



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑯ Gesuchsnummer: 3201/86

⑯ Inhaber:
VEB Carl Zeiss Jena, Jena (DD)

⑯ Anmeldungsdatum: 08.08.1986

⑯ Erfinder:
Braunschweig, Thomas, Jena (DD)
Beck, Bernard, Jena-Lobeda (DD)
Dieter, Norbert, Jena-Lobeda (DD)

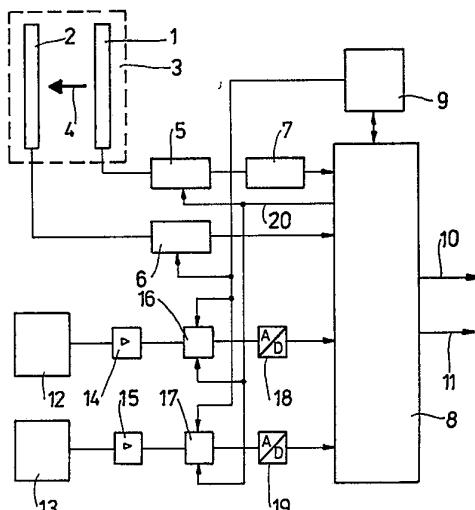
⑯ Patent erteilt: 15.09.1989

⑯ Vertreter:
Bovard AG, Bern 25

⑯ Patentschrift
veröffentlicht: 15.09.1989

④ Verfahren und Anordnung zur automatischen Steuerung von Luftbildaufnahmekameras.

⑤ Ein Objektiv bildet das überflogene Gelände auf eine Projektionsfläche ab, wobei auf der Projektionsfläche (3) mindestens zwei Photoempfängerzeilen (1, 2) senkrecht zur Bewegungsrichtung (4) des Geländeabbildes angebracht sind und aus den Signalen der Photoempfänger (1, 2) Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit des Geländeabildes auf der Projektionsfläche (3) und damit die Abdrift und das v_g/h_g -Verhältnis bestimmt wird. Ziel und Aufgabe der Erfahrung bestehen in der Eliminierung von durch Kippungen (ω) um die Flugzeuglängs- bzw. -querachse (φ) hervorgerufenen Fehler der Bestimmung von v_g/h_g und Abdrift. Dazu wird zeitgleich mit dem Auslesen der Photoempfängerzeilen (1, 2) die Kippung (ω, φ) des Flugzeugs bestimmt und bei der Auswertung der Signale der Photoempfänger (1, 2) berücksichtigt. Das Anwendungsbereich der Erfahrung bilden Steuergeräte für Luftbildaufnahmekameras.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur automatischen Steuerung von Luftbildaufnahmekameras, bei dem die Verschiebung eines Geländeabildes auf einer Projektionsfläche (3) mittels Vergleich durch Korrelation der Billddaten von zwei auf der Projektionsfläche (3) im wesentlichen senkrecht zur Bewegungsrichtung (4) des Geländeabildes angeordneten Photoempfängerzeilen (1, 2) bestimmt wird, wobei die Bilddaten der in Bewegungsrichtung (4) des Geländeabildes vorn liegende Zeile zwischengespeichert und in einem Zeitraster (9) mit den Bilddaten der zweiten Photoempfängerzeile (2) verglichen werden, und aus der für die Verschiebung identischer Bildstrukturen von der ersten (1) zur zweiten Zeile (2) bestimmten Zeit das v_g/v_h -Verhältnis, d. h. das Verhältnis der Geschwindigkeit über Grund zur Höhe über Grund, und aus der Verschiebung entlang der Zeilenrichtung die Abdrift bestimmt und diese Werte in Steuerdaten für die Luftbildkamera umgesetzt werden, gekennzeichnet dadurch, dass im wesentlichen im gleichen Zeitraster (9) mindestens die Grösse der Kippung (ω) des Flugzeugs um seine Längsachse bestimmt wird, dass aus der Grösse dieser Kippung (ω) die entsprechende Verschiebung des Abbildes der Bildstruktur berechnet wird und dass bei dem Vergleich der Bilddaten der beiden Zeilen (1, 2) die durch die Kippung (ω) bewirkte Verschiebung berücksichtigt wird.

2. Verfahren zur automatischen Steuerung von Luftbildaufnahmekameras nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass aus der Grösse der Kippung (ω) des Flugzeugs der Teil der Bilddaten der beiden Zeilen (1, 2), der gleiche Bildstrukturen enthält, bestimmt, und dass zum Vergleich nur dieser Teil der Bilddaten herangezogen wird.

3. Verfahren zur automatischen Steuerung von Luftbildaufnahmekameras nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, dass die Zahl n der Pixel der beiden Zeilen (1, 2), deren Bilddaten die gleiche Bildstruktur repräsentieren, nach Formel

$$n = \frac{n}{2} \left[1 - \frac{\tan(\omega-\sigma)}{\tan \sigma} \right]$$

berechnet wird, wobei n die Gesamtzahl der Pixel der Zeilen, δ der Bildwinkel der Photoempfängerzeilen und ω die festgestellte Verkippung ist.

4. Verfahren zur automatischen Steuerung von Luftbildaufnahmekameras nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass weiterhin im gleichen Zeitraster (9) die Kippung des Flugzeugs um seine Querachse (ϕ) bestimmt wird, dass aus der Grösse dieser Kippung (ϕ) die entsprechende Verschiebung des Abbildes der Bildstruktur berechnet wird, dass aus dieser Verschiebung ein Korrekturwert für die Bewegungsgeschwindigkeit des Geländeabildes gebildet wird, und dass dieser Korrekturwert bei der Bestimmung des v_g/v_h -Verhältnisses berücksichtigt wird.

5. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, bei der in einer Projektionsfläche (3) eines Objektivs mindestens zwei Photoempfängerzeilen (1, 2) angebracht sind, wobei den beiden Photoempfängerzeilen (1, 2) eine Signalverarbeitungseinheit nachgeschaltet ist, welche mindestens aus einem Zeitgeber (9), einem Zwischenspeicher (7) für die von den Photoempfängerzeilen (1, 2) gelieferten Bilddaten, einer Korrelatorschaltung und einer Steuerimpulserzeugungsschaltung besteht, gekennzeichnet dadurch, dass die Signalverarbeitungseinheit eine Datenkorrekturschaltung aufweist, welche mit Sensoren zur Bestimmung der Grösse der Kippungen (ω) um die Flugzeuglängs- bzw. -querachse (ϕ) verbunden ist.

6. Anordnung nach Anspruch 5, gekennzeichnet dadurch,

dass die Datenkorrekturschaltung eine Rechenschaltung, welche nach der Formel

$$5 \quad \bar{n} = \frac{n}{2} \left[1 - \frac{\tan(\omega-\sigma)}{\tan \sigma} \right]$$

die Zahl der Pixel bestimmt, deren Bilddaten identische Bildstrukturen repräsentieren, wobei n die Gesamtzahl der Pixel, δ den Bildwinkel der Photoempfängerzeilen und ω die Kippung um die Längsachse bedeuten, sowie eine Auswahlsschaltung, die mit der Korrelatorschaltung verbunden ist, aufweist, welche nur die so bestimmten Bilddaten an die Korrelatorschaltung abgibt.

15 7. Anordnung nach Anspruch 5, gekennzeichnet dadurch, dass als Sensoren Winkelgeschwindigkeitsgeber (12, 13) vorgesehen sind, dass den Winkelgeschwindigkeitsgebern (12, 13) Integratoren (16, 17) nachgeschaltet sind, welche sowohl mit der Datenkorrekturschaltung als auch mit dem Zeitgeber (9) elektrisch verbunden sind.

8. Anordnung nach Anspruch 5, gekennzeichnet dadurch, dass die Signalverarbeitungseinheit aus mindestens einem Mikrorechner (8) mit entsprechenden Peripheriebaugruppen besteht.

25

BESCHREIBUNG

30 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur automatischen Steuerung von Luftbildaufnahmekameras gemäss den Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 5, bei der mindestens das Verhältnis von Geschwindigkeit über Grund zur Höhe über Grund (v_g/v_h) und die Abdrift bestimmt und aus diesen Daten Steuerdaten für die zeitgerechte Auslösung der Kamera zur Erzielung von konstanten Bildüberdeckungen bei Reihenaufnahmen sowie für die Kompensation der Abdrift gebildet werden.

Automatische Steuergeräte für Luftbildkameras sind 40 bekannt. Im DD-WP 115 809 ist ein Steuergerät beschrieben, welches in der Projektionsfläche eines Objektivs zwei von einander getrennte digitale Photoempfängermatrizen mit je vier Zeilen enthält, denen eine Informationsverarbeitungsstufe nachgeschaltet ist, welche das Bildfolgeintervall, die 45 Abdrift und weitere Einstellwerte der Kamera berechnet und mit diesen Werten die Luftbildkamera steuert.

In der DE-OS 3 427 066 ist ein Steuergerät beschrieben, 50 welches in der Projektionsfläche mindestens zwei senkrecht zur Bewegungsrichtung des Geländeabildes verlaufende Photoempfängerzeilen aufweist, denen Datenspeicher und eine Korrelationsschaltung nachgeordnet sind, mit deren Hilfe das Bildfolgeintervall und die Abdrift bestimmt werden.

Die Arbeitsweise der bekannten Lösungen beruht auf der 55 Bestimmung der Grösse der Verschiebung identischer Bildstrukturen über die Projektionsfläche, welche durch Korrelation der von den zwei Photoempfängerzeilen (-matrizen) zu verschiedenen Zeitpunkten gelieferten Helligkeitswerte des Geländeabildes bestimmt werden. Bei bekanntem Abstand 60 der beiden Zeilen voneinander ist die Zeit, in der eine Bildstruktur von der einen Zeile zur anderen wandert ein Mass für das v_g/v_h -Verhältnis, während die Verschiebung der Struktur innerhalb der Zeile (Querverschiebung) ein Mass für die Abdrift ist.

65 Die bekannten Lösungen mit zwei parallelen Zeilen (Matrizen) weisen den Nachteil auf, dass die Bestimmung von v_g/v_h und der Abdrift bei plötzlichen Bewegungen des Flugzeugs um seine Längs- bzw. Querachse, wie sie durch

Turbulenzen, Flugkorrekturen u. ä. praktisch ständig auftreten, sehr fehlerhaft arbeitet bzw. sogar vollständig versagt. Zur Lösung dieses Problems wurde im DD-WP 222 395 vorgeschlagen, eine dritte Zeile parallel zur Bewegungsrichtung des Geländeabbildes in der Projektionsfläche anzutragen, welche über einen eigenen Korrelator verfügt, mit dessen Hilfe eine «differentielle» v_g/v_h -Bestimmung erfolgt. Diese Lösung erfordert einen erheblichen Mehraufwand (3. Zeile) und erbringt nur für die v_g/v_h -Bestimmung eine Abhilfe. Das Kippen des Flugzeugs um die Längsachse bewirkt eine plötzliche Verringerung des Korrelationsfaktors der Daten der dritten Zeile, diese tritt jedoch auch bei Abdrift des Flugzeugs auf, so dass keine Möglichkeit zur Trennung der beiden Ursachen und somit zur Angabe der Einwirkung der Verkippung auf das Ergebnis der Abdriftbestimmung besteht. In solchen Fällen bleibt nur die Möglichkeit, die bestimmte Abdrift nicht zur Steuerung der Kamera heranzuziehen und den Zyklus der Abdriftbestimmung neu zu starten. Somit ist die Funktionsfähigkeit des Steuergerätes stark eingeschränkt.

Es ist das Ziel der Erfindung, die korrekte Funktion eines automatischen Steuergerätes auch unter ungünstigen Flugbedingungen zu gewährleisten und so einen Beitrag zur Verringerung des personellen Aufwandes beim Bildflug und zur Erhöhung der Qualität des gewonnenen Bildmaterials zu leisten.

Die Erfindung hat die Aufgabe, ein Verfahren und eine Anordnung zur automatischen Steuerung einer Luftbildaufnahmekamera anzugeben, welches auch bei plötzlichen Bewegungen des Flugzeugs um seine Längs- bzw. Querachse korrekte Werte für das v_g/v_h -Verhältnis und die Abdrift liefert.

Erfnungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur automatischen Steuerung von Luftbildaufnahmekameras, bei dem die Verschiebung eines Geländeabildes auf einer Projektionsfläche mittels Vergleich durch Korrelation der Bilddaten von zwei auf der Projektionsfläche im wesentlichen senkrecht zur Bewegungsrichtung des Geländeabildes angeordneten Photoempfängerzeilen bestimmt wird, wobei die Bilddaten der in Bewegungsrichtung des Geländeabildes vorn liegenden Zeile zwischengespeichert und in einem Zeitraster mit den Bilddaten der zweiten Photoempfängerzeile verglichen werden, und aus der für die Verschiebung identischer Bildstrukturen von der ersten zur zweiten Zeile bestimmten Zeit das v_g/v_h -Verhältnis, d. h. das Verhältnis der Geschwindigkeit über Grund zur Höhe über Grund, und aus der Verschiebung entlang der Zeilenrichtung die Abdrift bestimmt und diese Werte in Steuerdaten für die Luftbildkamera umgesetzt werden, gelöst, indem im wesentlichen im gleichen Zeitraster mindestens die Größe der Kippung des Flugzeugs um seine Längsachse bestimmt wird, aus der Größe dieser Kippung die entsprechende Verschiebung des Abbildes der Bildstruktur berechnet wird und bei dem Vergleich der Bilddaten der beiden Zeilen die durch die Kippung bewirkte Verschiebung berücksichtigt wird. Dabei ist es günstig, aus der Größe der Kippung den Teil der Bilddaten zu bestimmen, der gleiche Bildstrukturen enthalten kann, und nur diesen Teil für den Vergleich heranziehen. Die Zahl n der Pixel dieses Teils wird vorteilhafterweise nach der Formel

$$n = \frac{n}{2} \left[1 - \frac{\tan(\omega - \sigma)}{\tan \sigma} \right]$$

berechnet, wobei n die Gesamtzahl der Pixel, δ der Bildwinkel der Photoempfängerzeilen und ω die festgestellte Verkippung ist.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung ergibt sich, wenn weiterhin im gleichen Zeitraster die Kippung des Flugzeugs um seine Querachse bestimmt wird, aus der Größe dieser Kippung die entsprechende Verschiebung des Abbildes der Bildstruktur berechnet wird, aus dieser Verschiebung ein Korrekturwert für die Bewegungsgeschwindigkeit des Geländeabildes gebildet wird und dieser Korrekturwert bei der Bestimmung des v_g/v_h -Verhältnisses berücksichtigt wird.

Die erfungsgemäße Anordnung zur automatischen Steuerung einer Luftbildaufnahmekamera weist mindestens zwei Photoempfängerzeilen, welche in der Projektionsfläche eines Objektivs vorzugsweise senkrecht zur Bewegungsrichtung des Geländeabildes angebracht sind sowie eine den Photoempfängerzeilen nachgeschaltete Signalverarbeitungseinheit auf, welche mindestens aus einem Zeitgeber, einem Zwischenspeicher für die von den Photoempfängerzeilen gelieferten Bilddaten, einer Korrelatorschaltung und einer Steuerimpulserzeugungsschaltung besteht, wobei die Signalverarbeitungseinheit weiterhin eine Datenkorrekturschaltung enthält, welche mit Sensoren zur Bestimmung der Größe der Kippungen um die Flugzeulgäns- bzw. -querachse verbunden ist.

Vorteilhafterweise besteht die Datenkorrekturschaltung aus einer Rechenschaltung, welche nach der Formel

$$\tilde{n} = \frac{n}{1} \left[1 - \frac{\tan(\omega - \sigma)}{\tan \sigma} \right]$$

die Zahl der Pixel bestimmt, deren Bilddaten identische Bildstrukturen repräsentieren können, sowie einer mit der Korrelatorschaltung verbundenen Auswahlschaltung, welche nur die so bestimmten Bilddaten an die Korrelatorschaltung abgibt.

Die Sensoren können z. B. Winkelgeschwindigkeitsgeber sein, denen Integratoren nachgeschaltet sind, welche sowohl mit der Datenkorrekturschaltung als auch mit dem Zeitgeber elektrisch verbunden sind, aber auch geeignete andere Winkelgeber sind einsetzbar.

Es ist vorteilhaft, wenn die Signalverarbeitungseinheit aus mindestens einem Mikrorechner mit entsprechenden Peripheriebaugruppen besteht und das erfungsgemäße Verfahren durch eine geeignete Programmierung realisiert wird.

Der Vorteil der Erfindung besteht darin, dass durch Kippungen des Flugzeugs um seine Längs- bzw. Querachse herverufene Fehler der herkömmlichen optoelektronischen Bestimmung von Abdrift- bzw. v_g/v_h -Verhältnis eliminiert werden, indem die dadurch bewirkte Bildverschiebung berücksichtigt wird und nur die Bilddaten zur Korrelation herangezogen werden, welche gleiche Geländestrukturen repräsentieren. Weiterhin ergibt sich durch diese Massnahme ein schärferes Maximum der Korrelation und somit eine Erhöhung der Genauigkeit der für die Steuerung der Luftbildaufnahmekamera herangezogenen Messwerte.

Die Erfindung wird in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel anhand von zwei Zeichnungen erläutert. Es zeigen

Fig. 1: ein Blockschaltbild der erfungsgemäßen Anordnung

Fig. 2: eine Skizze zur Veranschaulichung der geometrischen Verhältnisse bei der Kippung um eine Flugzeugachse

In Fig. 1 befinden sich zwei Photoempfängerzeilen 1, 2 auf der Projektionsfläche 3 eines hier nicht dargestellten Objektivs. Der Pfeil 4 zeigt die Bewegungsrichtung des auf die Projektionsfläche 4 projizierten Geländeabildes an. Den Zeilen 1 und 2 ist je eine Ansteuerschaltung 5, 6, die auch Sample & Hold-Verstärker und A/D-Wandler enthält, nach-

geordnet. Der Ansteuerschaltung 5 der Zeile ist weiterhin ein Datenspeicher 7 nachgeschaltet. Der Datenspeicher 7 und die Ansteuerschaltung 6 sind mit einem Mikrorechner 8 verbunden, der von einem Taktgeber 9 getaktet wird. Der Rechner 8 weist Ausgänge 10, 11 für die Abdrift und das v_g/v_{hg} -Verhältnis auf. Zwei Winkelgeschwindigkeitsmessern 12, 13, die so im Flugzeug angebracht sind, dass sie auf die Kippung um die Flugzeuglängsachse (ω) und die Flugzeugquerachse (φ) reagieren, sind Verstärker 14, 15, Integratoren 16, 17 und A/D-Wandler 18, 19 nachgeschaltet. Die Datenausgänge der A/D-Wandler 18, 19 sind mit entsprechenden Eingängen des Rechners 8 verbunden. Der Taktgeber 9 weist Verbindungen zur Ansteuerschaltung 8 und den Integratoren 16, 17 auf.

Anhand dieses Ausführungsbeispiels wird jetzt das erfundungsgemäße Verfahren zur automatischen Steuerung einer Luftbildaufnahme näher erläutert.

Zum Start wird vom Rechner über eine Signalleitung 20 das Auslesen der Photoempfängerzeile 1 und die Abspeicherung der in digitale Werte umgewandelten Bilddaten im Speicher 7 bewirkt, ausserdem werden die in den Integratoren 16, 17 anstehenden Werte zurückgesetzt. Gleichzeitig wird der Taktgeber 9 dazu angestossen, Impulse in einem regelmässigen Zeitraster von z. B. 50 ms zu erzeugen und an die Ansteuerschaltung 6 sowie die Integratoren 16, 17 abzugeben. Bei jedem dieser Impulse wird die Zeile 2 ausgelesen und die in digitale Werte gewandelten Bilddaten an den Rechner abgegeben, gleichzeitig werden die nach der Integration der Winkelgeschwindigkeit während der Zeit zwischen den Impulsen in den Integratoren 16, 17 anstehenden Winkelwerte ausgelesen und mittels der A/D-Wandler 18, 19 in digitale Werte umgewandelt an den Rechner 8 abgegeben.

Der Rechner 8 berechnet jetzt für den Kippwinkel ω , um die Flugzeuglängsachse nach der Formel

$$\bar{n} = \frac{n}{1} \left[1 - \frac{\tan(\omega - \sigma)}{\tan \sigma} \right]$$

Die Zahl der Pixel der beiden Zeilen, auf die bei Vernachlässigung der Abdrift identische Bildstrukturen abgebildet werden. Die geometrischen Zusammenhänge dazu sind in Fig. 2 dargestellt, der schraffierte Teil zeigt den Bildteil, der auf beide Zeilen abgebildet wird. n ist dabei die Gesamtzahl der Pixel und δ der Bildwinkel der beiden Zeilen. Die Formel ist eine Näherung, die die Streckung der auf ein Pixel abgebildeten Geländestruktur bei Nichtparallelität zwischen Zeile und Gelände vernachlässigt, was bei $\omega < 10^\circ$ (maximaler

praktisch vorkommender Wert) wegen des Faktors $L \sim \cos \omega$ durchaus zulässig ist. Wie aus Fig. 2 ebenfalls hervorgeht, befinden sich die zum Vergleich der Bilddaten geeigneten Pixel stets an den entgegengesetzten Enden der beiden Zeilen; welches Ende jeweils zugrunde zu legen ist, wird durch das Vorzeichen von ω bestimmt. Mit den so bestimmten Bilddatenfolgen wird jetzt im Rechner 8 in dem durch den Taktgeber 9 definierten Zeitraster der Vergleich (Korrelation) zwischen den im Speicher 7 abgespeicherten 10 und den von Zeile 2 aktuell ankommenden Bilddaten durchgeführt, d. h. dass jeweils vor der Korrelation der Einfluss der Kippung um die Längsachse auf das «Gesichtsfeld» der Zeile 2 berücksichtigt wird. Die erhaltenen Korrelationsfaktoren werden abgespeichert und mit den bei den vorangegangenen 15 Korrelationen erhaltenen verglichen, um so das Maximum an Übereinstimmung zu finden. Dazu geeignete Verfahren sind bekannt, z. B. kann das in der DE-OS 3 427 066 angegebene benutzt werden. Ist das Korrelationsmaximum erreicht, so bedeutet das, dass jetzt das Geländebild sich von Zeile 1 zu 20 Zeile 2 bewegt hat. Aus der dazu notwendigen Zeit (d. h. der Zahl der Takte des Zeitrasters) und dem Abstand zwischen den Zeilen 1 und 2 wird das v_g/v_{hg} -Verhältnis bestimmt. Zur Berücksichtigung durch eine eventuelle Kippung φ um die Flugzeugquerachse bewirkten Bildverschiebung wird diese 25 Bildverschiebung bei der v_g/v_{hg} -Bestimmung zu dem festen Abstand der beiden Zeilen addiert, so dass jeweils ein korrigierter Abstandswert in die Rechnung eingeht. Dieses v_g/v_{hg} -Verhältnis und die aus der Verschiebung der beiden nach dem oben angegebenen Verfahren bestimmten Bilddaten- 30 folgen gegeneinander bestimmte Abdrift werden über die Ausgänge 10 und 11 vom Rechner an die Luftbildkamera abgegeben. Anschliessend beginnt der gesamte Zyklus erneut mit dem Einlesen der Bilddaten von Zeile 1 in Speicher 7 und dem Zurücksetzen der in den Integratoren 16, 17 anste- 35 henden Werte.

Die Realisierung der Erfindung ist nicht an das dargestellte Ausführungsbeispiel gebunden. So kann z. B. die Berücksichtigung der Kippung um φ auch mit der im DE-WP 222 395 dargestellten «differentiellen» Bestimmung des v_g/v_{hg} -Verhältnissen ausreichend sein. Als Sensoren für die Kippwinkel können auch andere geeignete Systeme, wie z. B. Kreisel, künstlicher Horizont u. ä. verwendet werden, insbesondere bietet sich an, auf die zur Navigation des Flugzeugs von vornherein vorhandenen Systeme zurückzugreifen. Des weiteren ist es gleich, ob mit dem Rechner 8 nur die numerischen Werte für v_g/v_{hg} und Abdrift oder sofort die notwendigen Steuerimpulse für die Luftbildkamera gebildet werden.

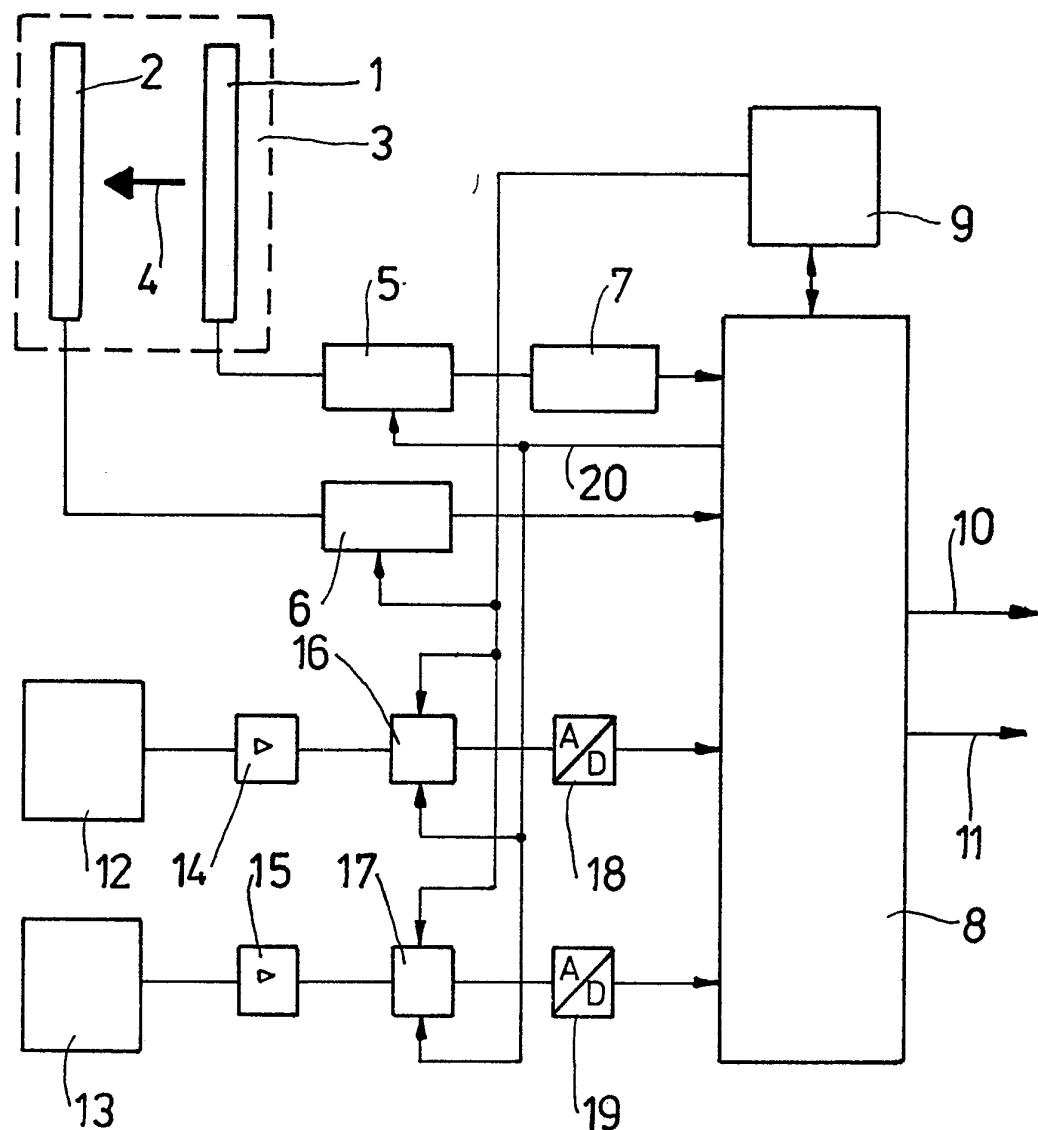


Fig. 1

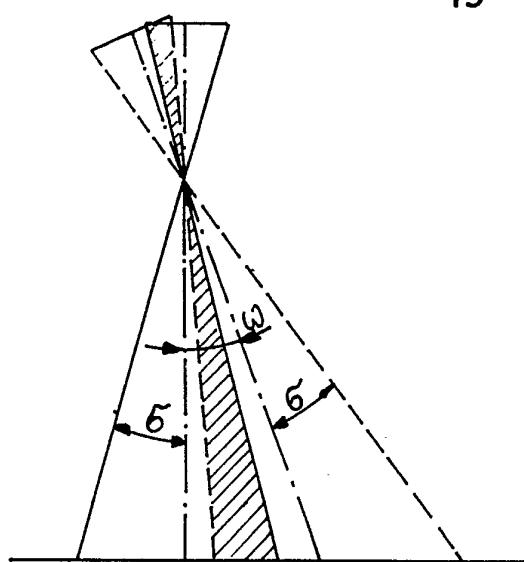


Fig. 2