



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 58 545 B4 2008.01.24**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 58 545.8**
 (22) Anmeldetag: **14.12.2002**
 (43) Offenlegungstag: **01.04.2004**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **24.01.2008**

(51) Int Cl.⁸: **B64C 27/58 (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. 2 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:
102 44 313.0 23.09.2002

(73) Patentinhaber:
Reich, Stefan, 82418 Murnau, DE

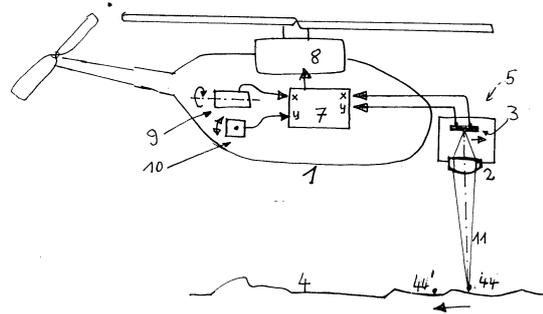
(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE 198 35 809 A1
DE 41 24 654 A1
DE 34 46 447 A1
DE 32 29 343 A1
DE 30 00 654 A
DE 695 07 168 T2
DE 695 02 379 T2
DE 694 26 738 T2
DE 693 10 695 T2
DE 690 12 278 T2
FR 24 31 705 A
US 57 38 300 A
US 46 71 650 A
WO 2004/0 25 386 A1
WO 03/0 67 351 A2
JP 10-3 28 427 A
RU 93 00 250 A

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zur Stabilisierung einer Translationsbewegungsgröße eines Flugkörpers**

(57) Hauptanspruch: Flug-Regel-System zur Stabilisierung einer Translationsbewegungsgröße eines Flugkörpers (1), mit einer Abbildungsoptik (2) zum abschnittsweisen Abbilden eines von der Flugposition aus sichtbaren Bildes einer Szene auf eine Sensorfläche eines optoelektronischen Sensors (3), wobei aus den dabei gewonnenen Signalen elektronisch ein Messwert einer Bildverschiebung gewonnen wird, wobei das System eine elektronische Schaltung (7) aufweist, die ausgebildet ist, den optoelektronisch gewonnenen Messwert von Einflüssen von Roll-Drehbewegungen des Flugkörpers (1) zu bereinigen, indem sie in einem Mischglied (24) zum Messwert ein Drehsignal kompensierend einmischt, welches zu einer der Größen Winkel oder Winkelgeschwindigkeit einer Rollrotation des Flugkörpers (1) proportional ist, und ferner ausgebildet ist, diesen gemischten Messwert zur Ansteuerung eines die Roll-Drehung des Flugkörpers (1) beeinflussenden Stellgliedes (8) unter Bildung eines geschlossenen Regelkreises zumindest anteilsweise heranzuziehen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zur Stabilisierung einer Roll-Fluglage eines Flugkörpers. Sie betrifft insbesondere ein System zur Messung von Bewegungsgrößen wie Geschwindigkeit und/oder Position eines Flugkörpers in mindestens einer Raumkoordinate, also in mindestens einer der sechs räumlichen Bewegungskomponenten, unter Verwendung optischer Sensorik. Ferner insbesondere ein Stabilisierungssystem zur Steuerung unbemannter oder bemannter Flugkörper. Zweck einer solchen Stabilisierung ist es, die Steuerung wesentlich zu vereinfachen oder auch vollständig zu übernehmen.

[0002] Besonders für ferngelenkte Hubschrauber ist eine solche Stabilisierung wichtig, da die Steuerung schwierig und nur geübten Piloten möglich ist. Beim Helikopter kann die Stabilisierung insbesondere eine oder beide horizontale Komponenten der Flugbewegung beinhalten. Ein weiteres mögliches Anwendungsgebiet der Erfindung ist die Vereinfachung der Steuerung bemannter Flugzeuge insbesondere in Bodennähe und beim Landevorgang. In weiteren Ausgestaltungen ergeben sich weitere Anwendungen, wie Abstandsmessung, Zielverfolgung, Abtastung eines Höhenreliefs des Bodens und Abstimmung der Flugbewegung mehrerer Flugkörper aufeinander.

[0003] Übliche ferngelenkte Hubschrauber, wie sie als Hobby und zur Flugfotografie verwendet werden, enthalten zu Stabilisierung lediglich einen piezoelektrischen Drehgeber, zur Stabilisierung um die Hochachse über den Heckrotor, nicht jedoch die anderen Steuer-Achsen.

[0004] Sowohl die DE 695 02 379 T2 als auch die JP-10328427 A beschreiben eine Regelung für Hubschrauber, wobei Instrumente für Gravitationsbeschleunigung und Drehgeschwindigkeit vorhanden sind, womit ein künstlicher Horizont dargestellt und die Schrägneigung der Rotorblätter geregelt wird.

[0005] Bei der US 5,738,300 A wird zusätzlich die Reisegeschwindigkeit gegenüber Luft (Air Speed) gemessen und geregelt. Eine Regelung über Grund, und besonders ein stationärer Schwebeflug, sind in allen genannten Fällen nicht möglich.

[0006] In der DE 695 07 168 T2 ist ein Stabilisierungssystem erwähnt, bei dem die Richtung des Lichteinfalls gemessen und ausgewertet wird, um eine Information über die Schräglage zu erhalten und diese zu regeln.

[0007] Die RU 9300250 A beschreibt ebenfalls ein solches System, wobei mehrere Lichtsensoren in einem opaken Gehäuse angeordnet sind, mit einer

Achse, die im Winkel von 4 bis 10° zur Waagrechten geneigt sind. Durch Änderung des Lichteinfalls soll sowohl Schrägneigung als auch Annäherung an Objekte erkannt und vermieden werden.

[0008] Beide letztgenannten Systeme sind auf eine gleichmäßige Beleuchtung und einen flachen Horizont angewiesen, um korrekt zu funktionieren.

[0009] Aus der DE 30 00 654 A ist ein System zur Darstellung der Bewegung eines Fahrzeugs relativ zu einer Oberfläche bekannt, bei dem Bilddaten auf Verschiebung ausgewertet werden, wobei aus den Verschiebungen die Position des Fahrzeugs ermittelt wird. Dieses System eignet sich im wesentlichen als Navigationssystem zur Darstellung der Bewegung oder Position des Fahrzeugs.

[0010] Aus der WO 2004/025386 A1 ist ein System zum gemeinsamen Regeln der Höhe und der horizontalen Geschwindigkeit eines Flugkörpers über Höhenruder bekannt. Höhe und Geschwindigkeit werden mittels zweier winkelpersektiver Bild-Sensoren und Differenzzeitmessung ermittelt.

[0011] Aus der US 4,671,650 A und der FR 2 431 705 A sind Systeme zum Bestimmen von Geschwindigkeit und Position eines Flugzeugs bekannt, die Daten zweier Bildsensoren verwenden, welche nach vorne und hinten Bilder des Bodens aufnehmen.

[0012] Aus der WO 03/067351 A2 ist ein Verfahren zum Steuern und Stabilisieren eines Flugkörpers bekannt, bei dem ein von außerhalb des Flugkörpers ausgesendeter Leitstrahl verwendet wird, um abhängig von dessen Einfallrichtung eine Fluglage zu regeln. Dieses System ist auf eine externe Lichtquelle angewiesen, die vorher an einem festen Bezugspunkt oberhalb des Flugkörpers, z.B. an einer Zimmerdecke anzubringen ist, um die Regelung zu ermöglichen. Ähnlich sind aus der DE 34 46 447 A1 ein Verfahren und ein Gerät zur Beibehaltung eines schwebenden Fahrzeugs in einer festen Position bekannt. Dabei reflektiert ein am Boden anzubringender Spiegel einen von Bord des Fahrzeugs gesendeten Leitstrahl. Aus der DE 32 29 343 A1 ist ein Sensor für Relativbewegungen bekannt.

[0013] Um die Flugbahn eines Helikopters zu regeln bzw. auf der Stelle zu schweben, muss durch geeignete Ansteuerung der Rotorblätter erstens die Neigung (Roll- und Nick-Winkel) und zweitens die dadurch resultierende Geschwindigkeit geregelt werden. Hierzu müssen sowohl Neigung als auch Horizontal-Geschwindigkeit bekannt sein. Zum Alleinflug genügt es nicht, wenn einer Schräglage stets entgegengewirkt wird, denn selbst dann kann der Hubschrauber eine vorhandene Geschwindigkeit nicht selbständig abbauen, sondern muss durch eine dosierte Gegen-Neigung zum Stillstand gebracht wer-

den.

[0014] Positions-Messung mit Satellitennavigation (GPS) hat den Nachteil, dass kleine Bewegungen, sie wie sie in Bodennähe wichtig sind, nicht genau genug erfasst werden. Außerdem ist der Einsatz in Spielzeug-Modellen sowohl aus Gewichts- als auch aus Kosten-Gründen nicht sinnvoll.

[0015] Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein preiswertes System zur Regelung einer Translationsbewegungsgröße eines Flugkörpers anzugeben, das Bewegungen sofort erkennt und sich für die Stabilisierung eines Schwebeflugs eignet.

[0016] Diese Aufgabe wird durch die in den unabhängigen Patentansprüchen angegebenen Merkmale gelöst.

[0017] Als Bewegungssensor lässt sich vorzugsweise ein optischer Sensor-Chip verwenden, wie er gewöhnlich in einer optischen Maus eingesetzt wird. Die Kombination der Abbildungs-Optik mit dem Bewegungssensor zu einer Sensoreinheit lässt sich als Kamera betrachten. Es ergibt sich ein kegelförmiger Erfassungsbereich, dessen (Winkel-) Breite durch die Größe der lichtempfindlichen Fläche des Bewegungssensors und die Brennweite der Abbildungs-optik festgelegt wird. In folgenden Betrachtungen wird diese Breite meist vernachlässigt und nur die Haupt-Richtung bzw. optische Achse der Abbildung als die "Sichtrichtung" betrachtet. Der Fokus kann zweckmäßigerweise auf unendlich eingestellt sein, oder besser noch auf einen solchen Abstand, mit dem sich zuzüglich der Schärfentiefe ein Schärfebereich von Unendlich bis zu einem kürzestmöglichen Objektstand ergibt.

[0018] Im erfindungsgemäßen Verfahren werden Strukturen und Kontraste des Bodens oder anderen Objektes auf dem Bewegungssensor optisch abgebildet. Fast alle sichtbaren Strukturen, die in einem Bodenbild üblicherweise vorkommen, enthalten genügend Kontraste, um bei einer Bildverschiebung im Bewegungssensor erkannt zu werden. Ausnahmen sind Wasseroberflächen, Nebel oder durchgehende Schneedecke. Die Erkennung beinhaltet Richtung und Ausmaß der Verschiebung des Bildes. Indem die Vorrichtung am Flugkörper befestigt ist, werden dessen Bewegungen wie nachfolgend beschrieben messbar. In diesem Zusammenhang kann insbesondere auch die Horizontalbewegung über Grund gemessen werden, um sie stabilisieren zu können.

[0019] Allgemein bewirken sowohl Translationsbewegungen als auch Drehbewegungen des Flugkörpers eine optische Gegenbewegung des sichtbaren Bodenbildes. Solche Bewegungen entsprechen vom Flugkörper aus gesehen einer Wanderung der optischen Einfallrichtung der visuellen Szene, und sind

demnach als Winkel-Änderungen beschreibbar. In der gemäß einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel der Erfindung aus Abbildungs-optik und Sensor gebildeten und am Flugkörper befestigten Sensor-Einheit oder Kamera werden die Einfallswinkel über die optische Abbildung umgewandelt in eine Verschiebung des Abbildes auf dem Bewegungssensor und können daher gemessen werden. Dabei ist die auf der empfindlichen Sensorfläche gewonnene Bildverschiebung proportional zur Brennweite der Abbildungs-optik und zur Strahlwinkel-Änderung. Als Abbildungs-optik kann beispielsweise die Linse eines Kameraobjektivs verwendet werden.

[0020] Je nach Ausführung der Erfindung können verschiedene Messgrößen der Flugposition, Flugbahn und Flugbewegungen, sowie auch Position und Bewegung relativ zu bodenbezogenen oder auch fliegenden Objekten, allgemein nachfolgend "Bewegungsgrößen" genannt, gemessen/erfasst werden und wahlweise und über einen Regelkreis stabilisiert werden. Bewegungsgrößen können statischer Art (Position, Weg, Abstand, Lage) und/oder dynamischer Art (Geschwindigkeit, Beschleunigung) sein. Dies gilt sowohl für die Orts- als auch für die Winkelgrößen. Dementsprechend werden die Begriffe "Bewegung, Drehung, Neigung" etc. hier stets allgemein verwendet, d.h. sowohl für Positions-Werte auch für die entsprechenden Änderungs-Geschwindigkeiten.

a) Drehungen des Flugkörpers bewirken aufgrund der Gegendrehung der optischen Einfallrichtung eine messbare Bildverschiebung. Hierbei wird ein Messwert für die Drehung erzeugt. Drehungen können z.B. Taumelbewegungen (Neigung) oder auch Gierbewegungen (Heading) sein. Hierzu wird der optische Sensor so montiert, dass der Sichtstrahl, oder zumindest eine Vektorkomponente davon, quer zur Drehachse liegt, und im Sensor die Bildverschiebung in der Komponente senkrecht zur Drehachse gemessen. Um Flugbewegungen zu stabilisieren oder unerwünschte Schwankungen zu verhindern, kann ein Regelkreis gebildet werden, indem der Messwert in einem Istwert-Sollwert-Vergleich zur Bildung eines Stellwertes herangezogen wird, der zur Korrektur an das entsprechende Steuerorgan geleitet wird. Dies kann zur Lenkung der Flugrichtung um mindestens eine Achse verwendet werden. Eine für Heading-Stabilisierung geeignete Ausrichtung ist schräg nach vorne-abwärts und/oder hinten-abwärts. Außerdem lässt sich durch Abtastung in Richtung auf ein bewegtes Ziel eine Kurskorrektur mit Nachführung auf das Ziel erreichen, indem mit dem gleichen Verfahren ein entsprechender Regelkreis gebildet wird. Zur Zielverfolgung eines festen oder bewegten Zieles kann die optische Sichtrichtung des Sensors auf das Ziel gerichtet sein und ein Messsignal von mindestens einer Sensorkoordinate herangezogen werden zur Lenkung der Flugrichtung in mindestens einer Achse.

b) Translationsbewegungen in eine Richtung quer zur Sichtrichtung lassen sich ebenfalls aufgrund der resultierenden Bildverschiebung messen. Um horizontale Bewegungsgrößen (Geschwindigkeit oder Position) zu messen, kann die Sichtrichtung nach unten ausgerichtet sein. Dann wandert – bei normaler Fluglage – die Einfallrichtung der erfassten Bodenstrukturen stets mit horizontaler Flugbewegung. Mit einem Regelkreis wie oben geschildert, angewendet auf horizontale Bewegungsgrößen, lassen sich folglich auch die horizontalen Bewegungsgrößen stabilisieren, z.B. die Geschwindigkeit oder Position.

[0021] Das Ausmaß der Bildverschiebung bzw. deren Geschwindigkeit ist proportional zur geflogenen Wegstrecke bzw. Geschwindigkeit, ferner umgekehrt proportional zum Abstand längs der Sichtrichtung, und proportional zum Sinus des Winkels zwischen Bewegungsrichtung und Sichtrichtung.

c) Wenn dagegen eine Geschwindigkeit ungefähr bekannt ist, so kann das optische Messsignal der Verschiebungs-Geschwindigkeit umgekehrt auch zur Ermittlung des absoluten Sicht-Abstandes zum Boden bzw. zu einem Objekt herangezogen werden. Hierzu kann insbesondere das Meßsignal als Reziprokwert für den Bodenabstand herangezogen werden. Zum Beispiel kann eine bekannte Geschwindigkeit durch den optischen Geschwindigkeits-Messwert dividiert werden. Bei Verwendung in einem Regelkreis kann die Division entfallen, sofern der Sollwert schon als Kehrwert definiert wird.

[0022] Eine Anwendung ist die Kontrolle des Bodenabstandes bei Tragflächen-Flugzeugen. Da hier die horizontale Fluggeschwindigkeit ungefähr bekannt und meist etwa konstant ist, erhält man ein Maß für die momentane Flughöhe über Grund, auch während Überfliegen von Bodenerhebungen. Somit wird eine frühzeitige Annäherungs-Erkennung und Kollisions-Vermeidung gegenüber sichtbaren Gegenständen möglich, oder die Steuerung der Flughöhe auf einen Mindest-Bodenabstand. Die Sichtrichtung kann hierfür vorteilhafterweise schräg nach vorne-unten ausgerichtet sein. Mit Bodenabstand kann auch der Abstand zu einem dort stehenden Objekt gemeint sein, welches beispielsweise eine Erhebung bildet.

d) In weiteren unten beschriebenen Ausführungsbeispielen werden Bewegungen in verschiedenen Achsen bzw. Koordinaten gemessen, und auch die Messwerte voneinander getrennt. Ferner ist Messung von Abständen und Abstandsänderungen auch längs der Sichtrichtung möglich. Hiermit ist die Messung einer Steig- bzw. Sinkrate, oder eine Annäherungserkennung möglich.

[0023] Als optischer Bewegungssensor kann insbesondere ein von optischen Mäusen bekannter Verschiebungssensor eingesetzt werden. Ein solcher

Sensor enthält üblicherweise auf einer Abtastfläche verteilt eine Vielzahl lichtempfindlicher Teilflächen (Pixel), deren Signale in rascher Folge ausgelesen werden, wobei die Auslese-Rate wesentlich höher ist als die bei Videokameras übliche Bildwechselfrequenz, und wobei die Bilder elektronisch auf Verschiebung ausgewertet werden. Das Ausmaß der Verschiebung wird in zwei orthogonalen Koordinaten (Verschiebungs-Achsen x und y) ermittelt und in separaten Messwerten ausgegeben. Häufig haben solche Sensoren für jede der zwei Koordinaten einen Quadratur-Ausgang, der auf zwei Leitungen ein Inkremental-Signal liefert, wobei die Position in feine Stufen unterteilt und Verschiebungen als Änderung dieser Position als Sprung bzw. Folge von Sprüngen von Stufe zu Stufe richtungsgetreu gemeldet wird. Alternativ kann ein serieller P2/2 Ausgang oder eine andere beliebige Art der Signalübertragung zur Ausgabe der Daten verwendet werden.

[0024] Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird in einem elektronischen Auswertprozess aus den Ausgangssignalen von mindestens einer Mess-Koordinate des Bewegungssensors mindestens eine der folgenden Messgrößen dargestellt: Geschwindigkeit der Verschiebung, Summe der inkrementalen Verschiebungen, Vorhandensein einer gemessenen Bewegung, Änderungsrate der Geschwindigkeit. Wenn der Bewegungssensor dem Funktionsprinzip des in einer optischen Maus verwendeten Verschiebungssensors entspricht und ein entsprechendes Bauteil verwendet wird, dann kann aus den vom optischen Bewegungssensor stammenden Meßsignalen die Geschwindigkeit der Verschiebung in Form einer fortlaufenden Frequenzmessung der Verschiebungssprünge dargestellt werden, wobei die Richtung der Verschiebung als Vorzeichen des Frequenzwertes berücksichtigt wird.

[0025] In einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung lassen sich die Signale des Bewegungssensors, nachfolgend kurz "Sensor-signal" genannt, auf mehrere folgend beschriebene Weisen nutzen: Aus dem Ausgangssignal lassen sich Informationen gewinnen über a) Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung (indem man Frequenz und Richtung der Sprünge auswertet) und b) das Maß der Verschiebung (indem man die Sprünge richtungsgetreu zählt bzw. integriert).

a) Geschwindigkeiten lassen sich darstellen, indem die Änderungsrate der Position gemessen wird. Hierzu kann insbesondere die Frequenz des optischen Meßsignals gemessen werden, etwa der quadratur-Signale. Die Frequenz ist, als Änderungsrate der gemessenen Verschiebung, proportional zur momentanen Verschiebungs-Geschwindigkeit des optischen Abbildes und daher – angewendet im erfindungsgemäßen Verfahren – proportional zur Winkelgeschwindigkeit der visuellen Einfallrichtung der abgetasteten Boden-

punkte. Je nach Ausgestaltung kann dies für verschiedene Messungen verwendet werden; z.B. bei Blick nach unten aus einer gegebenen Flughöhe ist die Frequenz ein Maß für die Fluggeschwindigkeit längs oder quer zur Rumpfrichtung. Dies kann zur Regelung der horizontalen Bewegungs-Komponenten verwendet werden, wie etwa die Reisegeschwindigkeit, Seitenbewegung/Abdrift bzw. im Schwebeflug die Abweichungen vom Stillstand.

[0026] Zur Gewinnung eines Frequenz-Messwertes kann in fortlaufenden Zeitintervallen alle pro Intervall auftretenden Ausgangssprünge mit Vorzeichen ad-diert werden, d.h. auf- bzw. abwärts gezählt werden, und die erhaltene Summe jeweils durch die Länge des Zeitintervalls dividiert werden. Haben die Zeitabschnitte konstant die gleiche Länge, so kann die Division entfallen. Alternativ kann bei jedem Änderungs-Sprung des Signals die Zeitspanne seit dem vorangehenden Änderungssprung ermittelt werden, davon der Kehrwert gebildet werden und mit einem der Änderungsrichtung entsprechenden Vorzeichen versehen werden. Zusätzlich kann der so ermittelte Frequenzwert auch vor Eintreffen der nächsten Änderung rechnerisch schon aktualisiert werden (wenn die Änderung verzögert eintrifft). Hierzu wird der Frequenzwert (frühestens nach Ablauf einer der Frequenz entsprechenden Periodendauer) fortwährend oder schrittweise heruntergesetzt auf einen Wert, der dem Kehrwert der aktuell verstrichenen Wartezeit entspricht, sofern der Kehrwert kleiner ist als der Frequenzwert.

b) Positionswerte lassen sich darstellen durch Auf-/Abwärtszählung der Inkrement-Sprünge des Sensorsignals, vergleichbar mit der üblichen Funktion einer Computermaus. Alternativ kann die Position durch eine fortlaufende zeitliche Integration eines Frequenz-Messwertes dargestellt werden, dessen Gewinnung wie oben beschrieben erfolgen kann. Hierdurch ist es möglich, eine Kompensation für Einflüsse anderer Bewegungen auf die Messung schon vor der Integration vorzunehmen. Dazu kann vorgesehen sein, dass der optisch gewonnene Messwert um die durch Drehbewegungen (Rollen, Nicken, Gieren) des Flugkörpers entstehenden Einflüsse bereinigt wird, indem ein unabhängiges Drehsignal, das zum Drehwinkel bzw. der Winkelgeschwindigkeit der Drehung proportional ist, mit dem optischen Messwert verrechnet bzw. gemischt wird oder dass zur Messung und/oder Regelung der Ortsposition in bodenbezogenen Koordinaten unter Verwendung eines zweikoordinatigen Bewegungssensors die inkrementalen Sensorsignale beider Sensor-Koordinaten integrierend aufsummiert werden, dass hierzu stellvertretend für zwei Bodenkoordinaten zwei Integrationssummen vorgesehen werden, weiterhin dass die Ausrichtung des Sensors bezüglich einer zu den Bodenkoordinaten

senkrechten Drehachse zusätzlich gemessen wird und dass die aufzusummierenden Sensorsignale bzw. -Schritte gesteuert von der gemessenen Ausrichtung vor der Aufsummierung vektoriell gedreht werden.

[0027] Je nach Ausgestaltung resultieren auch Betreff der Positionsmessung verschiedene Mess-Möglichkeiten. Bei Sichtrichtung nach unten erhält man ein Maß für die bodenbezogene Flugposition. Um diese in kartesischen Koordinaten zu messen, kann wie oben beschrieben ein zweikoordinatiger Bewegungssensor verwendet werden und dabei die inkrementalen Sensorsignale beider Sensor-Koordinaten integrierend aufsummiert werden. Weiterhin kann dabei eine Integration bzw. Aufsummierung der Inkremental-Schritte in mindestens zwei separate Ortskoordinaten erfolgen und hierbei die momentane Ausrichtung des Sensors rechnerisch berücksichtigt werden, indem der Ausrichtungswinkel gemessen und die gemeldeten Änderungsschritte (bzw. das differenzielle Sensorsignal) vor der Aufsummierung vektoriell gedreht werden, wobei der Drehwinkel der gemessenen Ausrichtung entspricht. Dies kann über eine Drehmatrix erfolgen.

[0028] Die Messung der Ausrichtung kann mit Kompass oder mit (Piezo-) Kreisel oder auch mit einem zweiten erfindungsgemäßen Bewegungssensor erfolgen, der als Drehsensor ausgebildet ist, indem er mit seiner Sichtrichtung gegenüber dem ersten Sensor verschieden ausgerichtet ist, wobei die optische Sichtrichtung mit der Drehachse nicht zusammenfällt und im Bewegungssensor die Richtung der gemessenen Bildverschiebung quer zur Drehachse liegt.

[0029] Der Regelkreis kann insbesondere derart gebildet werden, dass zwischen Istwert und Sollwert verglichen und das Ergebnis zur Bildung eines korrigierenden Stellwertes für die Flug-Steuerung herangezogen wird. Hierzu kann das als PID bekannte Verfahren verwendet werden. Istwerte können beliebige erfindungsgemäß erzeugte Messwerte sein, also sowohl Geschwindigkeits- als auch Positionsgrößen oder teilweise eine Mischung. Zusätzlich kann auch ein Differenzialwert gebildet und herangezogen werden, indem der Frequenz-Messwert zeitlich erneut differenziert wird, und somit ein Maß für die Beschleunigung ergibt. Zusätzlich kann eine PID-Regelung auch die Proportional- und/oder Integral-Anteile von Signalen anderer Bordinstrumente heranziehen, z.B. eines Piezo-Kreisels.

[0030] Manuelle Steuersignale können sowohl dem Ausgangssignal des Reglers (Stellwert) überlagert werden, sodass die Handsteuerung ergänzt und stabilisiert wird, als auch in die Regelung als Sollwert einbezogen werden, z.B. indem sie eingangsseitig dazugemischt werden, sodass ein Sollwert-Istwert-Vergleich entsteht, wobei der Sollwert aus dem

manuellen Steuersignal stammt. Eine detaillierte Beschreibung einer Regelung folgt beim ersten Ausführungsbeispiel und bei [Fig. 5](#).

[0031] Bei ferngelenkten Flugkörpern können die zur Regelung benötigten Teile mitfliegen oder auch am Boden stehen und über Funkkontakt verbunden sein.

[0032] Statt des oben erwähnten Maus-Sensors können auch andere optische Verfahren zur Bewegungserkennung verwendet werden, indem der Bewegungssensor beispielsweise aus mindestens zwei benachbart angeordneten photoelektrischen Lichtempfängern besteht, deren Distanz voneinander in etwa der Größenordnung ähnelt, die einer Viertelwellenlänge der im Abbild der Bodenstrukturen häufig vorkommenden Ortsfrequenzen entspricht. Durch die Bewegung der optischen Strukturen entstehen in den Lichtempfängern phasenverschobene Wechselsignale. Diese Wechselsignale werden in eine die Zeit- und/oder Phasenunterschiede auswertenden Schaltung geleitet. Eine solche Schaltung kann eine Zeitvergleichsschaltung sein, wie sie bei richtungsempfindlichen Lichtschranken verwendet wird, oder eine Phasenvergleichsschaltung. Eine solche Schaltung erkennt an der Phasenlage, welche der beiden Signale dem anderen vorausseilt bzw. hinterherhinkt, und dementsprechend die Bewegungsrichtung, und zu einem gewissen Genauigkeitsgrad auch die Geschwindigkeit. Auch könnte die Schaltung einer Inkremental-Auswertung nach dem Quadratur-Prinzip entsprechen und dementsprechend analog oder digital aufgebaut sein. Die Genauigkeit solcher Messung ist jedoch meist geringer als die eines Opto-Maus-Sensors, da nur jeweils ein kleiner Abschnitt der Bodenstrukturen auf einmal erfasst wird.

[0033] Statt des Maus-Sensors kann auch eine Kombination aus einer Videokamera mit einer separaten Signalverarbeitung verwendet werden, wobei das Videosignal in einer damit beaufschlagten Schaltungsvorrichtung oder Recheneinheit auf Bildverschiebungen ausgewertet wird, und wodurch der Bildwandler der Videokamera, vorzugsweise ein CCD-Bildwandler, als die lichtempfindliche Fläche eines Bewegungssensors wirkt. Hierdurch können bessere Lichtempfindlichkeiten erzielt werden. Der Maus-Sensor ist jedoch wegen seiner Geschwindigkeit und der geringen Kosten vorteilhaft. Wahlweise kann das Abbild mit einem Restlichtverstärker verstärkt werden, bevor es auf den Bewegungssensor gelangt. Die Begriffe "Sicht" und "Abbildung" beinhalten stets auch Infrarot.

[0034] In einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel besteht der Bewegungssensor aus mindestens zwei benachbart angeordneten photoelektrischen Lichtempfängern, deren Distanz in der Nähe der Größenordnung liegt, die der Viertelwellenlänge

einer im Abbild der Bodenstrukturen häufig vorkommenden Ortsfrequenz entspricht, so dass bei Bildverschiebung in den Lichtempfängern phasenverschobene Wechselsignale entstehen, wobei diese Wechselsignale in eine die Zeit- und/oder Phasenunterschiede auswertenden Schaltung geleitet werden.

[0035] In weiteren vorteilhaften Ausführungsbeispielen der Erfindung werden zur Stabilisierung eines Flugkörpers mittels Istwert-Sollwert-Vergleich und Steuerung in mindestens einer Neigungs-Achse, die optische Achse der Abbildung, nachfolgend Sichttrichtung genannt, mit einer wesentlichen vertikalen Komponente nach unten ausgerichtet, das optische Meßsignal als Messwert für mindestens eine der horizontalen Bewegungsgrößen Position/Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung herangezogen und die Neigung des Flugkörpers in Abhängigkeit davon gesteuert. Der Flugkörper kann dabei insbesondere ein Hubschrauber sein und aus dem Bewegungssensor gewonnene Bewegungs-Messgrößen können zur zyklischen Steuerung der Hauptrotorblätter und somit der Neigung der Rotorebene herangezogen werden. Der Grad der Neigung unterliegt insbesondere einer Regelung, wobei hierzu eine reale oder rechnerisch simulierte Messgröße für die aktuelle Neigung herangezogen werden kann. Die Messgröße für die Neigung kann dabei dargestellt werden, indem eine aus dem optischen Bewegungssensor hergeleitete Messgröße einer Horizontalgeschwindigkeit zeitlich differenziert wird. Alternativ dazu kann die Messgröße für die Neigung dargestellt werden aus sowohl der zeitlich differenzierten Messgröße des optischen Bewegungssensors, als auch dem zeitlich integrierten Signal eines zur Winkelgeschwindigkeit der Neigung proportionalen Drehsignals.

[0036] Die Messgröße kann durch Mischung dieser beiden Signale erzeugt werden und dabei vom integrierten Signal die niedrigen Frequenzanteile und vom differenzierten Signal die hohen Frequenzanteile vermindert eingehen. Die Kombination der Differenzierung und der Absenkung der hohen Frequenzanteile kann dargestellt werden durch eine Hochpassfunktion ersten Grades und/oder die Kombination der Integration und Absenkung der tiefen Frequenzanteile kann dargestellt werden durch eine Tiefpassfunktion ersten Grades.

[0037] Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Stabilisierung eines Flugkörpers umfasst vorzugsweise eine Abbildungs-Optik und einen optoelektronischen Bewegungssensor, wobei der Bewegungssensors gegenüber der Abbildungs-Optik in der Weise positioniert ist, dass eine Abbildung unendlich entfernter Gegenstände auf der lichtempfindlichen Fläche des Bewegungssensors erfolgt und wobei eine Anschlussmöglichkeit für einen Signal-Pfad vom Bewegungssensor über einen Regelkreis zu mindestens einem der

Steuerelemente des Flugkörpers wie zum Beispiel einer Rotorblatt-Steuerung vorgesehen ist. Die Vorrichtung umfasst weiterhin vorzugsweise eine elektronische Schaltungsvorrichtung, die aus dem von einem optischen Bewegungssensor stammenden Meßsignal die Änderungsrate der gemessenen Verschiebungssprünge in Form einer fortlaufenden Frequenzmessung darstellt, wobei die Richtung der Änderung als Vorzeichen des Frequenzwertes berücksichtigt wird.

[0038] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen weiter erläutert. Es zeigen:

[0039] **Fig. 1:** Ein Erstes Ausführungsbeispiel zur Hubschrauber-Stabilisierung.

[0040] **Fig. 2:** Ein zweites Ausführungsbeispiel, zur Messung und Stabilisierung einer Drehung um die Hochachse.

[0041] **Fig. 3:** Ein drittes Ausführungsbeispiel, zur Messung entweder einer Vertikalgeschwindigkeit oder einem Abstand zu einem Bodenobjekt.

[0042] **Fig. 4:** Ein viertes Ausführungsbeispiel zur kombinierten Messung mehrerer Freiheitsgrade.

[0043] **Fig. 5:** Ein Blockdiagramm einer Regelung im ersten Ausführungsbeispiel.

[0044] **Fig. 1** zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel zur Messung und Stabilisierung der Horizontalbewegungen eines als Hubschrauber ausgebildeten Flugkörpers **1**. Die Linse **2** als Abbildungsoptik wirkt als Objektiv und bildet einen sichtbaren Abschnitt des Bodens **4** auf den optischen Verschiebungssensor **3** ab. Bei einer Vorwärtsbewegung wandert Bodenpunkt **44** gegenüber der Abbildungsoptik **2** zur Position **44'** und das Abbild auf dem Verschiebungssensor **3** verschiebt sich dementsprechend. Bei Verwendung eines optischen Maus-Sensors sind Ausgänge für Verschiebungen in zwei Koordinaten (x und y) vorhanden. Wenn die Sichtrichtung **11** wie gezeichnet ungefähr nach unten eingestellt ist, erhält man Informationen über Fluggeschwindigkeit über Grund, in beiden Komponenten Vorwärts- und Quer-Richtung. Beide Werte werden beispielsweise zur Stabilisierung eines stationären Schwebefluges verwendet.

[0045] Hierzu ist die Regel-Elektronik **7** eingangsseitig mit den optischen Meßsignalen verbunden und gibt ausgangsseitig Stellwerte zur Steuerung des Flugkörpers **1**, wobei zumindest Teile der gesamten Steuerung beinhaltet sind – in diesem Fall die Taumelscheibe, welche über die Rotorblätter die Neigung der Hauptrotor-Ebene und damit die horizontale Beschleunigung des Hubschraubers (Helikopters) **1** beeinflusst. Die Funktion einer Regelung **7** wird weiter unten und anhand **Fig. 5** beispielhaft dargestellt.

[0046] Der Messwert ist jedoch nicht nur von der Fluggeschwindigkeit, sondern auch von Drehbewegungen abhängig, die der Flugkörper **1** ausführen kann, z.B. Rollen und Nicken. Um Störungen zu verhindern, wenn alleine die Translationsbewegung gemessen werden soll, kann der Einfluss der Drehungen auf das Meßsignal ausgeglichen werden. Zur Messung der linearen Bewegungsgröße wird das optische Messsignal um den direkten durch Drehungen des Flugkörpers **1** entstehenden Einfluss bereinigt, indem ein die Drehung repräsentierendes, unabhängiges Drehsignal mit dem Signal des Bewegungs- bzw. Verschiebungssensors **3** verrechnet bzw. gemischt wird. Die Verrechnung kann aus einer Subtraktion bestehen oder – bei umgekehrter Polarität der Messsignale untereinander – einer Summierung, d.h. allgemein einer Mischung. Der Rechenvorgang kann digital erfolgen, z.B. in einem programmgesteuerten Mikroprozessor, oder analog, z.B. über Mischwiderstände, sofern aus dem Sensorsignal ein analoges Frequenzsignal gebildet wurde. Es resultiert ein kompensierter Messwert, der nur Translationsbewegung misst. Verschiedene Möglichkeiten zur Gewinnung eines zur Kompensation geeigneten Drehsignals sind nachfolgend beschrieben.

[0047] Das Drehsignal kann mithilfe eines piezoelektrischen Drehsensors **9**, **10** (Piezo-Kreisel) gewonnen werden. Er kann geeignet am Flugkörper oder an der optischen Messvorrichtung **5** angebracht sein. Ein solcher Sensor gibt dann als Messwert direkt die Drehgeschwindigkeit des Neigungswinkels aus. Dementsprechend erfolgt die Kompensation durch Mischung des Kreisel-Signals in das aus dem Bewegungssensor gewonnenen Geschwindigkeits-Signal (Frequenz-Signal).

[0048] Bei einem Helikopter kann ein Drehsignal erzeugt werden, indem ein Beschleunigungssensor mit der Hauptrotorwelle mitbewegt und von der Rotorachse beabstandet angeordnet ist, wobei die Beschleunigungskomponente parallel zur Rotorachse gemessen wird und der fortlaufende Messwert in Abhängigkeit der Rotordrehung zyklisch phasenbezogen ausgewertet wird. Drehungen der Rotorebene bewirken wie bei einem Kreisel Präzessionskräfte, die im Beschleunigungssensor als zyklisch sich ändernde Beschleunigungen auftreten und gemessen werden. Die Amplitude der Änderung ist ein Maß für die Winkelgeschwindigkeit der zu messenden Drehung; die Phasenlage gegenüber der Rotordrehung ist ein Maß für die Richtung der zu messenden Drehung und die Orientierung ihrer Achse. Die phasenbezogene Auswertung kann geschehen, indem eine mit der Rotordrehung synchronisierte getaktete Sampling-Folge erzeugt wird, nach deren Takt das Meßsignal aufgeteilt gemessen oder umgeschaltet wird, beispielsweise in Quadranten. Hierdurch erhält man Messwerte der Drehung in Komponenten, etwa der Nick- und Roll-Achse, aufgeteilt. Die Synchroni-

sation kann über einen die Umdrehungen der Rotorwelle abtastenden Drehgeber erfolgen.

[0049] Vorteilhafterweise treten die gemessenen Kräfte als zyklische Änderungen auf. Daher muss der Beschleunigungssensor keine absoluten Werte messen können, sondern nur die Änderungen. Daher kann als Beschleunigungssensor ein preisgünstiger piezoelektrischer Kraftwandler verwendet werden, dessen Messwert nur kapazitiv angekoppelt werden kann. Außerdem ergibt sich der Vorteil, dass Nullpunktfehler des Messwertes von vorne herein dadurch entfallen, dass der Messwert in Form einer Amplitude gewonnen wird.

[0050] Eine Signalübertragung vom rotierenden Sensor zur Regelvorrichtung kann über Funk, optoelektronische Wandler, induktive Signal-Ankopplung oder Schleifkontakt erfolgen. Die Elemente der Ankopplungsvorrichtung können gegenüber der Rotorwelle so angeordnet werden, dass die Übertragung beeinflusst wird von der Drehstellung der Rotorwelle. Auf diese Weise kann die zyklische Auswertung erfolgen, indem der Kopplungsgrad und/oder Polarität der Übertragung oder zumindest eines Teils davon zyklisch variiert. Die Beeinflussung kann erreicht werden durch geeignete Anordnung der Kopplungs-Spulen oder optischen Übertragungsglieder, oder durch Gestaltung des Schleifkontaktes in der Weise eines vom Elektromotor bekannten Kollektors.

[0051] Alternativ kann als Drehsignal ein Steuersignal herangezogen werden, das in ein Steuerorgan eingespeist wird, welches die Drehung steuert, z.B. das Servo-Signal für die Taumelscheiben-Neigung. blicherweise folgt der Flugkörper mit einer Roll- bzw. Nick-Geschwindigkeit proportional zu dieser Ansteuerung. Als Maß für diese Geschwindigkeit kann daher das entsprechende Steuersignal hergenommen werden. Die Kompensation erfolgt durch Summierung/Mischung des Steuersignals in das aus dem Bewegungssensor gewonnene Geschwindigkeits-Signal (Frequenz-Signal). Wenn das Steuersignal selbst mithilfe eines erfindungsgemäßen Regelkreises erzeugt wird, dessen Istwert das zu kompensierende Meßsignal beinhaltet, dann entspricht die Kompensation einer Rückmischung innerhalb des Regelkreises in Form einer Gegenkopplung vom Stellwert zum Istwert, welcher die Regelverstärkung herabsetzt. Die kompensierende Einmischung des Drehsignals kann in diesem Fall funktionsmäßig identisch dadurch realisiert werden, dass Regelkreis einfach eine entsprechend geringere Verstärkung aufweist. Gemäß einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die Verstärkung des Regelkreises so weit verringert, wie es der Gegenkopplung entspricht, welche durch die Einmischung hypothetisch resultieren würde.

[0052] Alternativ kann das Drehsignal mit einem

zweiten erfindungsgemäßen optischen Bewegungssensor erzeugt werden, der als Drehsensor arbeitet und mit seiner Sichtichtung gegenüber dem Ersten verschieden ausgerichtet ist und dessen optische Sichtichtung mit der Drehachse nicht zusammenfällt, wobei im Bewegungssensor die Richtung der der gemessenen Bildverschiebung quer zur Drehachse liegt.

[0053] Alternativ kann auch ein Neigungssensor verwendet werden, z.B. ein künstlicher Horizont oder ein optischer Sensor nach erwähnter RU 9300250 A. Solche Signals sind nicht zur Drehgeschwindigkeit, sondern zum Winkel der Neigung proportional. Dementsprechend hat die Kompensation durch Mischung in das aus dem Bewegungssensor gewonnene Positions-Signal zu erfolgen. Alternativ kann die Kompensation erfolgen, indem das Neigungs-Meßsignal zuerst zeitlich differenziert und dann in das aus dem Bewegungssensor gewonnene Geschwindigkeits-Signal (Frequenz-Signal) gemischt wird. Mischung in das Frequenz-Signal hat den Vorteil, dass bei einer anschließenden Integration auch der resultierende Positions-Messwert kompensiert ist.

[0054] Der Messwert des Bewegungssensors hängt wegen der Strahlgeometrie auch vom Abstand zum abgebildeten Objekt ab, also von der Flughöhe über Grund; die gemessene Geschwindigkeit ist dazu umgekehrt proportional (reziprok). Dementsprechend ist auch der vom Bewegungssensor ausgegebene Geschwindigkeits-Messwert von der Flughöhe abhängig. Um einen vom Bodenabstand unabhängigen Geschwindigkeits-Messwert zu erhalten, kann am Flugkörper ein den Bodenabstand messendes Instrument vorhanden sein und, zumindest in einem Abschnitt des möglichen Abstandsbereiches, das – ggf. um Neigungs-Einflüsse bereinigte – optische Messsignal multipliziert werden mit dem gemessenen Bodenabstand bzw. mit einem Faktor, der mit zunehmendem gemessenen Bodenabstand stetig zunimmt. Die hierdurch bewirkte Normierung kompensiert den Einfluss unterschiedlicher Höhe und ergibt einen von der Höhe über Grund unabhängigen Geschwindigkeits-Messwert.

[0055] Zur Distanzmessung eignet sich ein Ultraschall Radar, wie es als Einpark-Hilfe oder bei Autofokus-Kameras bekannt ist, oder ein optischer Abstandssensor nach dem Lichttaster-Prinzip, wie er etwa in DE 40 04 530 A beschrieben ist.

[0056] Diese Kompensation kann aber auch entfallen oder nur zu einem verminderten Anteil oder verzögert erfolgen. Dann ergibt sich als Vorteil, dass die Messung empfindlicher und die Regelung um so "härte" arbeitet, je niedriger die Flughöhe ist. Bei einem vorgegebenen Sollwert für die (unkompensierte) Geschwindigkeit wird die echte Geschwindigkeit in Bodennähe automatisch verringert. Mit diesem Ver-

halten ergibt sich nebenbei der Effekt, dass im Moment der Geschwindigkeits-Verringerung eine momentane Aufwärtsbewegung erzeugt wird auf Grund der Umsetzung der kinetischen Energie (außer bei Rückenwind schneller als Groundspeed). Bei Horizontalflug über Bodenerhebungen wird somit einer Kollision durch kurzfristiges Aufsteigen vorgebeugt.

[0057] [Fig. 5](#) zeigt die Funktion einer Regeleinheit 7 in einem Ausführungsbeispiel für Hubschrauber, anhand Blockdiagramm. Der Regelkreis kann für die Nick- und Roll-Achse gleichermaßen aufgebaut sein und ist daher nur einmal abgebildet. Die Signale können als digitale Rechenwerte oder analoge Spannungen vorliegen. Die Verarbeitungsschritte können programmgesteuert in einer Recheneinheit oder über Hardware erfolgen.

[0058] Bei herkömmlichem manuellen Betrieb werden Steuersignale über den Empfänger 21 an die eine Taumelscheibe 8 aufweisende Rotorblatt-Steuerung gegeben. Die erfolgte Ortsposition resultiert aus dem Flugverhalten gemäß einer Reihe mehrerer zeitlichen Integrationen, wie selbsterklärend abgebildet. Die Gesamtheit dieser Bewegungsgrößen stellt für jeden Zeitpunkt die aktuelle Flugbewegung dar. Der Einfluss der Bewegungen auf die Messung ist gestrichelt dargestellt. Unterhalb der Messinstrumente 9/10, 25, 3 sind die Abläufe der Regeleinheit 7 dargestellt, aufgeteilt in die Darstellung der Messgrößen und die Regelung selbst mit Istwert-Sollwert-Vergleich.

[0059] Aus dem Signal des Bewegungssensors 3 wird zunächst eine Frequenz ermittelt (bei 27), wobei aus den vom optischen Bewegungssensor 3 stammenden Meßsignalen die Geschwindigkeit der Verschiebung in Form einer fortlaufenden Frequenzmessung der Verschiebungssprünge dargestellt wird und wobei die Richtung der Verschiebung als Vorzeichen des Frequenzwertes berücksichtigt wird. Die Frequenz kann wie beschrieben um die Einflüsse der Neigung und ggf. Flughöhe bereinigt werden.

[0060] Zur Bereinigung um die Einflüsse der Neigung wird der optisch gewonnene Messwert um die durch Drehbewegungen (Rollen, Nicken, Gieren) des Flugkörpers entstehenden Einflüsse bereinigt, indem ein unabhängiges Drehsignal, das zum Drehwinkel bzw. der Winkelgeschwindigkeit der Drehung proportional ist, mit dem optischen Messwert verrechnet bzw. gemischt wird.

[0061] Zur Bereinigung um die Einflüsse der Flughöhe kann die Abbildungsoptik 2 nach unten gerichtet und am Flugkörper 1 ein den Abstand zum Boden 4 messendes Instrument vorhanden sein und zumindest in einem Teilbereich des möglichen Abstandsreiches das, ggf. um Neigungs-Einflüsse bereinigte, optische Meßsignal multipliziert werden mit einem

Faktor, der mit zunehmendem gemessenen Bodenabstand stetig zunimmt.

[0062] Die Bereinigung geschieht hier durch Addition (bei 24). Die nachträgliche Integration (bei 28) kann eine Summierung oder Zählung sein, und stellt ein Positions-Signal her, wobei die differenzierende Wirkung der Frequenzmessung wieder rückgängig gemacht wurde.

[0063] Ein Sollwert des Flugweges oder der Flugeschwindigkeit sei vorgegeben. Das kann beispielsweise ein Geschwindigkeits- oder Ortsvektor sein, parametrisiert als Funktion der Zeit. Diese Funktion kann vor dem Flug programmiert sein oder während des Fluges vorgegeben werden, oder im Spezialfall des Schwebefluges Null sein (als Geschwindigkeitsvektor) bzw. konstant (als Ortsvektor). Der aktuelle Sollwert wird aufgerufen, etwa über den Funk-Empfänger 22, und mit dem optischen Messwert durch Subtraktion (bei 30a) verglichen. Die ermittelte Differenz entspricht der Momentan-Abweichung von der Soll-Route (in 30a) bzw. Soll-Geschwindigkeit. Im (gezeichneten) Falle eines Ortsvorgabe-Sollwertes kann die Regelung erfolgen, indem zunächst die Ortsabweichung (in 30a) als Stellwert für eine Rückflug-Geschwindigkeit definiert wird und diese Geschwindigkeit wiederum geregelt wird. Nach dem PID-Verfahren kann gleichbedeutend auch eine Mischung aus Orts- und Geschwindigkeits-Messwerten gemeinsam geregelt werden.

[0064] Proportional und entgegengesetzt zur Abweichung der Geschwindigkeit wird ein Neigungs-Stellwert (bei 30b) definiert, gemäß dem die Neigung der Hauptrotor-Ebene gesteuert werden soll. Auf die Neigung würde der Helikopter 1 mit einer zur Neigung proportionalen Horizontal-Beschleunigung reagieren, somit würde sich die Fluggeschwindigkeit proportional zum zeitlichen Integral der Neigung ändern und der Regelkreis wird geschlossen.

[0065] Um die Rotor-Neigung auf den Sollwert zu bringen, müssen die Stellglieder der Taumelscheibe 8 gesteuert werden. Da sich nicht die Neigung aber nicht direkt, sondern nur die Geschwindigkeit ihrer Änderung (Winkelgeschwindigkeit) steuern lässt, ist die Neigung aus der Stellung der Stellglieder nicht bekannt. Zur Regelung der Neigung muss daher ein eigener Messwert hiervon verfügbar sein. In [Fig. 5](#) ist hierfür ein Neigungssensor 25 vorgesehen, der einen eigenen Sollwertvergleich 30c ermöglicht. Das Resultat wird über einen Mischer oder Umschalter 23 als Stellwert 26 an die Rotorblatt-Steuerung 8 gegeben.

[0066] Als Neigungssensor kann z.B. eine Vorrichtung gemäß erwähnter RU 9300250 A verwendet werden. Diese ist jedoch ungenau. Alternativ könnte aus dem Signal eines Piezo-Kreisels 9, 10, das die

Neigungs-Winkelgeschwindigkeit angibt, dessen zeitlichem Integral gebildet und somit ein künstlicher Horizont bzw. die Rotorneigung dargestellt werden. Problematischerweise fällt jedoch bei der Integration eine undefinierte Integrationskonstante an, die einer unbekanntem Schräglage des Horizontes entspricht. Sie kann von der Lage im Moment des Einschaltens sowie auch von geringen Driften herrühren und würde die Regelung erheblich stören.

[0067] Die Neigung kann gemessen werden, indem eine aus dem optischen Bewegungssensor **3** gewonnene und insbesondere zur Geschwindigkeit proportionale Messgröße **24** zeitlich differenziert wird. Dies funktioniert deshalb, weil der Helikopter in üblichen Flugsituationen proportional zu seiner Neigung beschleunigt und die Beschleunigung durch Differenzierung der gemessenen Geschwindigkeit dargestellt werden kann. Durch den Differenzial-Vorgang auf das optische Meßsignal, das in Stufen ausgegeben wird, treten jedoch problematische Sprünge und Unstetigkeiten auf.

[0068] Die Messgröße für die Neigung kann dargestellt werden aus sowohl der zeitlich differenzierten Messgröße des optischen Bewegungssensors **3**, als auch aus dem zeitlich integrierten Signal eines zur Winkelgeschwindigkeit der Neigung proportionalen Drehsignals. Die Messgröße kann dabei durch Mischung beider Signale erzeugt werden und dabei vom integrierten Signal die niedrigen Frequenzanteile und vom differenzierten Signal die hohen Frequenzanteile vermindert eingehen. Die Kombination Differenzierung und Absenkung der hohen Frequenzanteile kann dargestellt werden durch eine Hochpassfunktion ersten Grades und/oder die Kombination Integration und Absenkung der tiefen Frequenzanteile dargestellt werden durch eine Tiefpassfunktion ersten Grades. Der Messwert für die Neigung kann also hergestellt werden als eine Kombination aus sowohl der vom Bewegungssensor erhaltenen und zeitlich differenzierten Messgröße als auch dem zeitlich integrierten Signal eines zur Winkelgeschwindigkeit der Neigung proportionalen Drehsignals. Hierbei können vom differenzierten Messwert insbesondere die höherfrequenten Spektralanteile geringer gewichtet werden und vom integrierten Signal die niederfrequenten Spektralanteile und der Gleichsignal-Anteil geringer gewichtet werden. Auf diese Weise sind sowohl die Probleme der Integrationskonstante und Nullpunkt-Drift gelöst, da diese durch Herausnehmen der tiefen Spektralanteile wegfällt, als auch das Probleme der Unstetigkeiten, da diese durch Herausnehmen der hohen Spektralanteile geglättet werden. Die jeweils fehlenden Anteile lassen sich durch das andere Signal ersetzen.

[0069] Die resultierende Kombination von Differenzieren und Tiefpass, wenn bei der Mischung beider Signale vom integrierten Signal die niedrigen Fre-

quenzanteile und vom differenzierten Signal die hohen Frequenzanteile vermindert eingehen, kann gleichbedeutend auch als Hochpass ersten Grades dargestellt und erzeugt werden. Die Kombination von integrieren und Hochpass kann gleichbedeutend auch als Tiefpass ersten Grades dargestellt und erzeugt werden.

[0070] Wenn die Messgröße für die Neigung dargestellt wird aus sowohl der zeitlich differenzierten Messgröße des optischen Bewegungssensors, als auch dem zeitlich integrierten Signal eines zur Winkelgeschwindigkeit der Neigung proportionalen Drehsignals kann als Drehsignal eines der beschriebenen Verfahren wie etwa Piezo-Kreisel verwendet werden. Alternativ kann auch hier das Drehsignal erzeugt werden, indem ein Beschleunigungssensor mit der Hauptrotorwelle mitbewegt und von der Rotorachse beabstandet angeordnet ist, wobei die Beschleunigungskomponente parallel zur Rotorachse gemessen wird und der fortlaufende Messwert in Abhängigkeit der Rotordrehstellung und synchron dazu zyklisch phasenbezogen ausgewertet wird. Alternativ kann das Steuersignal/Stellwert **26** verwendet werden, wie schon in Zusammenhang mit der Kompensation beschrieben, bei der zur Messung einer linearen Bewegungsgröße der optisch gewonnene Messwert um die durch Drehbewegungen (Rollen, Nicken, Gieren) des Flugkörpers entstehenden Einflüsse bereinigt wird, indem ein unabhängiges Drehsignal, das zum Drehwinkel bzw. der Winkelgeschwindigkeit der Drehung proportional ist, mit dem optischen Messwert verrechnet bzw. gemischt wird und zur Darstellung des Drehsignals das Steuersignal verwendet wird, mit dem ein die Drehung beeinflussendes Steuerorgan beaufschlagt wird.

[0071] Die Regelung der Neigung kann mit der Regelung der Horizontal-Bewegung zusammengefasst werden, indem die beschriebenen Messgrößen sowohl für Neigung als auch für Bewegung (Geschwindigkeit und/oder Position) gemischt und somit gemeinsam geregelt werden. Die explizite Trennung der Vorgänge "Darstellung der Messwerte" und "Regelung" erfolgte zum besseren Verständnis, ist aber für die Realisierung nicht wesentlich. Allgemein können integrierte, proportionale und ggf. differenzierte Anteile des optischen Meßsignales parallel in den Regelkreis eingemischt werden, was dazu führt, dass die beschriebene Regelung in ihrer Gesamtheit gleichbedeutend in Form einer gemeinsamen PID-Regelschleife realisiert werden kann. Durch Beimischung eines Integral-Signal-Zweiges im Regelkreis lässt sich eine orts-proportionale Signalkomponente erzeugen, wodurch ein Schwebeflug so stabilisiert werden kann, dass auch nach zeitweisen Abweichungen (Störungen, Windstöße etc.) die ursprüngliche Position wieder hergestellt wird.

[0072] Bei ungenügender Beleuchtung oder Kon-

trasten des Bodens kann das Sensorsignal ausbleiben. Dies kann zu Steuerfehlern führen, besonders weil diese Situation für die Regelung nicht unterscheidbar ist von einem Stillstand. Um dieses Problem zu lösen, kann die aus Sensor und Abbildungsoptik gebildete Kamera oder ein Teil davon mechanisch bewegt werden, so dass hierdurch ein Messsignal induziert wird, und das Vorhandensein dieses induzierten Signals als Indiz dafür herangezogen werden, ob der Kontrast der vorhandenen Bodenstrukturen zur optischen Erkennung ausreicht oder nicht. Die Bewegung verursacht eine gewollte Bildverschiebung und somit ein zu erwartendes Signal. Das Vorhandensein dieses induzierten Signals wird als Indiz für zur Erkennung ausreichende Kontraste herangezogen.

[0073] Die Messeinheit kann bewegt werden, indem der Flugkörper **1** durch Ausschläge an mindestens einem Steuerglied um mindestens eine Drehachse bewegt wird und die Steuerausschläge vom Stabilisierungssystem erzeugt werden. Die Erzeugung der induzierenden Steuerausschläge braucht dann nur erfolgen, wenn im Ausgang des optischen Bewegungssensors seit einer definierten Zeit kein Änderungs-Ereignis auftrat. Die Bewegung kann durch einen eigenen Motor erzeugt werden oder auch durch kleine Steuerausschläge, die von der Regeleinheit **7** gegeben werden, um den Flugkörper **1** geringfügig zu neigen oder drehen. Solange optische Mess-Signale ohnehin auftreten, kann die Erzeugung der induzierenden Steuerausschläge unterbleiben, sodass sie nur selten erzeugt werden müssen. Bei fehlendem Messsignal kann der normale Regelvorgang unterbrochen werden, indem die Regelung ausgesetzt wird und stattdessen die Neigung des Flugkörpers bzw. des Hauptrotors geradegesetzt wird, bis ein Meßsignal wieder auftritt.

[0074] Je nach den Erfordernissen der Regelung kann, gesteuert durch das Entfallen des Meßsignals, die Regelung in einen anderen Modus umgeschaltet werden, bei dem kein optisches Meßsignal gebraucht wird. Hierzu können, ausgelöst von Ereignis des Messwert-Ausfalls, die Wichtungsverhältnisse für die bei der Mischung und Regelung beteiligten Sollwert- und Mess-Größen geeignet umgestellt werden, z.B. auf eine Konfiguration, wie sie aus dem Stand der Technik ohne Verschiebungssensor bekannt ist. Beispielsweise können bei fehlendem optischen Meßsignal alle daraus abgeleiteten Größen aus der Regelung herausgenommen werden, oder durch andere Werte ersetzt werden.

[0075] [Fig. 2](#) zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel: Zur Messung einer Drehbewegung oder -geschwindigkeit sind zwei Bewegungssensoren **31**, **32** vorhanden und so ausgerichtet, dass ihre bei der optischen Abbildung resultierenden optischen Sichtrichtungen **11a**, **11b** in einem vorgegebenen Winkel divergieren

und dass ein Signalvergleich zwischen den Signalen der Sensoren angestellt wird. Zur Messung einer Drehbewegung um mindestens eine Drehachse **12** tasten die Bewegungssensoren **31**, **32** Verschiebungen der Bilder **61**, **62** in gegenüber der Drehachse **12** tangentialer Richtung ab. Durch Signalvergleich wird mittels Subtraktion bzw. Mischung der Messgrößen eine Messgröße für die gemeinsamen Bewegungsanteile der durch Drehung der Bilder **61–61'**, **62–62'** resultierenden tangentialen Gegenbewegung gewonnen. Beide Bewegungssensoren **31** und **32** können hinter einer gemeinsamen Linse **2** oder sonstigen Abbildungsoptik versetzt angeordnet sein, oder auch eigene Abbildungsoptiken haben, wie in [Fig. 4](#) gezeigt. Solche Sensor-Einheiten können als eine kombinierte oder als separate Einheiten aufgebaut sein. Die Sichtrichtungen beider Sensoren sind in vorgegebenen Winkeln divergierend ausgerichtet. Für die meisten Anwendungen eignen sich spitze Winkel. Damit sind beide Sichtrichtungen ähnlich und ergeben eine gemeinsame Haupt-Sichtrichtung, die etwa als die Winkelhalbierende angenommen werden kann. Drehungen um eine Achse in oder nahe der Winkelhalbierenden haben für die Abbilder der Bodenpunkte **61**, **62** Bildverschiebungen in tangentialer Richtung zur Folge. Dementsprechend sind die Sensoren **31**, **32** so ausgerichtet, dass sie tangentiale Verschiebungen erkennen. Indem die in beiden Sensoren gemessenen Tangential-Verschiebungen einem Vergleich unterzogen werden, etwa subtrahiert bzw. addiert werden, wird die Messung von anderen Bewegungen weitgehend unabhängig, und der tangentiale Anteil der Verschiebungen herausgefiltert. Der Signalvergleich kann allgemein aus einer Mischung bestehen. Wenn die Einzel-Messwerte vor der Mischung verschieden gewichtet werden, so kann die Lage der Drehachse definiert verändert werden. Gleichzeitig kann eine andere Mischung der Messwerte einen anderen Messwert tiefem, z.B. nach gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel, wozu man eine Summe gleichgerichteter Bewegung verwenden kann. Statt Summierung kann jede bekannte Art des Signalvergleichs verwendet werden.

[0076] [Fig. 3](#) zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel bei dem zwei Bewegungssensoren **31**, **32** vorhanden und so ausgerichtet sind, dass ihre bei der optischen Abbildung resultierenden optischen Sichtrichtungen **11a**, **11b** in einem vorgegebenen Winkel divergieren und ein Signalvergleich zwischen den Signalen der Sensoren angestellt wird. Die Bewegungssensoren **31**, **32** tasten Verschiebungen **51'**, **52'** der Bilder **51**, **52** in radialer Richtung ab und durch Signalvergleich mittels Subtraktion bzw. Mischung der Messgrößen wird eine Messgröße für die gemeinsamen Bewegungsanteile der durch Distanzänderung **41–41'**, **42–42'** resultierenden radialen Gegenbewegung gewonnen. Zur Messung von Änderungen des Abstandes zu einem festen oder bewegten Objekt **4** wird die Messgröße bei ungefähr bekanntem Objektabstand

als Messwert für die Abstandsänderung herangezogen. Zur Messung einer Entfernungsänderung, also einer Annäherung oder Entfernung als Geschwindigkeit oder auch als Maß der schon eingetretenen Änderung, wird die in [Fig. 2](#) schon beschriebene Anordnung und Auswertung verwendet, aber statt tangentialer Bild-Verschiebungen eine radiale Komponente der Verschiebung zwischen beiden Bildern gemessen. Durch Signalvergleich, etwa Subtraktion, wird erreicht, dass der radial gegenläufige Anteil der Verschiebungen herausgefiltert wird. Bei Annäherung des Bodens **4** in die Position **4'** wandert ein sichtbarer Bodenpunkt **41** in die Stellung **41'** und sein Abbild auf dem Sensor **31** von Stellung **51** in radialer Richtung zu **51'**. Gleiches gilt am Sensor **32** für die Punkte **42**, **42'** und Bilder **52**, **52'**.

[0077] Wegen der Strahlgeometrie ist die sichtbare Winkel-Wanderung und somit der Messwert proportional zur Distanz-Änderung (bzw. Geschwindigkeit, wenn man von einem Frequenzsignal ausgeht) und umgekehrt proportional zur aktuellen Distanz zum Quadrat. Bei ungefähr bekannter Distanz kann somit die Änderung gemessen werden. Indem die in beiden Bewegungssensoren **31**, **32** gemessenen Radial-Verschiebungen summiert werden, wird die Messung von anderen Bewegungen weitgehend unabhängig. Wenn beide Sichtrichtungen zueinander im spitzen Winkel liegen, also in ähnliche Richtung zeigen, können sie eine gemeinsame Haupt-Sichtrichtung darstellen, die z.B. als die Winkelhalbierende **13** angenommen werden kann. Die Distanzmessung kann also in Bezug zu einem begrenzten bodenbezogenen Ort oder Objekt erfolgen.

[0078] Bei vertikaler Sichtrichtung ergibt sich mit dem dritten Ausführungsbeispiel die Messung einer Sink- bzw. Steigrate. Im Unterschied zu einer Abstandsmessung, bei der bei zumindest ungefähr bekannter horizontaler Geschwindigkeitskomponente das optische Geschwindigkeits-Meßsignal als reziproker Messwert für den Abstand zwischen Flugkörper und abgebildetem Teil der Szene herangezogen wird, wird hier nicht der Absolutwert des Abstandes, sondern die Änderungsrate gemessen. Auch ist es hier nicht nötig, dass eine andere Geschwindigkeit in Querrichtung vorhanden und bekannt ist. Eine vorteilhafte Anwendung ist für unbemannte Hubschrauber anstelle eines Variometers, insbesondere in Bodennähe. Wegen der reziproken Funktion nimmt die Empfindlichkeit und Genauigkeit in Bodennähe zu. Bei einem Hubschrauber kann in einem Regelkreis der Messwert mit einem Sollwert verglichen werden und damit die Steigrate so geregelt werden, dass zur Landung sich der Bodenabstand nach einem vorgegebenem Ablauf verringert.

[0079] Wenn die Geschwindigkeit in etwa bekannt ist, kann mit der gleichen Anordnung anstelle der Geschwindigkeit auch die Absolut-Distanz ermittelt wer-

den. Zur Messung des Abstandes zu einem Objekt **4** wird bei zumindest ungefähr bekannter, längs der Winkelhalbierenden **13** existierender Geschwindigkeits-Komponente die Messgröße als quadratisch reziproker Abstands-Messwert herangezogen. Dabei können von jedem der mindestens zwei Bewegungssensoren **31**, **32** beide Messkoordinaten ausgewertet werden. Da sich der Messwert quadratisch zum reziproken Abstand verhält, lässt sich der Abstand hier mit doppelter Genauigkeit bestimmen. Wenn z.B. die Geschwindigkeit nur auf $\pm 10\%$ genau bekannt ist, variiert der gemessene Abstand demzufolge nur um 5%. Ein Abstand wird auch in bodenbezogenen Koordinaten mit dem zu [Fig. 1](#) beschriebenen Verfahren gemessen, bei dem unter Verwendung eines zweikoordinatigen Bewegungssensors die inkrementalen Sensorsignale beider Sensor-Koordinaten integrierend aufsummiert werden, hierzu stellvertretend für zwei Bodenkoordinaten zwei Integrationssummen vorgesehen sind, die Ausrichtung des Sensors **31** bzw. **32** bezüglich einer zu den Bodenkoordinaten senkrechten Drehachse zusätzlich gemessen wird und die aufzusummierenden Sensorsignale bzw. -Schritte gesteuert von der gemessenen Ausrichtung vor der Aufsummierung vektoriell gedreht werden.

[0080] Im Unterschied zu den Verfahren, bei denen bei zumindest ungefähr bekannter horizontaler Geschwindigkeitskomponente das optische Geschwindigkeits-Meßsignal als reziproker Messwert für den Abstand zwischen Flugkörper **1** und abgebildetem Teil der Szene des Bodens **4**, **4'** oder eines anderen Flugkörpers herangezogen wird und ein Höhenrelief des Bodens **4**, **4'** bzw. des Bodenobjekts bzw. der Bodenobjekte anhand auftretender Frequenzänderungen erfasst wird, indem das optische Meßsignal bzw. eine hieraus abgeleitete Größe in einer fortlaufenden Folge während des Fluges aufgezeichnet bzw. ausgewertet wird, liegt die gemessene Geschwindigkeitskomponente hier nicht quer, sondern längs in Sichtrichtung (d.h. in der Winkelhalbierenden **13** beider Sichtrichtungen). Neben der Summe der Radialverschiebung kann auch die Differenz gebildet werden, also die Summe der gleichsinnigen Translation. Somit lassen sich gleichzeitig Bewegungen längs und quer zur gemeinsamen Haupt-Sichtrichtung messen.

[0081] [Fig. 4](#) zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel. Drei Sensoren **31**, **32**, **33** sind mit ihren Sichtrichtungen in drei verschiedenen, zum Beispiel orthogonalen Richtungen angeordnet, wobei jeder Sensor zwei Mess-Richtungen haben kann. Es ergeben sich bis zu sechs Messwerte. Die Sicht-Richtungen können, müssen aber nicht orthogonal sein. Für eine Flug-Stabilisierung können alle drei Sichtrichtungen auf den Boden gerichtet sein wie die Füße eines Stativs. Die Messwerte der schrägen Sichtrichtungen können durch rechnerische Mischung gemäß einer

Drehmatrix leicht in die zur Steuerung relevanten geraden Koordinaten umgewandelt werden. Mit solcher Anordnung lässt sich eine Orientierung in allen sechs Raumkoordinaten erreichen und die Flugbewegung bzw. Schwebeposition in allen Komponenten erfassen und stabilisieren.

[0082] Alle Messwerte können bereinigt werden um die durch Drehung verursachten beschriebenen Einflüsse, indem drei unabhängige Dreh-Sensoren vorgesehen sind. Die Drehachsen dieser Sensoren können einfachheitshalber in das gleiche Vektor-System ausgerichtet werden.

[0083] Diese unabhängigen Dreh-Sensoren lassen sich aber auch einsparen. Um jeweils einen der Sensoren **31**, **32**, **33** zu kompensieren, benützt man die Signale eines oder beider der übrigen Sensoren, wobei diese übrige Sensoren zur Drehungs-Messung herangezogen werden, und bereinigt damit dann die Drehung beim ersteren Sensor.

[0084] Allgemein können beliebige der hier beschriebenen Messverfahren miteinander kombiniert werden. Ferner können hierdurch störende Einflüsse einer Bewegungskomponente auf die Messung einer anderen Bewegungskomponente dadurch eliminiert werden, dass mit einem anderen Sensor eine andere Mischung von Bewegungen gemessen wird und beide Signale einem Vergleich unterzogen werden. Bewegungsgrößen können in mehreren voneinander unabhängigen Freiheitsgraden gemessen werden, auch wenn diese Freiheitsgrade aus kombinierten Bewegungen bestehen, also nicht voneinander getrennt sind. Bewegungsachsen bzw. Koordinaten müssen nicht notwendigerweise orthogonal zueinander stehen. Da jeder Sensor eine andere Mischung an Bewegungskomponenten misst, kann eine Entmischung der Messwerte in getrennte Koordinaten vorgenommen werden, indem die Meßsignale durch geeignete Mischung nach den Gesetzen der Vektorgeometrie in linear unabhängige bzw. orthogonale Meßsignale umgeformt werden. Für eine Regelung muss diese Umformung nicht notwendigerweise erfolgen. Allgemein können Raumkomponenten einer Bewegung auch in gemischter Form gemessen und geregelt werden. Durch geeignete Sensor-Ausrichtung kann die gewünschte Mischung festgelegt werden. Beim Hubschrauber kann eine optische Drehmessung zur Steuerung des Heckrotors verwendet werden. Dabei kann der Sichtstrahl bzw. die optische Sichtrichtung nach schräg hinten-unten ausgerichtet sein. Dann misst und regelt man eine Kombination aus Hochachsendrehung und seitlicher Abdrift. Auf diese Weise stellt sich der Rumpf windunabhängig in die geflogene Richtung.

[0085] Es können auch andere zur Stabilisierung schon übliche Fluginstrumente ersetzt werden. Beispielsweise kann bei ferngelenkten Modellen der üb-

liche Hochachsen-Gyro durch die Dreh-Messung ersetzt werden. Ferner kann statt eines Variometers eine optische Steigraten-Messung verwendet werden.

[0086] Durch Kombination mit herkömmlichen Instrumenten zur Messung anderer Bewegungskomponenten, etwa der Flughöhe (Barometer) und der Nasen-Ausrichtung (Kompass), kann ein vollständiger Autopilot realisiert werden, der die gesamte Steuerung übernimmt.

[0087] Bei GPS-gesteuerten Anwendungen kann die Genauigkeit, Auflösung und Schnelligkeit der Messung durch Ergänzung mit den optischen Messwerten erheblich verbessert werden, besonders für den bodennahen Bereich.

Patentansprüche

1. Flug-Regel-System zur Stabilisierung einer Translationsbewegungsgröße eines Flugkörpers (**1**), mit einer Abbildungsoptik (**2**) zum abschnittswisen Abbilden eines von der Flugposition aus sichtbaren Bildes einer Szene auf eine Sensorfläche eines optoelektronischen Sensors (**3**), wobei aus den dabei gewonnenen Signalen elektronisch ein Messwert einer Bildverschiebung gewonnen wird, wobei das System eine elektronische Schaltung (**7**) aufweist, die ausgebildet ist, den optoelektronisch gewonnenen Messwert von Einflüssen von Roll-Drehbewegungen des Flugkörpers (**1**) zu bereinigen, indem sie in einem Mischglied (**24**) zum Messwert ein Drehsignal kompensierend einmischt, welches zu einer der Größen Winkel oder Winkelgeschwindigkeit einer Rolldrehung des Flugkörpers (**1**) proportional ist, und ferner ausgebildet ist, diesen gemischten Messwert zur Ansteuerung eines die Roll-Drehung des Flugkörpers (**1**) beeinflussenden Stellgliedes (**8**) unter Bildung eines geschlossenen Regelkreises zumindest anteilsweise heranzuziehen.

2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Regelung des Neigungswinkels der Roll-Fluglage ausgebildet ist und hierzu eine reale oder rechnerisch simulierte Messgröße für die aktuelle Neigung der Roll-Fluglage herangezogen wird.

3. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Messgröße für die aktuelle Neigung dargestellt wird unter Verwendung eines zeitlich differenzierten Werts des Messwerts der Bildverschiebung.

4. System nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Messgröße für die aktuelle Neigung sowohl aus dem zeitlich differenzierten Messwert des optoelektronischen Sensors (**3**) als auch aus dem zeitlich integrierten Signal eines zur Winkelgeschwindigkeit der Neigung proportiona-

len. Drehsignals gewonnen wird.

5. System nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur Gewinnung des Messsignals vom differenzierten Messwert dessen höherfrequente Anteile geringer gewichtet werden als dessen übrige Anteile und vom integrierten Drehsignal dessen niederfrequente Spektralanteile und der Gleichsignal-Anteil geringer gewichtet werden als dessen übrige Anteile.

6. System nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Regelkreis Messgrößen für Neigung oder Drehgeschwindigkeit der Neigung und für horizontale Bewegung und/oder Position des Flugkörpers (1) gemischt und gemeinsam geregelt werden.

7. System nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Gewinnung des Drehsignals ein Drehsensor (9) vorgesehen ist.

8. System nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Funk-Empfänger (22) vorgesehen ist, mit dem der elektronischen Schaltung (7) ein Sollwert, insbesondere für einen Flugweg oder für eine Fluggeschwindigkeit, zuführbar ist.

9. System nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein den Abstand des Flugkörpers (1) zum Boden (4, 4') messendes Instrument vorgesehen ist und dass das, um Neigungs-Einflüsse bereinigte, optoelektronische Meßsignal multipliziert wird mit einem Faktor, der mit zunehmendem gemessenen Bodenabstand stetig zunimmt.

10. System nach einem vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Drehsignal ein Steuersignal dient, welches zur Weiterleitung an ein die Drehung beeinflussendes Steuerorgan (8) bestimmt ist, dass das Steuersignal mittels einer Regelschaltung erzeugt wird, deren Istwert den zu bereinigenden optoelektronisch gewonnenen Meßwert beinhaltet, und dass die den Einfluss der Rolldrehung kompensierende Einmischung des Drehsignals erfolgt, indem die Verstärkung des Regelkreises derart verringert ist, dass die Verringerung einer Rückmischung in Form einer Gegenkopplung vom Stellwert zum Istwert entspricht, welche die Regelverstärkung herabsetzt.

11. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der optoelektronische Sensor (3) dem Funktionsprinzip des in einer optischen Maus verwendeten Verschiebungssensors entspricht und dass hierfür ein entsprechendes Bauteil verwendet wird.

12. System nach Anspruch 11, wobei der optoelektronische Sensor (3) auf einer Abtastfläche verteilt eine Vielzahl lichtempfindlicher Teilflächen enthält, deren Signale mit einer Auslese-Rate ausgelesen werden, die wesentlich höher ist als die bei Videokameras übliche Bildwechselfrequenz und wobei die Bilder elektronisch auf Verschiebung ausgewertet werden.

13. System nach Anspruch 12, wobei das Ausmaß der Bildverschiebung in zwei orthogonalen Koordinaten ermittelt und in separaten Messwerten ausgegeben wird.

14. System nach Anspruch 13, wobei in dem Sensor (3) für jede der zwei Koordinaten ein Quadratur-Ausgang vorgesehen ist, der auf zwei Leitungen ein Inkremental-Signal ausgibt, wobei die Position in feine Stufen unterteilt und Verschiebungen als Änderung dieser Position als Sprung oder Folge von Sprüngen von Stufe zu Stufe richtungsgetreu gemeldet wird.

15. System nach Anspruch 13, wobei die Messwerte als Signale, insbesondere über einen seriellen P2/2 Ausgang, ausgegeben werden.

16. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Regelung der Nick-Fluglage des Flugkörpers (1) ein zweiter Regelkreis vorgesehen ist, der gleich wie der Regelkreis für die Roll-Fluglage aufgebaut ist.

17. System nach Anspruch 16, wobei Messwerte der Fluglage komponentenweise für eine Roll-Achse und eine Nick-Achse aufgeteilt sind.

18. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stellwert proportional und entgegengesetzt zu einer Abweichung des kompensierten, der Translationsbewegungsgröße entsprechenden Meßwerts von einem Sollwert definiert wird.

19. Flugkörper, insbesondere Hubschrauber (1), umfassend ein System nach einem der Ansprüche 1 bis 18.

20. Verfahren zur Regelung einer Translationsbewegungsgröße eines Flugkörpers (1), wobei mit einer Abbildungsoptik (2) ein Bild einer von der Flugposition aus sichtbaren Szene abschnittsweise auf eine Sensorfläche eines optoelektronischen Sensors (3) abgebildet und aus den dabei gewonnenen Signalen elektronisch ein Messwert einer Bildverschiebung gewonnen wird, wobei der optoelektronisch gewonnene Messwert von Einflüssen von Roll-Drehbewegungen des Flugkörpers (1) bereinigt wird, indem ihm in einem Mischglied (24) ein Drehsignal kompensierend eingemischt wird, welches zum Winkel oder zur

Winkelgeschwindigkeit einer Rolldrehung des Flugkörpers (1) proportional ist, und wobei dieser gemischte Messwert zur Ansteuerung eines die Roll-Drehung des Flugkörpers (1) beeinflussenden Stellgliedes (8) unter Bildung eines geschlossenen Regelkreises zumindest anteilsweise herangezogen wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei ein Stellwert proportional und entgegengesetzt zu einer Abweichung des der Translationsbewegungsgröße entsprechenden Messwerts von einem Sollwert definiert wird.

22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, wobei die Regelung zur Stabilisierung eines Schwebefluges des Flugkörpers (1) erfolgt.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 22, wobei ein Neigungswinkel einer Roll-Fluglage des des Flugkörpers (1) einer Regelung unterliegt und hierzu eine reale oder rechnerisch simulierte Messgröße für die aktuelle Neigung der Roll-Fluglage herangezogen wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

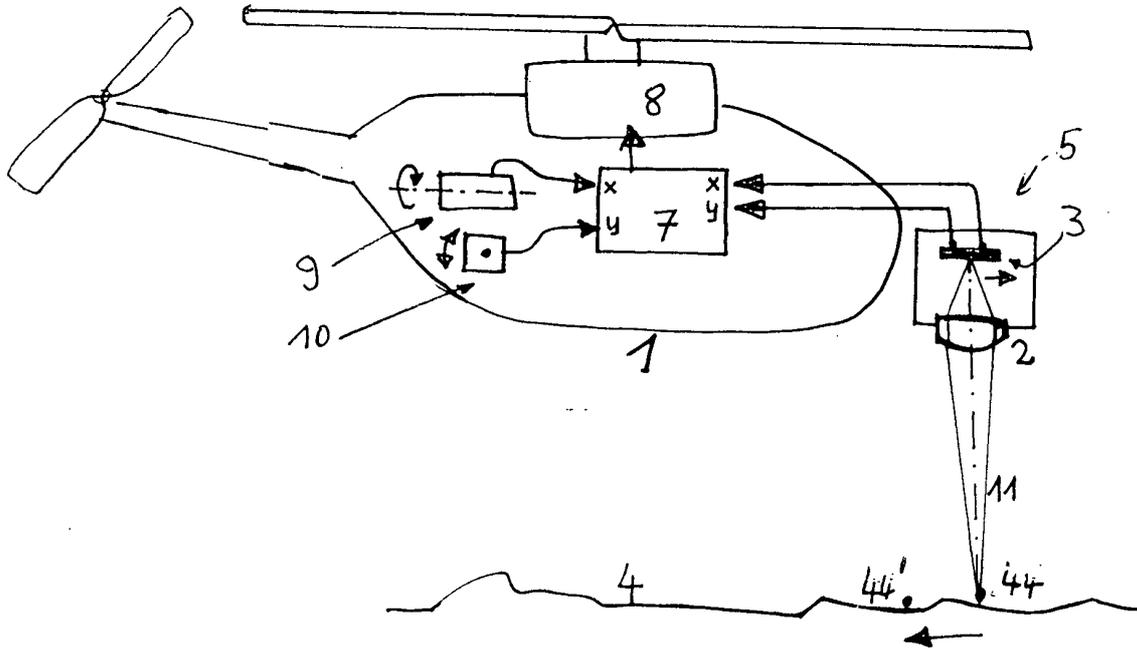


FIG. 2

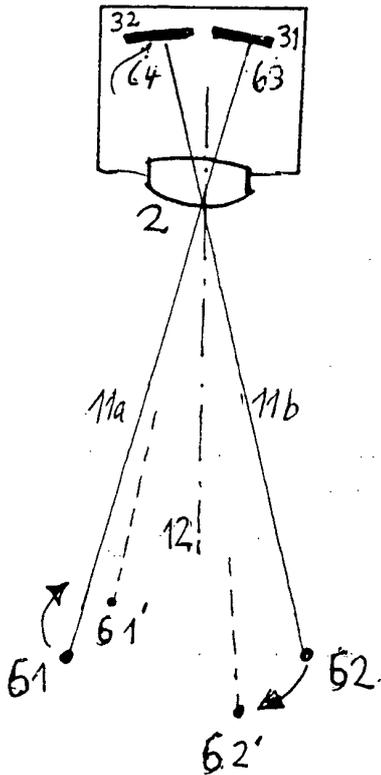


FIG. 3

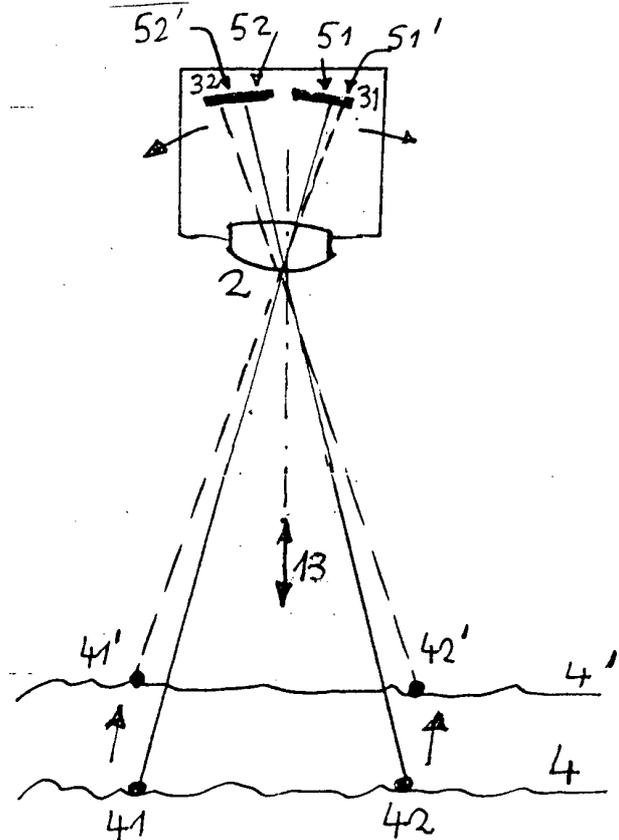
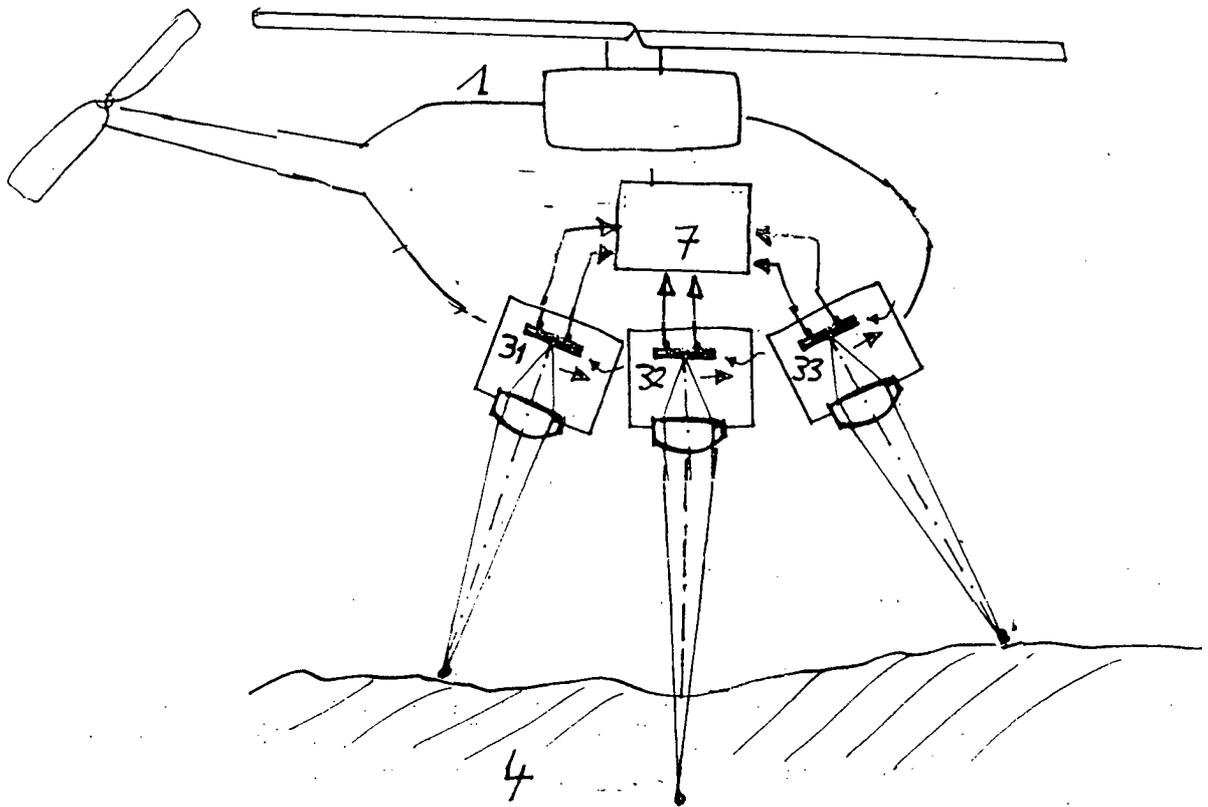


FIG. 4.



Figur 5

