



Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz
der DDR vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 06 K 9/00

DEUTSCHES PATENTAMT

(21) DD G 06 K / 319 973 7

(22) 21.09.88

(45) 24.10.90

(71) siehe (73)

(72) Reichel, Frank, Dr. rer. nat.; Thorwirth, Günter, Dr., DD

(73) VEB Carl Zeiss JENA, Carl-Zeiss-Straße 1, Jena, 6900, DD

(54) Anordnung zur optischen, multicharakteralen Bildanalyse

(55) Bildverarbeitung optisch; multicharakteral;
Unterscheidung; Klassifizierung; Filteranordnung;
Farbfiltereinheit; Polarisator drehbar; Ansteuereinheit;
Verknüpfung kombinatorisch; Auswertung struktural
(57) Die Erfindung betrifft eine vorzugsweise kameraartige
Anordnung zur optischen Verarbeitung zweidimensionaler
Bildinformationen mittels multicharakteraler Analyse. Sie
findet Anwendung auf dem Gebiet der Mikroskopie, als
optischer Sensor in der Robotertechnik und im Bauwesen
zur Unterscheidung und Klassifizierung von beliebigen
Teilen, Bauelementen und optisch erfaßbaren Zuständen.
Erfindungsgemäß wird eine optische Filteranordnung,
bestehend aus Farbfiltereinheit und/oder drehbarem,
linearem Polarisator, in den Aufnahmestrahlangang vor
einem schnellen Bildwandler eingebracht, der gleichzeitig
Bestandteil des Auswertestrahlanganges ist. Eine
Ansteuereinheit koordiniert die kombinatorische
Verknüpfung der Schaltzustände von Filteranordnung und
Blendenanordnung, wobei im Ergebnis multicharakterale
Meßwerte mit der gleichen Auswerteeinheit wie bei
ausschließlich strukturaler Analyse auswertbar sind.
Fig. 1

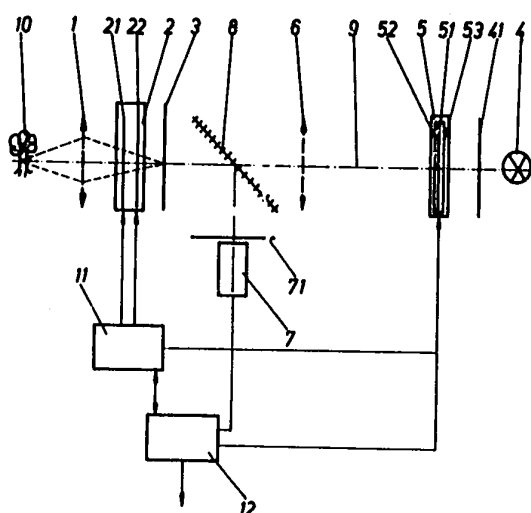


Fig.1

Patentansprüche:

1. Anordnung zur optischen, multicharakteralen Bildanalyse mit einem Aufnahmestrahlangang, der ein herkömmliches Kameraobjektiv und ein Bildaufzeichnungsmedium in der Bildebene des Kameraobjektives beinhaltet, mit einem Auswertestrahlangang, der aufeinanderfolgend eine Strahlungsquelle, eine in beliebige Maskenformen und -lagen schaltbare Blendenanordnung, ein optisch brechendes System das Bildaufzeichnungsmedium des Aufnahmestrahlanganges und einen optoelektronischen Empfänger enthält, wobei der Auswertestrahlangang mittels eines halbdurchlässigen Spiegels abgewinkelt ist und die Blendenanordnung über das optisch brechende System scharf in die Empfängerebene abgebildet ist, und mit einer an den Empfänger gekoppelten Auswerteeinheit für strukturzonale Werte, **gekennzeichnet dadurch**, daß die schaltbare Blendenanordnung ein Flüssigkristalldisplay ist, daß das Bildaufzeichnungsmedium ein opto-optischer Bildwandler ist, daß eine optische Filteranordnung vor dem Bildwandler im Aufnahmestrahlangang angeordnet ist und daß eine Steuereinheit zur wahlweisen Ansteuerung der Blendenanordnung und der Filteranordnung sowie zur Informationsübergabe der gewählten Blenden-Filter-Kombination an die Auswerteeinheit für strukturzonale Werte vorhanden ist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Blendenanordnung ein Flüssigkristalldisplay mit vorgeordnetem Polarisator und nachgeordnetem Analysator ist.
3. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Bildwandler ein in Reflexion auslesbarer LC-Bildwandler ist.
4. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die schaltbare optische Filteranordnung eine Farbfiltereinheit mit verschiedenen, wahlweise schaltbaren Farbfiltern ist.
5. Anordnung nach Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Farbfiltereinheit aus nematischen Flüssigkristallschichten mit eingelagerten unterschiedlichen Farbstoffen besteht, die in ihrer Transmission mittels des Guest-host-Effektes schaltbar sind.
6. Anordnung nach Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Farbfiltereinheit aus Interferenzerscheinungen erzeugenden, nematischen Flüssigkristallen, die sich zwischen gekreuzten Polarisatoren befinden, aufgebaut ist.
7. Anordnung nach Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Farbfiltereinheit aus zwei Twist-Zellen und zwei Phasenplättchen, die sich zwischen den Twist-Zellen und einem nachgeordneten Polarisator befinden, besteht.
8. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die schaltbare optische Filteranordnung aus einem drehbaren, linearen Polarisator besteht.
9. Anordnung nach Anspruch 8, **gekennzeichnet dadurch**, daß der drehbare, lineare Polarisator aus einer 90°-Twist-Zelle und einem stationären, linearen Polarisator besteht.
10. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die schaltbare optische Filteranordnung aus einer Farbfiltereinheit und einem drehbaren linearen Polarisator besteht.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine vorzugsweise kameraartige Anordnung zur optischen Verarbeitung zweidimensionaler Bildinformationen mittels multicharakteraler Analyse. Sie findet Anwendung auf dem Gebiet der Biologie, Medizin, des Umweltschutzes und deren Grenzgebieten zur Beurteilung biologischer und medizinischer Präparate, indem sie z. B. als Mikroskopkameraaufsatz eingesetzt wird. Weiterhin ist sie als optischer Sensor in der Robotertechnik geeignet, um verschiedenartige Bauelemente und sonstige Teile zu unterscheiden, und im Bauwesen zur schnellen optischen Beurteilung von Gebäuden verwendbar. Als weiteres Anwendungsgebiet ist die Sicherungstechnik denkbar.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Bekanntlich kann elektromagnetische Strahlung sowohl in Betrag und Phase, Wellenlänge sowie Polarisationsrichtung charakteristische Informationen enthalten, die geeignet sind, unterschiedliche Objektbilder voneinander zu unterscheiden. Dabei haben sich verschiedene Methoden der optischen Bildverarbeitung, die sich jeweils nach der als Informationsträger ausgenutzten Eigenschaft der elektromagnetischen Wellen unterscheiden, durchgesetzt:

- strukturelle Bildanalyse
- multispektrale Bildanalyse
- polarisationsoptische Bilduntersuchung.

Die strukturzonale Bildanalyse kann sowohl kohärent (Beispiele hierfür sind von PERNICK et al. in Appl. Opt. 17 [1] 1987, 21 und von KRÜGER et al. in Appl. Opt. 16 [10] 1977, 2637 angegeben) als auch inkohärent (Beispiele hierfür sind veröffentlicht von CARTWRIGHT et al. in Proc. of SPIE, Vol. 422, N.Y. 1983 und in der DD-PS 246466).

Im Gegensatz zur strukturzonalen Analyse nutzt die Multispektraltechnik nicht die örtliche Verteilung von Betrag und Phase der elektromagnetischen Welle, sondern deren spektrale Zusammensetzung als Informationsträger aus.

Nach der Zerlegung in verschiedene Spektralkanäle mittels einer Multispektralkamera (beispielsweise MKF 6, MSK-4 vom Kombinat VEB Carl Zeiss JENA) wird über einen Multispektralprojektor (z. B. MSP 4C vom gleichen Hersteller) oder eine spezielle elektronische Datenverarbeitungseinrichtung eine Bewertung des Bildinhaltes auf Grund der spektralen Anteile in einzelnen Bildteilen vorgenommen. Diese Methode hat vor allem den Nachteil, daß die Aufnahme und die Auswertung zeitlich auseinanderfallen und die Auswertung relativ aufwendig ist. Die Bildinformation kann auch ausschließlich oder zusätzlich in der örtlichen Verteilung der Polarisationsrichtung der elektromagnetischen Welle enthalten sein. Ein typisches Beispiel dafür ist in der Polarisationsmikroskopie gegeben, bei der die zu untersuchende Probe mit linear polarisiertem Licht beleuchtet, die Polarisationsrichtung örtlich entsprechend der Stoffverteilung der zu untersuchenden Probe geändert wird und die elektromagnetische Welle bildseitig durch einen Analysator (Polarisationsfilter) untersucht und bewertet wird (vgl. z. B. BEYER: Handbuch der Mikroskopie, Verlag Technik, Berlin).

Der Stand der Technik ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß die zur Objektklassifikation genutzte Bildinformation entweder nur strukturzonal oder nur multispektral oder nur polarisationsoptisch verarbeitet wird. Ein erster Ansatz zur Kopplung strukturzonaler und multispektraler Verarbeitung wird von ZIMAN („O Strukturzonalnej Metodike“ in „Isledovanie Zemli iz Kosmosa“ [1980] 4) angegeben. Dabei werden die zur Klassifikation genutzten strukturzonalen Parameter durch mehrere multispektrale Parameter ergänzt, die jeweils einen über den gesamten, erfaßten Bildausschnitt (Operationseinheit) gemittelten Intensitätswert in je einem Spektralkanal repräsentieren. Es handelt sich hierbei also um eine Hinzunahme zusätzlicher Parameter und damit um eine Erhöhung der Anzahl der elektronisch zu bewertenden Meßwerte, die voneinander unabhängig sind und somit den Auswerteaufwand materiell und zeitlich vergrößern.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, eine Möglichkeit zur schnellen optischen Bildverarbeitung zu finden, mit einfachen Mitteln in Quasi-Echtzeit zu sicheren Aussagen über die betrachteten Objekte zu gelangen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine kameraartige Anordnung zur optischen Bildverarbeitung mittels multicharakteraler Analyse zu realisieren, die zur Erhöhung der Klassifikationswahrscheinlichkeit keinen höheren Aufwand für die elektronisch zu verarbeitenden Meßwerte benötigt.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einer Anordnung zur optischen, multicharakteralen Bildanalyse mit einem Aufnahmestrahlangang, der ein herkömmliches Kameraobjektiv und ein Bildaufzeichnungsmedium in der Bildebene des Kameraobjektives beinhaltet, mit einem Auswertestrahlangang, der aufeinanderfolgende eine Strahlungsquelle, eine in beliebige Maskenformen und -lagen schaltbare Blendenanordnung, ein optisch brechendes System das Bildaufzeichnungsmedium des Aufnahmestrahlanganges und einen optoelektronischen Empfänger enthält, wobei der Auswertestrahlangang mittels eines halbdurchlässigen Spiegels abgewinkelt ist und die Blendenanordnung über das optisch brechende System scharf in die Empfängerebene abgebildet ist, und mit einer an den Empfänger gekoppelten Auswerteeinheit für strukturzonale Werte, dadurch gelöst, daß die schaltbare Blendenanordnung ein Flüssigkristalldisplay ist, daß das Bildaufzeichnungsmedium ein opto-optischer Bildwandler ist, daß eine optische Filteranordnung vor dem Bildwandler im Aufnahmestrahlangang angeordnet ist und daß eine Steuereinheit zur wahlweisen Ansteuerung der Blendenanordnung und der Filteranordnung sowie zur Informationsübergabe der gewählten Blenden-Filter-Kombination an die Auswerteeinheit für strukturzonale Werte vorhanden ist.

Vorteilhaft läßt sich als Blendenanordnung ein Flüssigkristalldisplay mit vorgeordnetem Polarisator und nachgeordnetem Analysator einsetzen, um beliebig, geeignete Maskenformen und -lagen realisieren zu können. Der Bildwandler ist vorzugsweise ein in Reflexion auslesbarer LC-Bildwandler.

Die schaltbare Filteranordnung kann aus einer Farbfiltereinheit und/oder einem linearen, drehbaren Polarisator bestehen. Dabei ergeben sich für die Farbfiltereinheit verschiedene Realisierungsmöglichkeiten.

Die Farbfiltereinheit besteht zweckmäßig aus Interferenzerscheinungen erzeugenden, nematischen Flüssigkristallen, die sich zwischen gekreuzten Polarisatoren befinden, so daß sich durch Variationen der Ansteuerungsspannung verschiedene Interferenzfarben ergeben.

Eine andere Möglichkeit für die Farbfiltereinheit besteht in dem Aufbau aus zwei Twist-Zellen und zwei Phasenplättchen, die von einem Polarisator gefolgt werden, wodurch mit der Kombination von einzelnen Schaltzuständen vier Grundwellenlängen einstellbar sind.

Die günstigste Realisierung für die Farbfiltereinheit ergibt sich bei Verwendung von nematischen LC-Schichten mit eingelagerten unterschiedlichen Farbstoffen, die in ihrer Transmission mittels der Guest-host-Effektes schaltbar sind.

Der lineare, drehbare Polarisator läßt sich vorteilhaft aus einem linearen Polarisator und einer 90°-Twist-Zelle zusammensetzen.

Die Arbeitsweise einer solchen erfindungsgemäßen Kamera ist dadurch charakterisiert, daß zyklisch der Ansteuerzustand der unstrukturierten, schaltbaren Farbfiltereinheit und/oder des drehbaren Polarisators geändert wird und während eines festgehaltenen Ansteuerzustandes dieser optischen Filteranordnung mittels der bekannten Art und Weise der inkohärent-strukturzonalen Analyse zonenintegrale Meßwerte durch entsprechende Variationen der in der Blendenanordnung erzeugten Maskenformen und -lagen ermittelt werden.

Bei k verschiedenen Zuständen des Farbfilters und l verschiedenen Zuständen des Polarisationsfilters sowie in verschiedenen Maskenformen und/oder Maskenlagen der Blendenanordnung entstehen, mittels der Steuereinheit nacheinander verschieden kombiniert, insgesamt (maximal) $N = k \cdot l \cdot m$ verschiedene multicharakterale Meßwerte, wenn alle Möglichkeiten der erfindungsgemäßen Anordnung ausgeschöpft werden.

Die Blendenanordnung ist dabei zur Realisierung verschiedener Maskenformen und -lagen als strahlende Flächen für die an sich bei der inkohärent-strukturzonale Analyse bekannte Festlegung der Integrationszonen eingesetzt. Es muß gewährleistet werden, daß die strahlenden Flächen polychromatisches bzw. polychromatisches, linear polarisiertes Licht abgeben. Um hinreichende Inkohärenz der Strahlung zu erreichen, kann zwischen der konventionellen, thermischen Strahlungsquelle und der Blendenanordnung noch eine Streuscheibe angeordnet sein.

Entscheidende Bedeutung für die Erfüllung der Aufgaben als Echtzeit-Bildverarbeitungskamera hat das eingesetzte Bildspeichermedium, das als schneller LC-Bildwandler für einen parallelen Auswertevorgang geeignet ist.

Wesentlich für die Funktionsweise der Anordnung ist – wie bei der strukturzonalen Analyse üblich – der sogenannte Programmierungs- bzw. Lernprozeß für die erforderlichen Vergleichswerte in der Auswerteeinheit, der trotz der Hinzunahme von verschiedenen anderen charakteristischen Eigenschaften der Strahlung keinen zusätzlichen Programmieraufwand erfordert. Wellenlänge und/oder Polarisationszustand der betrachteten Objekte werden damit in den strukturzonalen Auswerteprozess direkt integriert und steigern die Zuverlässigkeit der Aussagen über die Objekte. Es ist ergänzend zu erwähnen, daß die Grundidee der Erfindung bei nicht geforderter Echtzeitbildverarbeitung auch an Bildspeichermedien, die einen Zwischenbearbeitungsprozeß unterliegen, realisierbar ist, indem der Aufnahmestrahlangang vom Auswertestrahlangang getrennt wird. Ebenso lassen sich Objekttaufnahmen, die nicht multispektral oder polarisationsoptisch zerlegt wurden, in dem erfindungsgemäßen Auswertestrahlangang durch nachträgliches Einbringen von Farb- und/oder Polarisationsfiltern, möglichst in die Nähe des Empfängers, noch multicharakteral auswerten.

Mit der erfindungsgemäßen Anordnung ist mit einfachen Mitteln eine in Quasi-Echtzeit arbeitende Anordnung entstanden, die eine multicharakterale Bildverarbeitung auf der Basis von strukturzonaler, multispektraler und polarisationsoptischer Analyse ermöglicht, ohne den Aufwand für die elektronische Bewertung der Meßwerte zu erhöhen. Die erreichbaren Klassifikationswahrscheinlichkeiten lassen sich steigern, oder es kann mit weniger Meßwerten die Auswertzeit gesenkt werden.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend anhand zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Die Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: die erfindungsgemäße Anordnung in ihrem Grundaufbau

Fig. 2: den Aufbau einer Farbfiltereinheit und

Fig. 3: eine Variante der Bildverarbeitung.

Die erfindungsgemäße Anordnung besteht in ihrem Grundaufbau, wie in Fig. 1 dargestellt, aus einem Aufnahmestrahlangang mit einem Kameraobjektiv 1, einer optischen Filteranordnung 2 und einem Bildwandler 3 sowie einem Auswertestrahlangang mit einer thermischen Strahlungsquelle 4, einer Blendenanordnung 5, einem optisch brechenden System 6, dem Bildwandler 3 und einem opto-elektronischen Empfänger 7.

Dabei sind Aufnahme- und Auswertestrahlangang im wesentlichen auf einer gemeinsamen optischen Achse 9 angeordnet. Lediglich der Empfänger 7 ist über einen halbdurchlässigen Spiegel 8 mit der gemeinsamen optischen Achse 9 gekoppelt.

Die Blendenanordnung 5 ist dabei aus einer Flüssigkristallzelle 51, und Polarisatoren 52, 53 zusammengesetzt, wobei die Flüssigkristallzelle 51 zwischen den gekreuzten Polarisatoren angeordnet ist.

Der Bildwandler 3 ist in dieser Anordnung ein in Reflexion arbeitender Bildwandler, beispielsweise auf LC-Basis. Übliche Bildwandler 3 stellen im Sinne der strukturzonalen Analyse nur Bilder zur ausleseseitigen Auswertung zur Verfügung, die lediglich die Information über die einschreibseitig durch das Kameraobjektiv 1 auf den Bildwandler 3 belichtete örtliche Intensitätsverteilung enthalten. Die in der örtlichen Spektral- und Polarisationsverteilung der Objektszene 10 enthaltene Bildinformation ist dadurch nicht erfassbar. Deshalb wird die Filteranordnung 2, die sich vor dem Bildwandler 3 befindet, zur Wandlung der Spektral- und Polarisationsanteile der Strahlung in Intensitätsverteilungen eingesetzt.

Die Filteranordnung 2 kann aus einer Farbfiltereinheit 21 und/oder aus einem drehbaren Polarisator bestehen. Das gewählte Ausführungsbeispiel soll beide als Kombination beinhalten. Die Farbfiltereinheit kann sehr verschieden realisiert sein. So ist eine Möglichkeit dadurch gegeben, eine magazinierte und mechanisch schaltbare Anordnung verschiedener Festfilter zu verwenden. Für tragbare Kameras ist es jedoch bereits aus Massegründen günstiger auf Medien mit elektrooptischen Effekten zurückzugreifen. Die farbselektiven Filter können mit Interferenzerscheinungen erzeugenden, nematischen LC-Schichten zwischen gekreuzten Polarisatoren realisiert werden, wobei durch Variation der Ansteuerspannung verschiedene Interferenzfarben erzeugt werden.

Eine weitere Realisierungsmöglichkeit ist eine Anordnung aus zwei Twist-Zellen und zwei Phasenplättchen, die sich jeweils zwischen den Twistzellen und einem nachgeordneten Polarisator befinden. Durch Kombination der einzelnen Schaltzustände sind vier Grundwellenlängen mit einer Breite von etwa 100 nm einstellbar.

Die aussichtsreichste Variante von schaltbaren Farbfiltern beruht auf der Ausnutzung des Guest-host-Effektes, wobei mit nematischen Flüssigkristallen und eingelagerten Farbstoffen bei Spannungsänderung eine Absorptionsänderung erreicht wird.

Fig. 2 zeigt dazu den Aufbau der gesamten Farbfiltereinheit. Zwischen mit transparenten Elektroden 121 beschichteten Glaträgern 122 wird durch bekannte Orientierungstechniken eine planare Orientierung der mit Farbstoff dotierten, nematischen LC-Schicht 123 erreicht. Bestrahlt man diese aus drei Jerartigen Zellen bestehende Anordnung, wobei jede Zelle einen anderen Farbstoff enthält, mit dem den Polarisator 124 passierenden, linear polarisierten Licht, können in verschiedenen Ansteuerzuständen unterschiedliche Farben selektiert werden. Diese Farbselektion ist beispielsweise auf die Farben blau, gelb, rot einstellbar.

Für die Analyse des Polarisationszustandes mittels des drehbaren linearen Polarisators 22 ist es vorteilhaft, eine 90°-Twist-Zelle in Verbindung mit einem linearen Polarisator einzusetzen.

In der Twist-Zelle erfolgt eine Drehung der Polarisationsrichtung um 90°, wenn diese mit einer der Achse des LC-Direktors übereinstimmt. Legt man eine Spannung an den Flüssigkristall, wird die Verdrillung der LC-Moleküle und damit die Drehung der Polarisationsrichtung aufgehoben. Damit ist beispielsweise im spannungslosen Zustand die x- und im angesteuerten Zustand die y-Komponente auswertbar.

Weitere Elemente in Fig. 1, die die Auswertung verbessern sind eine Streuscheibe 41, die der Strahlungsquelle 4 zuzuordnen ist, damit das von ihr abgegebene Licht ausreichende Inkohärenz aufweist, sowie eine Blende 71, die z. B. als pinhole-Blende auf der abgewinkelten optischen Achse direkt dem Empfänger 7 vorgeordnet ist.

Die Farbfiltereinheit 21 und der drehbare lineare Polarisator 22 erhalten ihre Ansteuersignale von einer Ansteuereinheit 11, die mit der Auswertereinheit 12 über Synchron- und Rückmeldesignale in Verbindung steht. Außerdem erfolgt von der Ansteuereinheit 11 die Ansteuerung der Blendenanordnung 5, so daß für jeweils eine festgehaltene Filterkombination der Farbfiltereinheit 21 und des drehbaren linearen Polarisators 22 verschiedene Maskenformen und -lagen realisiert werden, die jeweils einen multicharakteralen Meßwert am Ausgang des optoelektronischen Empfängers 7 zur Folge haben. Die Auswertereinheit 12 führt mit dieser Meßwertfolge genau dieselben Operationen aus, wie sie für die strukturzonale Analyse erforderlich sind. Damit bleibt der Programmierungs- und Auswerteaufwand prinzipiell im gleichen Umfang wie bei der ausschließlich strukturzonalen Analyse erhalten.

In Fig. 3 ist zur Erläuterung einer weniger anspruchsvollen Bildverarbeitungsvariante gemäß der Grundidee der Erfindung angegeben. Hierbei wird angenommen, daß die Objektszene 10 in einem bereits abgeschlossenen Aufnahme-prozeß auf ein Bildspeichermedium 31 gebracht wurde, wobei Farb- und Polarisationsverteilung der Objektszene 10 mit enthalten sind. Für diesen Fall vereinfacht sich die Anordnung und die Filteranordnung 2 mit Farbfiltereinheit 21 und drehbarem linearem Polarisator 22 muß in den Auswertestrahlangang gebracht werden, wobei die Notwendigkeit der Abknickung der gemeinsamen optischen Achse gemäß Fig. 1 nicht (oder nur im Ausnahmefall: nichttransparentes Bildspeichermedium 31) notwendig ist. Die Filteranordnung 2, die in gleicher Weise, wie im ersten Beispiel beschrieben, aufgebaut ist und in gleicher Art angesteuert wird, wird vorteilhaft in unmittelbarer Nähe des Empfängers 7 angeordnet. Die Ansteuerung, Synchronisation und Auswertung der wiederum multicharakteralen Meßwerte erfolgt analog dem ersten Ausführungsbeispiel.

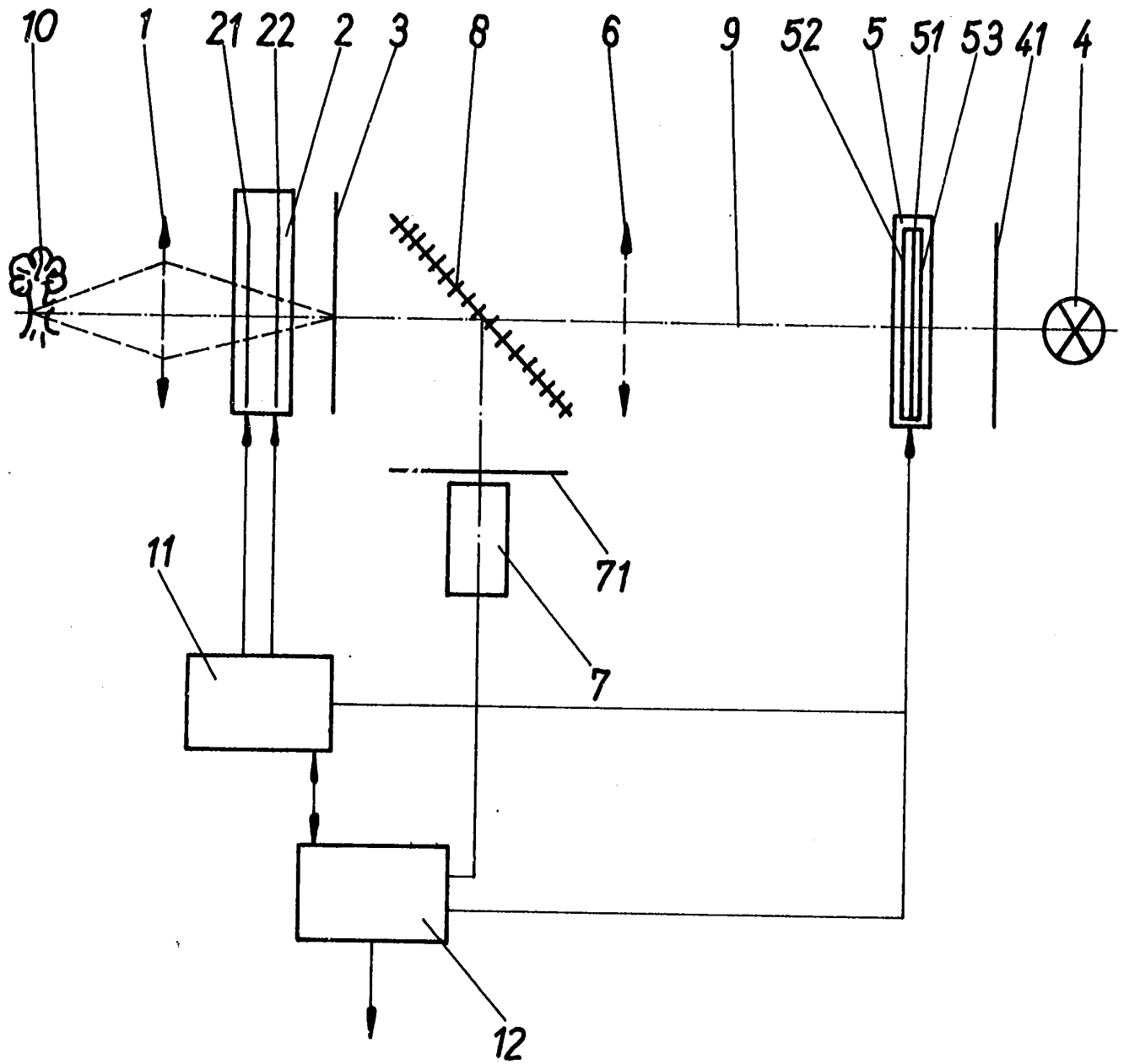


Fig.1

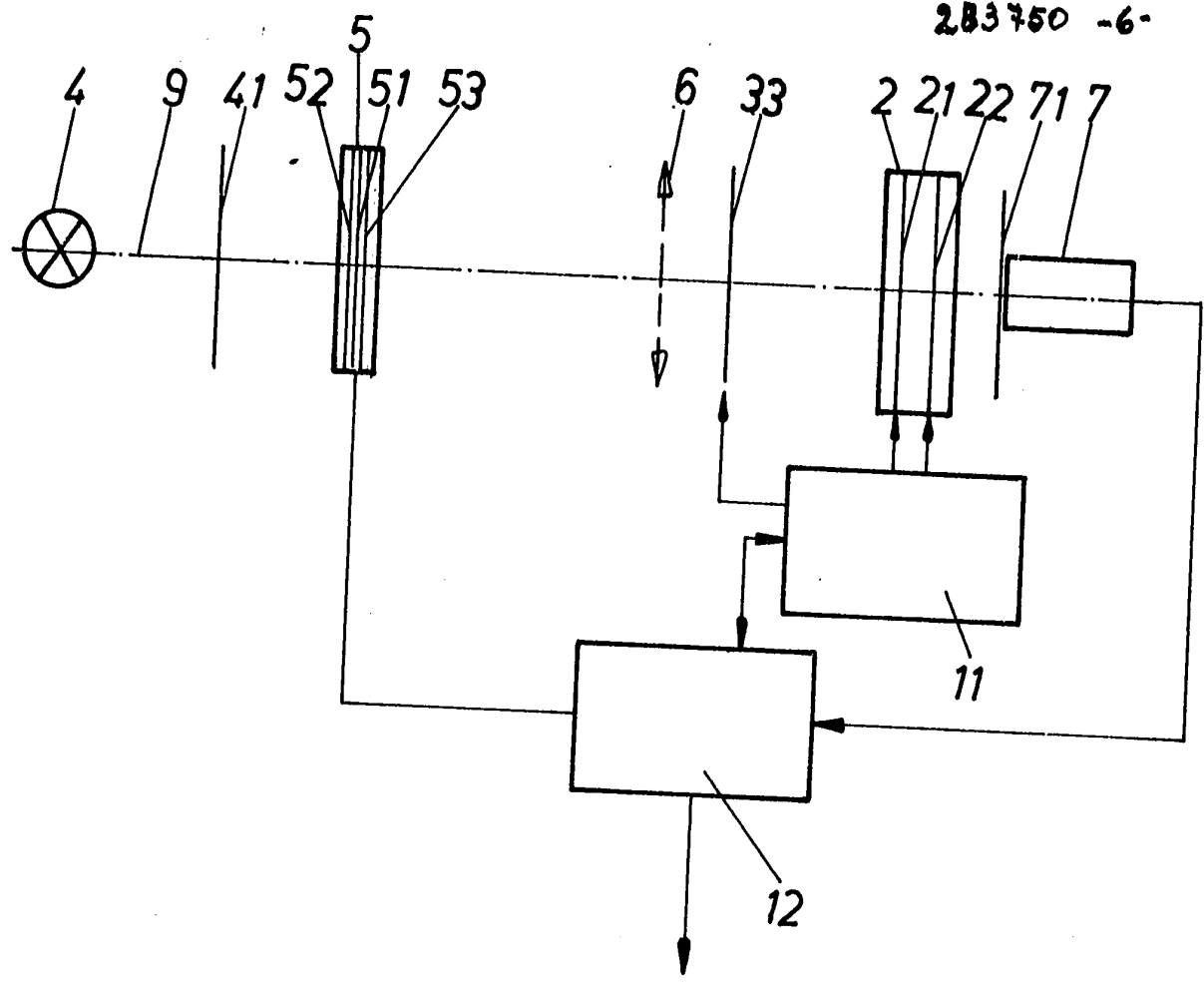


Fig. 3

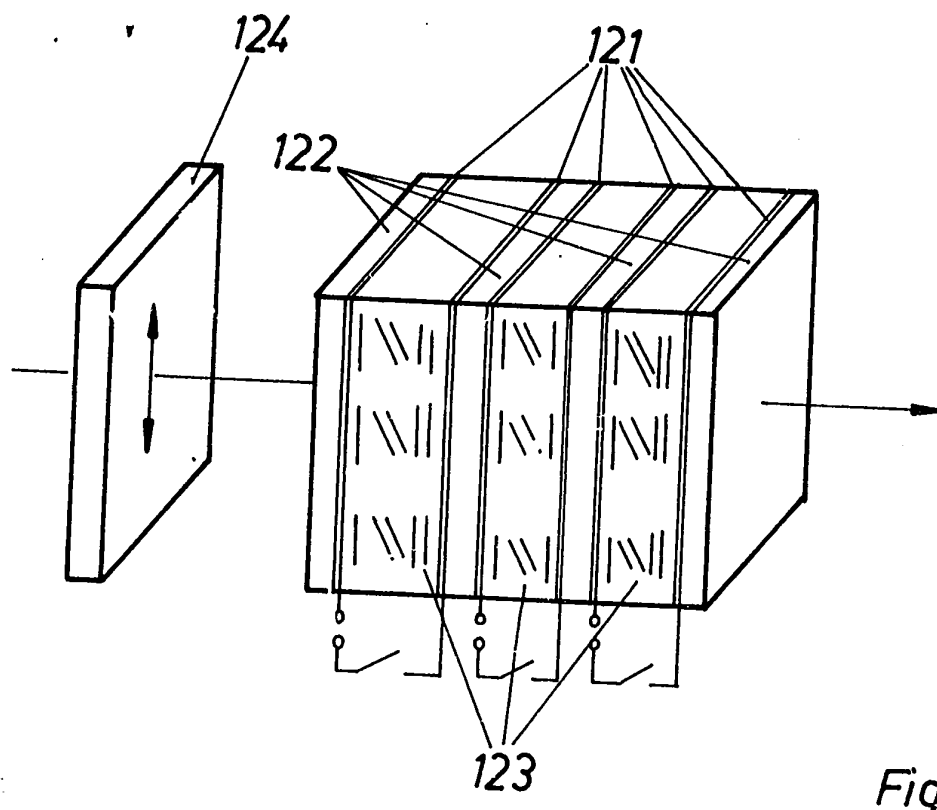


Fig. 2