Praktisch ausgedrückt wird jede Diode ausgerichtet, um die dunklen Zonen, die anfänglich auf dem Auge 9 erscheinen, zu verkleinern und die Abnahme der Reflexion in Richtung Kamera 11 zu kompensieren.

In Figur 3 umfaßt jede der dargestellten Lichtquellen 12a und 12b drei Dioden, die Licht in die jeweiligen Richtungen D1, D2, D3, D4, D5 und D6 ausstrahlen.

In dieser Figur und in der gesamten Beschreibung wird Bezug genommen auf zwei Lichtquellen 12a und 12b. Die Vorrichtung kann selbstverständlich drei, vier oder mehr Lichtquellen wie vorhergehend beschrieben enthalten.

Um nämlich ein Bild bzw. eine Aufnahme der Pupille und des Hornhautreflexes von guter Qualität zu erhalten, kann es



vorteilhaft sein, mehrere (wenigstens zwei) Lichtquellen um das Auge herum zu verteilen.

Es ist schwierig, die Beleuchtung des Auges in ein und derselben Aufnahme zu optimieren, so daß man gleichzeitig die Pupille, den Hornhautreflex und die Details der Iris erhält. Das erfindungsgemäße Verfahren besteht folglich darin, nacheinander eine Aufnahme der Pupille, eine Aufnahme des Hornhautreflexes und eine Aufnahme der Iris herzustellen, wobei die Beleuchtung dann für jede der Aufnahmen optimiert wird.

Unter "optimierter Beleuchtung" versteht man die an die Detektion des betreffenden Objekts, in vorliegendem Fall die Details des Auges, am besten angepaßte Beleuchtung, wobei diese optimierte Beleuchtung das Herstellen einer Qualitätsaufnahme dieses Objekts ermöglicht.

Außerdem erfolgt die Beleuchtung des Auges sequentiell. Jede Beleuchtungssequenz hat eine Dauer von mehreren Video-Teilbildern, wobei jedes Video-Teilbild einer für eines der Details des Auges optimierten Beleuchtung entspricht, das man herausstellen möchte (z.B.: die Pupille oder den Hornhautreflex).

Zudem, um ein korrigiertes Bild der Pupille zu erhalten, d.h. ein Bild der Pupille ohne störenden Schatten oder Reflex, macht man zwei aufeinanderfolgende Aufnahmen der Pupille mit zwei verschiedenen Beleuchtungsrichtungen. Wenn nämlich eine Lichtquelle das Auge beleuchtet, erscheint ein Reflex (Hornhaut- bzw. Kornealreflex genannt) auf der Pupille. Auch empfiehlt das erfindungsgemäße Verfahren zum Maskieren dieses störenden Reflexes die Herstellung einer zweiten Aufnahme der Pupille: die erste Aufnahme erfolgt mit der Beleuchtung des Auges durch eine erste Lichtquelle; die zweite Aufnahme erfolgt durch die Beleuchtung des Auges mit einer zweiten Lichtquelle. Die beiden Reflexe, verursacht durch die Beleuchtung mit zwei Lichtquellen, werden dann durch Überlagerung der beiden Aufnahmen maskiert, indem der helle Reflex der ersten Aufnahme verdeckt wird durch die dunkle Pupillenzone der zweiten Aufnahme und umgekehrt.

Jedoch kann diese Überlagerung der Aufnahmen die hellen Reflexe nur verdecken, wenn die beiden Reflexe nicht zu nahe beieinanderliegen, d.h. wenn sie keinen gemeinsamen Bereich haben. Um diese eventuellen Probleme zu vermeiden, ist die Verwendung von

mehreren Lichtquellen zu empfehlen, wobei die Wahl der das Auge beleuchtenden Lichtquellen so erfolgt, daß die Überlagerung der hellen Reflexe vermieden wird.

Die Verwendung von mehreren Lichtquellen ermöglicht, den Hornhautreflex unabhängig von seiner Lage auf der kugelförmigen Grenzfläche Luft-Hornhaut zu bestimmen. Wenn das Auge sich nämlich um einen Winkel von mehr als  $20^\circ$  in bezug auf die Hauptrichtung der Lichtquelle dreht, bildet sich der Reflex nicht mehr auf der Hornhaut sondern auf der Lederhaut und auf der konkaven Verbindungsfläche der Hornhaut mit der Lederhaut. Der Reflex nimmt dann ein sehr unregelmäßiges Aussehen an, ungeeignet für eine einfache und genaue Berechnung seiner Lage. Um das Meßfeld nicht auf  $20^\circ$  zu begrenzen, während die Augenbewegungen bis zu mehr oder weniger  $40^\circ$  erreichen, benützt man mehrere Lichtquellen. Man beleuchtet das Auge dann nacheinander mit jeder dieser Lichtquellen und man wählt das Bild, das aufgenommen wurde während der Beleuchtung durch eine Lichtquelle, die von der optischen Achse der Hornhaut um weniger als  $20^\circ$  entfernt ist.

Zudem, um ein genaues Bild der Iris ohne störende Reflexe und Schatten zu erhalten, beleuchtet man das Auge gleichzeitig mit wenigstens zwei Lichtquellen.

Außerdem, um nacheinander Pupillen-, Hornhaut- und Iris-Aufnahmen zu erhalten, beleuchtet man das Auge mit festgelegten Beleuchtungssequenzen.

Ein Steuerungsdiagramm, das ein Beispiel einer Beleuchtungssequenz zeigt, ist in Figur 4 dargestellt. Die Linie ST zeigt die Teilbild-Synchronisation der Kamera: jedem Teilbild T1 bis T6 entspricht eine spezielle Beleuchtung des Auges. Die Linie SL1 stellt die Beleuchtungszeiten der ersten Lichtquelle dar. Die Linie SL2 stellt die durch die zweite Lichtquelle gelieferten Beleuchtungszeiten dar. Die Beleuchtungszeiten sind variabel, um die Augenbeleuchtung zu optimieren. In I ist für jedes Teilbild das Bild dargestellt, das man durch die Beleuchtungen SL1 und SL2 erhält.

Unten im Steuerungsdiagramm ist die logische ODER-Schaltung dargestellt, dank der man zwei in I dargestellte Bilder der Pupille überlagert.

Noch genauer ist auf der Linie ST der Teilbild-Synchronisationsimpuls dargestellt.

Während des Teilbilds T1 strahlt die erste Lichtquelle SL1 während einer Zeit  $t_1$ ; die Kamera nimmt dann ein erstes Bild I1 auf, auf dem die Pupille erscheint.

Die Lichtquelle SL1 strahlt während einer Zeit  $t_2$ , während des Teilbilds T2; die Kamera nimmt dann das erste Bild I2 vom Hornhautreflex auf.

Während des Teilbilds T3 sendet die zweite Lichtquelle SL2 während der Dauer  $t_1$  ein Licht aus, um die Herstellung eines zweiten Bilds I3 der Pupille zu ermöglichen. Die Bilder I1 und I3 werden mit Hilfe der logischen ODER-Schaltung kombiniert, um ein korrigiertes Bild IC1 von der Pupille zu liefern.

Während des Teilbilds T4 beleuchtet die Lichtquelle SL2 das Auge während einer Dauer  $t_2$ , um die Herstellung eines zweiten Bilds I4 des Hornhautreflexes zu ermöglichen.

Während des Teilbilds T5 beleuchten die beiden Lichtquellen SL1 und SL2 gleichzeitig während einer Zeit  $t_3$  das Auge, um die Herstellung eines detaillierten Bildes I5 von der Iris zu erhalten.

Ab Teilbild T6 beginnt man wieder mit derselben Beleuchtungssequenz wie der vorhergehend beschriebenen, wobei das Bild I6 der Pupille mit dem Bild I3 der vorhergehenden Beleuchtungssequenz kombiniert wird.

Aus einer solchen Beleuchtungssequenz erstellt man drei Bilder, jeweils von der Pupille, dem Hornhautreflex und der Iris. Um die Augenbewegung zu bestimmen, wird diese Beleuchtungssequenz nacheinander wiederholt, wobei für jede Beleuchtungssequenz eine Messung der Lage der Pupillenmitte und der Hornhautreflexmitte durchgeführt wird.

Die Vorrichtung, die die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ermöglicht, ist in Figur 5 dargestellt.

Diese Figur zeigt das Auge 9 mit den Richtungen D1, D2, D3 der von der ersten Lichtquelle 12a stammenden Beleuchtung und den Richtungen D4, D5, D6 der von der zweiten Lichtquelle 12b stammenden Beleuchtung. Die Bilder des Auges 9 werden durch die Kamera 11 erfaßt und dann durch die Verbindung L1 zur Verarbeitungseinrichtungen 20 übertragen.

Noch genauer umfassen diese Verarbeitungseinrichtungen 20 einen Analog-Digital-Wandler 22 (A/N), der das von der Kamera 11 erfaßte Bild in ein einfacher zu verarbeitendes Binärbild umwandelt.

Dieses Binärbild wird, wenn es den Hornhautreflex darstellt, über die Verbindung L2 an eine Berechnungskarte der Hornhautreflexmitte übertragen, die in der Figur nicht dargestellt ist.

Wenn das Binärbild die Pupille darstellt, wird es durch die Verbindung L3 an die Kombinationseinrichtungen 24 der beiden Binärbilder übertragen.

Diese Kombinationseinrichtungen umfassen einen Speicher 26 und eine logische ODER-Schaltung 28. Das Binärbild aus dem Analog-Digital-Wandler 22 wird einerseits in den Speicher 26 und andererseits in die logische Schaltung 28 eingespeist. Ein Binärbild, vorher in den Speicher 26 eingespeist, wird parallel dazu über die Verbindung L5 zur logischen Schaltung 28 übertragen. Im allgemeinen sind die beiden in die logische Schaltung eingespeisten Binärbilder das in Verarbeitung befindliche Bild der Pupille und das letzte im Speicher 26 abgespeicherte Bild der Pupille. Die logische Schaltung 28 führt eine Überlagerung der beiden eingespeisten Binärbilder durch. Das dann erhaltene Bild (korrigiertes Bild) wird durch die Verbindung L6 an die in dieser Figur nicht dargestellte Berechnungskarte der Pupillenmitte übertragen.

Nach einer Ausführungsart der Erfindung ist jede Lichtquelle 12a und 12b mit dem Eingang mit einem Stromgenerator 30 verbunden. Dieser Generator 30 liefert den Lichtquellen 12a und 12b einen Strom mit jeweils eigener Stärke. So kann die durch jede Quelle 12a oder 12b im Laufe der Beleuchtungssequenzen gelieferte Lichtstärke moduliert werden, um eine Beleuchtung sicherzustellen, die angepaßt ist an die gute Detektion von einem der Details des Auges (Pupille, Hornhautreflex, ...).

In Figur 5 ist ebenfalls die Folgesteuerungsschaltung 32 dargestellt. Die Folgesteuerungsschaltung 32 ist jeweils durch die Verbindungen L8, L7, L9 zugleich mit der Kamera 11, dem Generator 30 und dem Speicher 26 verbunden. Sie ermöglicht, über den Generator 30, die Lichtquellen 12a und 12b mit der Kamera 11

und folglich jede Beleuchtung der Beleuchtungssequenz mit dem entsprechenden Video-Teilbild zu synchronisieren.

Diese Folgesteuerungsschaltung 32 ermöglicht ebenfalls, die Verarbeitungseinrichtungen 20 mit der Kamera 11 zu synchronisieren und, genauer, die einer Pupillendetektionsbeleuchtung entsprechenden Video-Teilbilder im Speicher 26 abzuspeichern.

Diese Folgeschaltung 32 ermöglicht also, die gewählten Beleuchtungssequenzen auszuführen und an jedem der Bilder der Sequenz die für jedes von ihnen adäquaten Verarbeitungen vorzunehmen.

Nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird das Auge, dessen Bewegungen man messen will, durch zwei Lichtquellen (SL1 und SL2) beleuchtet, die sich beiderseits der Kameraoptik befinden. Die Quelle SL1 umfaßt zehn Lumineszenzdioden und die Quelle SL2 umfaßt acht Lumineszenzdioden. Jede dieser Dioden ist in das Gehäuse ihrer Lichtquelle eingefügt, in ein Loch, dessen Richtung experimentell bestimmt wurde. Gemäß Beispiel sind die Dioden nach Winkeln ausgerichtet, die zwischen  $-20^\circ$  und  $+20^\circ$  variieren, bezogen auf die Normale zum Gehäuse, wobei jede Diode einen Lichtkegel ausstrahlt, dessen Halbwinkel von zehn bis zwanzig Grad variiert.

Nach anderen Ausführungsarten der Erfindung können weitere Lichtquellen beiderseits der Lichtquellen 12a und 12b oder auch vor und hinter der Optik der Kamera angeordnet werden.

Das oben beschriebene erfindungsgemäße Verfahren kann in anderen Anwendungen als der Augenbewegungsmessung benutzt werden. Ein derartiges Verfahren, bei dem man die beschriebenen Lichtquellen benutzt, kann benutzt werden, um die störenden Reflexe auf verschiedenen Arten von Objekten zu eliminieren, die erfaßt bzw. erkannt werden sollen. Es kann ebenfalls benutzt werden, um die Grauegel-Codierungsdynamik eines Bildes zu erhöhen, oder auch, um dunkle Zonen zu eliminieren.

92 403 226.1  
COMMISSARIAT

### PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Messung der Augenbewegungen, die folgenden Schritte umfassend:

- Beleuchten des Auges (9) aus wenigstens zwei verschiedenen Richtungen;
- Erfassen von wenigstens zwei Bildern des derart beleuchteten Auges (I1, I2, I3, ...)
- wenn diese Bilder des Auges erfaßt sind:
  - . Umsetzen jedes erfaßten Bildes in ein binäres Bild,
  - . Herstellen eines korrigierten Bildes (IC1) aus allen beleuchtungsbedingten Reflexen auf dem Auge durch Kombination der Binärbilder;
- Festlegen, auf dem korrigierten Bild, der Augenstellung durch Berechnung des Schwerpunkts des besagten Auges.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Augenbeleuchtungsschritt darin besteht, das Auge wechselweise aus der einen und der anderen Richtung zu beleuchten, wobei bei jeder dieser Beleuchtungen ein Bild des Auges erfaßt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, in dem man eine Messung der Stellung der Pupille des Auges durchführt, dadurch gekennzeichnet, wobei das Auge mit einer ersten Lichtintensität beleuchtet wird, daß der Schritt zur Herstellung des korrigierten Bildes, in dem die Pupillenstellung gemessen wird, darin besteht, die bei jeder der Beleuchtungen erhaltenen Bilder (I1, I3) zu überlagern.

4. Verfahren nach Anspruch 2, in dem man eine Messung der Position des Hornhaut- bzw. Kornealreflexes (reflet cornéen) (7) des Auges durchführt, dadurch gekennzeichnet, wobei das Auge mit einer zweiten Lichtintensität beleuchtet wird, daß der Schritt zur Herstellung des korrigierten Bildes darin besteht, das Bild (I1, I4) auszuwählen, dessen Beleuchtungsrichtung winkelmäßig dem Kornealreflex am nächsten kommt.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 3 und 4, bei dem man zugleich die Messung der Stellungen der Pupille und des Kornealreflexes durchführt, dadurch gekennzeichnet, daß es darin besteht, das Auge entsprechend einer Beleuchtungsfolge zu beleuchten, in

der das Auge sukzessive aus der einen oder der anderen oder den beiden Richtungen beleuchtet wird.

6. Vorrichtung zur Messung der Augenbewegungen mittels Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, umfassend:

- Einrichtungen (12a, 12b) zur Beleuchtung des Auges aus wenigstens zwei verschiedenen Richtungen; und
- Videoeinrichtungen (11), um bei jeder Beleuchtung Bilder des Auges herzustellen,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß sie außerdem Verarbeitungseinrichtungen (20) umfaßt, um ein korrigiertes Bild der durch jede Beleuchtung hervorgerufenen Reflexe herzustellen, durch Kombinieren der genannten Bilder, wenigstens zwei, und die Augenbewegungen zu bestimmen aufgrund der Lage des Schwerpunkts des besagten Auges in diesem korrigierten Bild.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Beleuchtungseinrichtungen des Auges wenigstens zwei Lichtquellen umfassen, die in bezug auf das Auge unterschiedlich ausgerichtet sind, so daß die die verschiedenen Beleuchtungsrichtungen betreffenden Reflexe auf dem Auge voneinander getrennt sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Beleuchtungseinrichtungen des Auges außerdem einen Stromgenerator (30) umfassen, verbunden mit jeder der Lichtquellen, an die er einen Strom von variabler Stärke und/oder Dauer liefert, um Beleuchtungen diverser Lichtstärken zu gewährleisten.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Lichtquellen eine Vielzahl synchronisierter Lumineszenzdiodeen enthält, wobei jede Diode bezüglich des Auges entsprechend einer speziellen Ausrichtung angeordnet ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Verarbeitungseinrichtungen einen Analog-Digital-Wandler (22) umfassen, um die durch die Videoeinrichtungen erhaltenen Bilder in Binärbilder umzuwandeln, wobei die Messung der Augenbewegungen an diesen Binärbildern durchgeführt wird.

11. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Verarbeitungseinrichtungen Kombinationseinrichtungen (24) umfassen, um ein korrigiertes Bild herzustellen mittels Überlagerung der Bilder, die während der abwechselnden Beleuchtungen durch die Lichtquellen erhaltenen wurden.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Kombinationseinrichtungen einen Speicher (26) enthalten, verbunden mit einem Ausgang des Analog-Digital-Wandlers und einer logischen ODER-Schaltung (28), einerseits verbunden mit dem Ausgang des Wandlers, andererseits mit einem Ausgang des Speichers und am Ausgang das korrigierte Bild liefernd.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß sie außerdem eine Folgeschaltung (32) enthält, um die Videoeinrichtungen, die Augenbeleuchtungseinrichtungen und die Verarbeitungseinrichtungen zu synchronisieren.



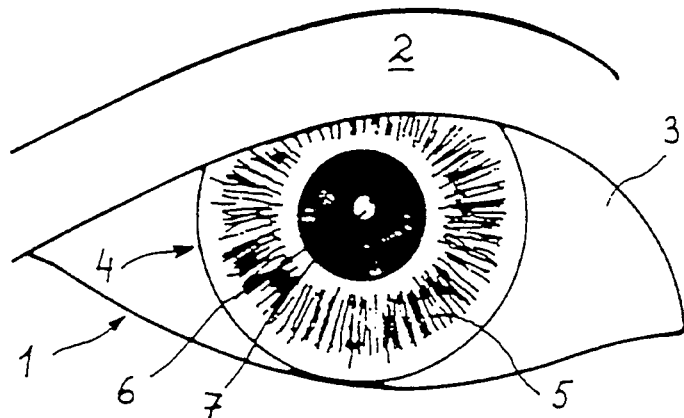
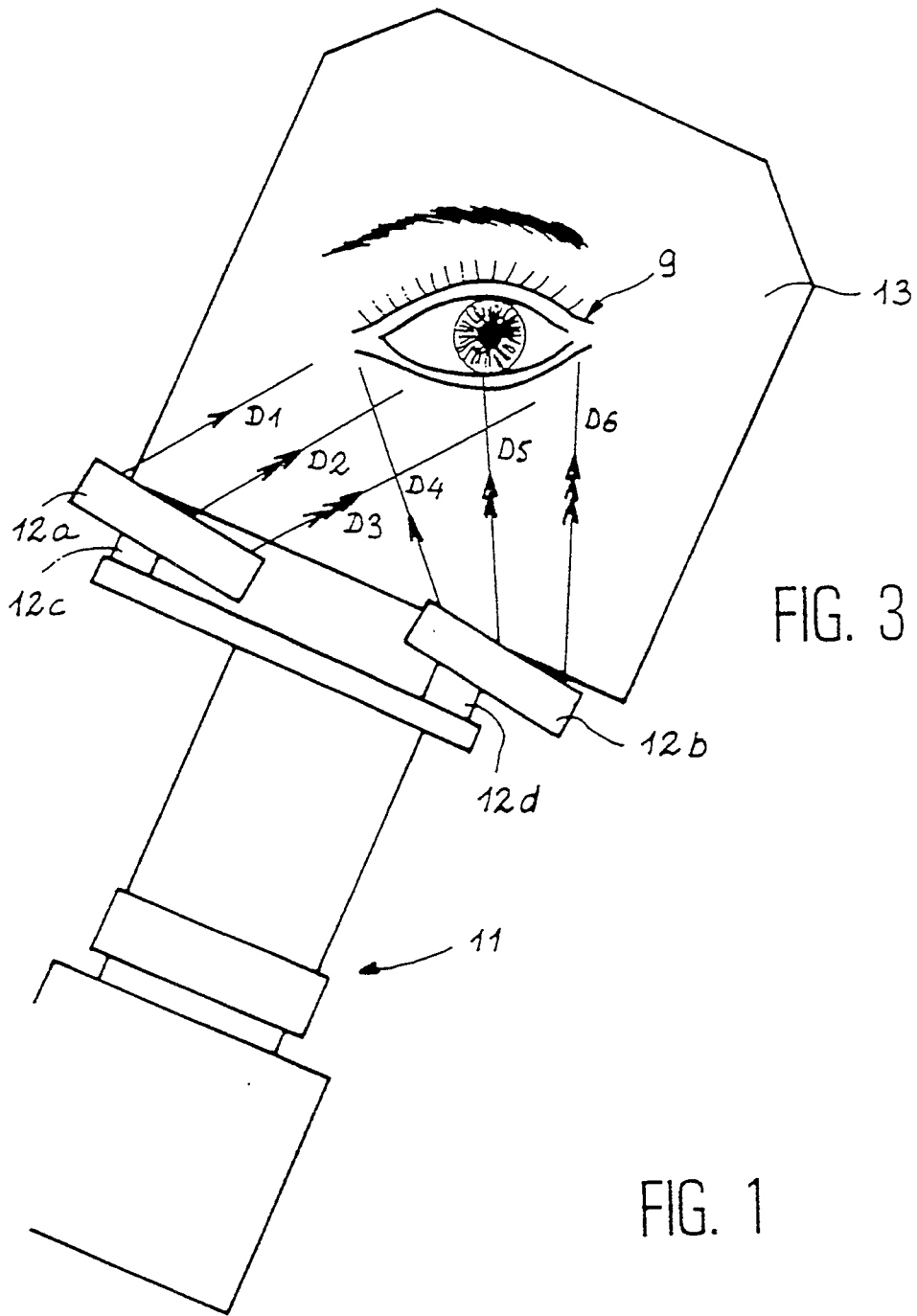
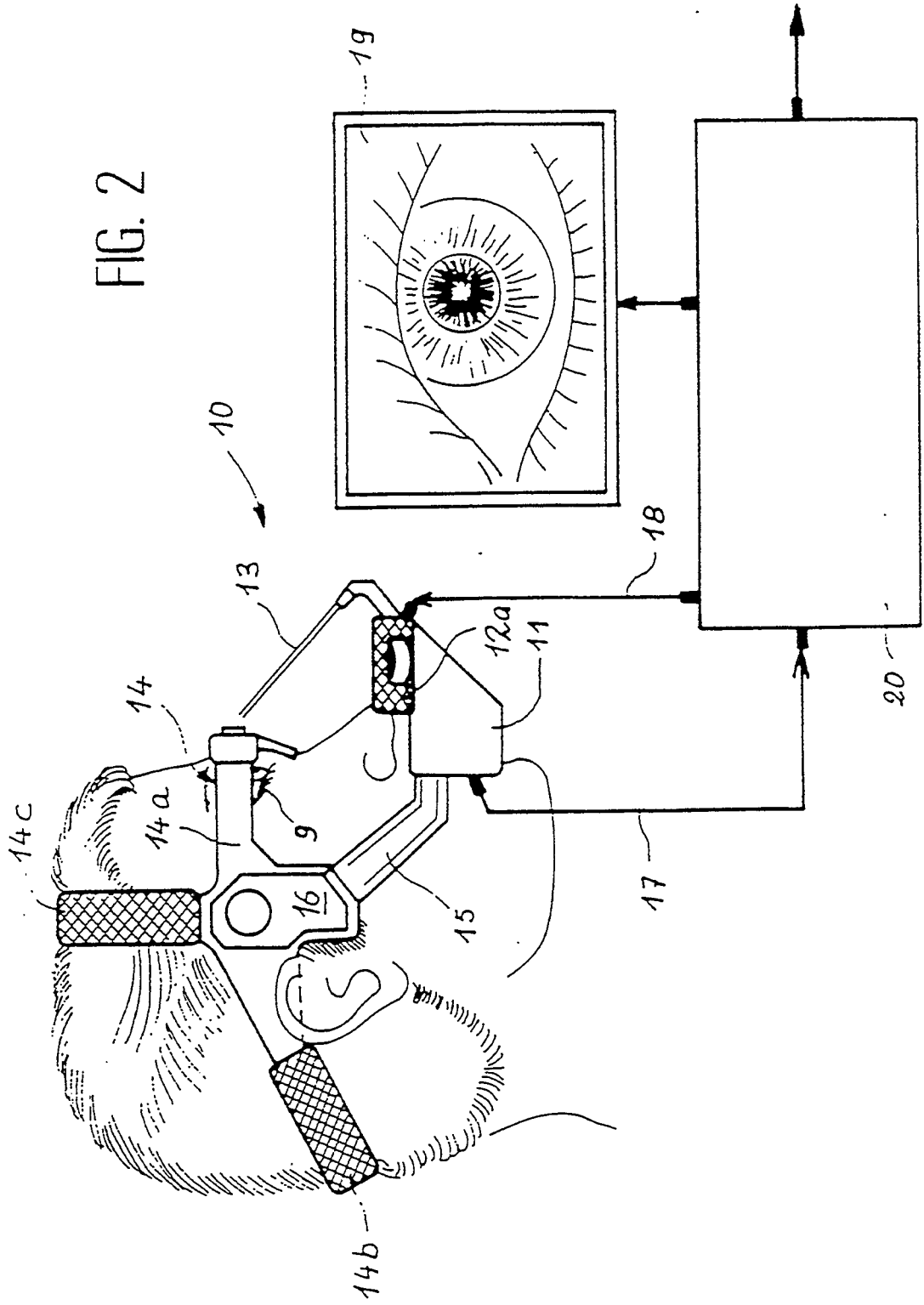


FIG. 2



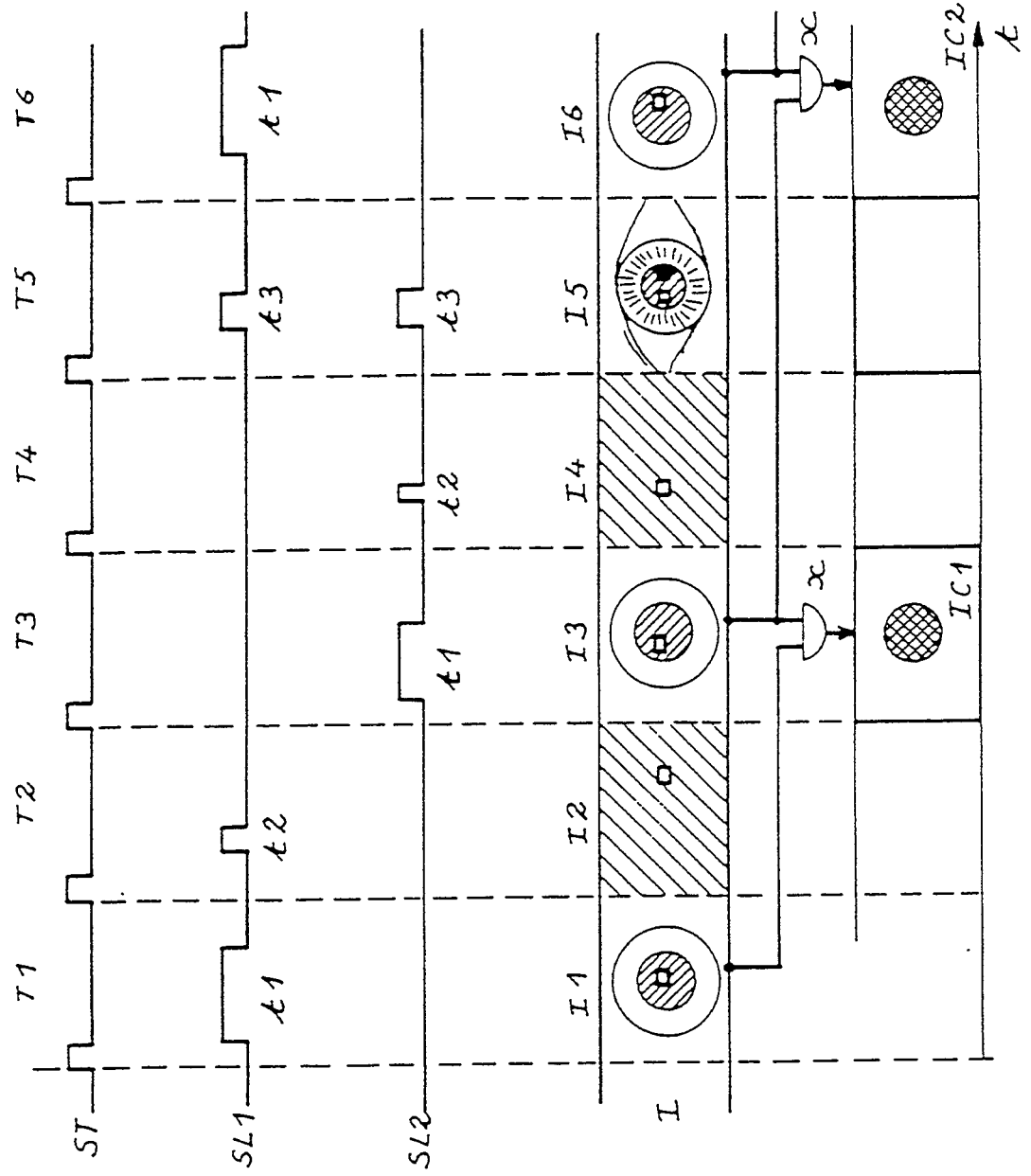


FIG. 4

FIG. 5

