

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11)

Veröffentlichungsnummer:

0 324 874
A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21)

Anmeldenummer: 88100785.0

(51)

Int. Cl.4: G06G 7/72 , G06G 7/78

(22)

Anmeldetag: 20.01.88

(43)

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.07.89 Patentblatt 89/30

(64)

Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB IT

(71)

Anmelder: LITEF GmbH
Lörracher Strasse 18
D-7800 Freiburg/Br.(DE)

(72)

Erfinder: Kleinschmidt, Michael, Dr.
In den Schäfergärten 19
D-7801 Schallstadt(DE)
Erfinder: Mattisek, Andreas, Dr.
Von-Schewelin-Strasse 3a
D-7802 Merzhausen(DE)
Erfinder: Ozdes, Demir, Dipl.-Ing.
Alte Strasse 1
D-7802 Merzhausen(DE)

(74)

Vertreter: Patentanwälte TER MEER - MÜLLER
- STEINMEISTER
Mauerkircherstrasse 45
D-8000 München 80(DE)

(54)

Verfahren zur Verbesserung und Stützung von Luftdaten eines Fluggeräts.

(57)

Das Verfahren zur Verbesserung und Stützung von Luftdaten eines Fluggeräts, bei dem der Betrag der wahren Luftgeschwindigkeit sowie der Anstellwinkel und der Schiebewinkel in einem sphärischen Koordinatensystem dargestellt werden, sieht über eine Hybridschleife (3) mit einem Multiplikationszweig (4) und einem Integrationszweig (5) den Vergleich mit Geschwindigkeitsinkrementen (ΔV) vor, die aus den Signalen der Beschleunigungsmesser eines Strap-Down-Systems abgeleitet werden. Die Berechnungen über die Hybridschleife beinhaltet, daß sowohl die Luftdaten als auch die Geschwindigkeitsinkremente aus dem Strap-Down-System zunächst in das gleiche Koordinatensystem transformiert werden. Dieses Koordinatensystem kann entweder körperfest oder erdfest sein. Mit der Erfindung läßt sich einerseits eine deutliche Verbesserung der Qualität der normalerweise stark verrauschten Luftdaten erreichen und außerdem wird bei kurzzeitigen Störungen des Luftdatensystems eine Stützung über die in der Hybridschleife bereitgestellten Geschwindigkeitswerte erreicht.

EP 0 324 874 A1

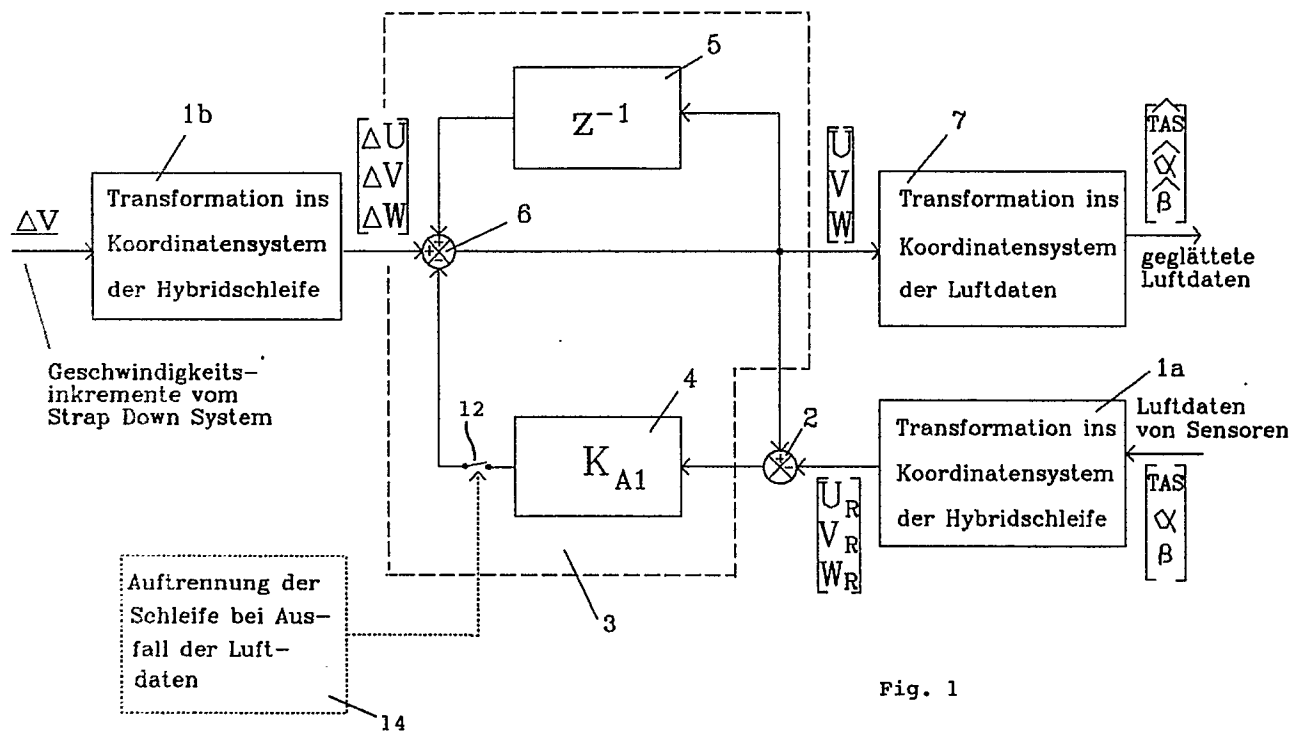


Fig. 1

Verfahren zur Verbesserung und Stützung von Luftdaten eines Fluggeräts

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur qualitativen Verbesserung und Stützung von Luftdaten eines Fluggeräts, die mittels Luftdatensensoren als Betrag der Geschwindigkeit in der Luft sowie als Anstellwinkel und als Schiebewinkel gemessen werden.

Die mit solchen Sensoren, wie Drucksensoren und Luftfahnen, gemessenen Luftdaten sind im allgemeinen stark verrauscht und mindestens ihre kurzzeitige Qualität ist meistens unzuverlässig. Störungen können auch durch Vogelschlag, durch das Abfeuern von Waffen, insbesondere aber auch beim Überschreiten bestimmter Anstell- oder Schiebewinkel hervorgerufen werden. Luftdaten werden üblicherweise in Polarkoordinaten dargestellt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Qualität der Luftdatenerfassung vorzugsweise in Polarkoordinaten mit dem Betrag der wahren Geschwindigkeit in der Luft (TAS = True Air Speed) und den Anstell- und Schiebewinkeln zu verbessern und bei Störungen des Luftdatensystems eine wenigstens kurzzeitige Stützung zu garantieren.

Die wahre Geschwindigkeit (TAS) wird aus der mit Staurohren oder ähnlichen Instrumenten gemessenen Geschwindigkeit (IAS = Indicated Air Speed) ermittelt durch Temperatur- und Luftdruckkorrekturen.

Die Werte der Anstell- und Schiebewinkel werden üblicherweise entweder durch Windfahnen gemessen oder aus den Druckdifferenzen der an verschiedenen Orten am Flugzeug angebrachten Staurohre berechnet.

Im allgemeinen wird von den Luftdaten lediglich die Geschwindigkeit bezüglich ihres Betrags zur Flugregelung verwendet. Die Werte α - (Anstellwinkel) und β (Schiebewinkel) dienen zu meist nur der Erstellung eines Warnsignals - insbesondere bei einem Überschreiten des höchstzulässigen Anstellwinkels $\alpha_{\max}$ oder als Zusatzinformation für den Piloten. Als Parameter für die Flugregelung werden dann hilfsweise die Fluglage (Roll- und Nickwinkel) und die dazugehörigen Drehraten verwendet, da diese die Qualitätsanforderungen erfüllen, die ein Flugregelsystem an die primären Parameter stellt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur qualitativen Verbesserung und Stützung von Luftdaten sieht vor, daß

- die Werte der wahren Luftgeschwindigkeit (TAS) einem Subtraktionsvergleich mit Geschwindigkeitswerten unterworfen werden, die in einer mit einem Multiplikationszweig und einem Integrationszweig ausgestatteten Hybridschleife gewonnen werden, die durch Werte von Geschwindigkeitsinkrementen

beaufschlagt ist, die aus den Signalen von Beschleunigungsmessern eines inertialen Strap-Down-Systems abgeleitet sind,

- die erhaltenen Geschwindigkeitsdifferenzen im Multiplikationszweig der Hybridschleife mit Verstärkungsfaktoren multipliziert werden,
- die aus der Multiplikation erhaltenen Korrekturwerte von den um alle Scheinkräfte befreiten Geschwindigkeitsinkrementen aus dem Strap-Down-System und den Ausgangswerten des Integrationszweigs abgezogen werden,
- die im vorhergehenden Verfahrensschritt erhaltenen Differenzwerte zu den zuletzt ermittelten Geschwindigkeitswerten der Hybridschleife hinzuaddiert und die so erhaltenen aufdatierten Geschwindigkeitswerte dem Subtraktionsvergleich mit der wahren Luftgeschwindigkeit gemäß dem ersten Verfahrensschritt als neue Geschwindigkeitswerte sowie dem Eingang des Integrationszweigs zugeführt werden und
- die aufdatierten Geschwindigkeitswerte als verbesserte (geglättete) inertialgestützte Werte der wahren Luftgeschwindigkeit zusammen mit dem Anstellwinkel und dem Schiebewinkel ausgegeben werden.

Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Verfahren so durchgeführt, daß zunächst die in sphärischen Koordinaten zur Verfügung stehenden gemessenen Luftdaten der wahren Geschwindigkeit mit Berücksichtigung des Anstellwinkels und des Schiebewinkels in einem Rechner zu Geschwindigkeitskomponenten in einem körperfesten, orthogonalen Koordinatensystem transformiert werden und die verschiedenen Berechnungsschritte in dem körperfesten, orthogonalen Koordinatensystem durchgeführt werden. Die aufdatierten Geschwindigkeitswerte werden sodann in das sphärische Koordinatensystem zurücktransformiert und mit dem Betrag der wahren Luftgeschwindigkeit sowie dem Anstellwinkel und dem Schiebewinkel dargestellt.

Die im körperfesten, orthogonalen Koordinatensystem auftretenden Scheinkräfte, von denen die Geschwindigkeitsinkremente befreit werden müssen, sind insbesondere die Gravitation und die Zentrifugalkraft.

Die Berechnungsschritte können jedoch auch so ausgeführt werden, daß die aus den Beschleunigungsmessersignalen des Strap-Down-Systems erhaltenen Geschwindigkeitsinkremente sowie die Geschwindigkeitskomponenten der Luftdaten im körperfesten, orthogonalen Koordinatensystem zunächst in das erdfeste Koordinatensystem transformiert werden und daß die verschiedenen Berechnungsschritte dann im erdfesten Koordinatensystem

stern durchgeführt werden. In diesem Fall reduzieren sich die Korrekturen der Geschwindigkeitsinkremente auf die Gravitation und die Corioliskraft.

Eine zusätzliche Verbesserung der Korrekturwerte ergibt sich, wenn die aus dem Subtraktionsvergleich von wahrer Luftgeschwindigkeit mit den Geschwindigkeitswerten aus der Hybridschleife erhaltenen Geschwindigkeitsdifferenzen zusätzlich mit anderen Verstärkungsfaktoren multipliziert, so dann integriert und zu den aus der ersten Multiplikation erhaltenen Korrekturwerten hinzuaddiert werden.

Der entscheidende Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem die Fluglage nicht im System der aerodynamischen Kräfte angegeben wird, liegt darin, daß die Größen α und β mit der Qualität der inertialen Messung versehen werden und damit als primäre Eingangswerte für die Flugregelung verwendet werden können.

Fallen einzelne Luftdatensensoren aus oder tritt eine vorübergehende Störung auf, so wird die Berechnung bis zum Subtraktionsvergleich mit den aus dem Inertialsystem abgeleiteten Geschwindigkeitswerten ausgesetzt und die Inertialdaten werden über die Hybridregelschleife zur Stützung im luftdatenbezogenen sphärischen Koordinatensystem verwendet.

Dabei wird die Tatsache vorteilhaft ausgenutzt, daß ein inertiales Strap-Down-System die Eigenschaft hat, kurzzeitig ungestörte Daten zu liefern, die allerdings zunächst nur in einem inertialen bzw. körperbezogenen Koordinatensystem vorliegen.

Bei der erfindungsgemäßen Verbesserung bzw. Stützung hängt die mögliche Zeitspanne für die autonome Luftdatenberechnung von der Änderungsgeschwindigkeit, von Betrag und Richtung des Windes sowie von der Qualität der Inertialsensoren im Strap-Down-System ab. Dieses Strap-Down-System dient bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dazu, die aus den Signalen der Beschleunigungsmesser ermittelten Geschwindigkeitsinkremente von den Werten der Erdbeschleunigung zu befreien, um die tatsächlichen Werte der Geschwindigkeitsinkremente der Hybridschleife zur Luftdatenberechnung zuzuführen.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird zum einen die Qualität, d. h. die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit der Luftdaten verbessert und andererseits läßt sich eine Kompensation von Sensorfehlern des Strap-Down-Systems erreichen.

Für die Berechnung der Verstärkungsfaktoren stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Entweder können die Verstärkungsfaktoren durch Simulation der Qualität der Sensoren, d. h. der Luftdatensensoren einerseits und der Sensoren des Strap-Down-Systems andererseits angepaßt werden. Oder die Bestimmung der Verstärkungsfaktoren kann durch das Kalmanfilterverfahren erfolgen.

Dies kann insbesondere in Anpassung an die momentan gegebenen dynamischen Verhältnisse im Echtzeitbetrieb geschehen.

Für den Fall, daß keine Luftdaten aus den Sensoren vorliegen, werden die zur Aufdatierung angewendeten Berechnungsschritte unterbrochen. Zur Stützung der Luftdaten werden die zuletzt ermittelten Geschwindigkeitswerte der Hybridschleife, zu denen weiterhin laufend die Geschwindigkeitsinkremente der Strap-Down-Einheit addiert werden, wenigstens kurzzeitig bis zum Ausgleich oder einer Beseitigung der Störung herangezogen.

Die Erfindung und vorteilhafte Einzelheiten werden nachfolgend unter Bezug auf die Blockschaltbilder der beigefügten **Fig. 1 und 2** näher erläutert.

Entsprechend dem Funktions- und Blockschaltbild der Fig. 1 werden die in einem sphärischen Koordinatensystem gemessenen Luftdaten als wahre Geschwindigkeit TAS (True Air Speed), als Anstellwinkel α sowie als Schiebewinkel β einer Recheneinheit 1a zugeführt, welche die angelieferten Werte zu Geschwindigkeitskomponenten U_R , V_R , W_R in einem vorzugsweise erdfesten oder auch körperfesten, orthogonalen Koordinatensystem transformiert. Die so errechneten Geschwindigkeitskomponenten U_R , V_R , W_R gelangen auf die Subtraktionseingänge einer Vergleichsschaltung 2, an deren positiven Eingängen geregelte Größen U , V , W anliegen, die in einer Hybridschleife 3 erstellt werden. Die Hybridschleife 3 umfaßt als wesentliche Baugruppen eine Multiplikationsschaltung 4, eine Integrationsschaltung 5 sowie eine Additions- und Vergleichsschaltung 6. Die Geschwindigkeitsdifferenzen an den Ausgängen des Subtraktionsvergleichers 2 werden in der Multiplikationsschaltung 4 mit variablen Verstärkungsfaktoren K_{A1} multipliziert, wobei gilt $K_{A1} < 1$. Die am Ausgang der Multiplikationsschaltung 4 erscheinenden Korrekturwerte beaufschlagen über einen Auftrennschalter 12, dessen Funktion weiter unten erläutert wird, den Subtraktionseingang der Additions- und Vergleichsschaltung 6, der an einem Additionseingang auf das erdfeste oder das körperfeste Koordinatensystem bezogene Werte von Geschwindigkeitsinkrementen ΔV zugeführt werden, die durch ein (nicht dargestelltes) inertiales Strap-Down-Gerät bereitgestellt werden. Die körperbezogen vorliegenden Geschwindigkeitsinkremente werden in einer weiteren Recheneinheit 1b, die eine Baueinheit mit der Recheneinheit 1a bilden kann, gegebenenfalls in ein Koordinatensystem der Hybridschleife 3, also insbesondere in ein erdfestes Koordinatensystem, transformiert. Ein weiterer additiver Eingang der Additions- und Vergleichsschaltung 6 ist durch die Ausgänge der Integrationsstrecke 5 beaufschlagt. Am Ausgang der Schaltung 6 erscheinende aufgedatete Geschwindigkeitskomponenten U , V , W werden in einer weiteren Recheneinheit 7, die

ebenfalls baueinheitlich mit der Recheneinheit 1a, 1b zusammengefaßt sein kann, in das sphärische Koordinatensystem mit Darstellung des Betrags der verbesserten wahren Luftgeschwindigkeit sowie der Darstellung des Anstellwinkels und des Schiebewinkels zurücktransformiert. Die aufgedateten Geschwindigkeitskomponenten werden wiederum dem Subtraktionsvergleich 2 zugeführt und beaufschlagt, außerdem die Eingangsseite der Integrationsstrecke 5.

Gemäß der Lehre des Anspruchs 7 kann die Luftdatenaufdatierung und -stützung ausgesetzt werden bzw. unterbrochen werden. Dies geschieht insbesondere durch Auftrennen des Auftrennschalters 12, beispielsweise durch das Ausgangssignal einer Vergleicherschaltung 14. In diesem Fall werden, wie oben bereits erwähnt, die Luftdaten durch die zuletzt ermittelten Geschwindigkeitswerte der Hybridschleife 3 verwendet, zu denen zur wenigstens kurzzeitigen Überbrückung einer Störung weiterhin laufend die Geschwindigkeitsinkremente aus der Strap-Down-Einheit addiert werden.

Bei der Blockschaltbildanordnung nach Fig. 2 ist die Hybridschleife 3 um drei weitere Baugruppen ergänzt, nämlich um eine weitere Multiplikationsschaltung 9, eine Additionsschaltung 11 sowie eine weitere Integrationsschaltung (Integrationsstrecke) 10. In der Multiplikationsschaltung 9 wird das Ergebnis des Subtraktionsvergleichs zwischen den aufdatierten Geschwindigkeitskomponenten und den aus der wahren Luftgeschwindigkeit unter Berücksichtigung von Anstellwinkel und Schiebewinkel transformierten Geschwindigkeitswerten mit einem Multiplikationsfaktor K_{A2} beaufschlagt und anschließend über die Integrationsstrecke 10 integriert. Das Additionsergebnis der Additionsschaltung 11 wird in der weiteren Additionsschaltung 8 zu Korrekturwerten mit den Ausgängen der Multiplikationsschaltung 4 addiert und dem Vergleich in der Schaltung 6 mit den inertialen Geschwindigkeitsinkrementen ΔV zugeführt.

Ansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung und Stützung von Luftdaten eines Fluggeräts, die mittels Luftdatensensoren als sogenannte wahre Geschwindigkeit (TAS), sowie als Anstellwinkel (α) und als Schiebewinkel (β) gemessen werden, **dadurch gekennzeichnet, daß**

a) die Werte der wahren Luftgeschwindigkeit (TAS) einem Subtraktionsvergleich (2) mit Geschwindigkeitswerten unterworfen werden, die in einer mit einem Multiplikationszweig (4) und einem Integrationszweig (5) ausgestatteten Hybridschleife (3) gewonnen werden, die durch Werte von Geschwindigkeitsinkrementen (ΔV) beaufschlagt ist,

die aus den Signalen von Beschleunigungsmessern eines inertialen Strap-Down-Systems abgeleitet sind;

b) die erhaltenen Geschwindigkeitsdifferenzen im Multiplikationszweig (4) der Hybridschleife mit Verstärkungsfaktoren multipliziert werden;

c) die aus der Multiplikation erhaltenen Korrekturwerte von den Geschwindigkeitsinkrementen (ΔV) aus dem Strap-Down-System und den Ausgangswerten des Integrationszweigs (5) abgezogen werden;

d) die im Verfahrensschritt c) erhaltenen Differenzwerte zu den zuletzt ermittelten Geschwindigkeitswerten der Hybridschleife (3) hinzuaddiert und die so erhaltenen aufdatierten Geschwindigkeitswerte dem Subtraktionsvergleich (2) mit der wahren Luftgeschwindigkeit (TAS) gemäß Verfahrensschritt a) als neue Geschwindigkeitswerte sowie dem Eingang des Integrationszweigs (5) zugeführt werden, und

e) die aufdatierten Geschwindigkeitswerte als verbesserte, inertialgestützte Werte der wahren Luftgeschwindigkeit (TAS) zusammen mit dem Anstellwinkel (α) und dem Schiebewinkel (β) ausgegeben werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß**

- die Luftdaten in einem sphärischen Koordinatensystem gemessen werden, die gemessenen Werte der wahren Geschwindigkeit (TAS) mit Berücksichtigung des Anstellwinkels (α) und des Schiebewinkels (β) in einem Rechner (1) zu Geschwindigkeitskomponenten in einem körperfesten, orthogonalen Koordinatensystem transformiert werden,
- die Berechnungsschritte a) bis d) in dem körperfesten, orthogonalen Koordinatensystem durchgeführt werden und
- die aufdatierten Geschwindigkeitswerte in das sphärische Koordinatensystem mit dem Betrag der wahren Luftgeschwindigkeit sowie dem Anstellwinkel und dem Schiebewinkel zurücktransformiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß**

- die Luftdaten in einem sphärischen Koordinatensystem gemessen werden,
- die gemessenen Werte der wahren Geschwindigkeit (TAS) mit Berücksichtigung des Anstellwinkels (α) und des Schiebewinkels (β) in einem Rechner (1) zu Geschwindigkeitskomponenten in einem erdfesten, orthogonalen Koordinatensystem transformiert werden,
- die Geschwindigkeitsinkremente (ΔV) des Strap-Down-Systems ebenfalls in dieses erdfeste Koordinatensystem transformiert werden,
- die Berechnungsschritte a) bis d) in dem erdfeste

sten, orthogonalen Koordinatensystem durchgeführt werden und

- die aufdatierten Geschwindigkeitswerte in das sphärische Koordinatensystem mit dem Betrag der wahren Luftgeschwindigkeit sowie dem Anstellwinkel und dem Schiebewinkel zurücktransformiert werden.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **da durch gekennzeichnet, daß**

- die im Verfahrensschritt a) erhaltenen Geschwindigkeitsdifferenzen zusätzlich mit anderen Verstärkungsfaktoren (K_{A2}) multipliziert,
- danach integriert und
- zu den nach Verfahrensschritt b) erhaltenen Korrekturwerten addiert werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Verstärkungsfaktoren (K_{A1} , K_{A2}) mit Hilfe eines Kalmanfilters berechnet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Berechnung der Verstärkungsfaktoren im Echtzeitverfahren erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** nach einem Ausfall oder bei einer vorübergehenden Störung der Luftdatensensoren die Berechnungen nach den Verfahrensschritten a) bis c) unterbrochen werden und die Luftdatenberechnung nur gemäß Verfahrensschritt d) erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** nach einem Ausfall oder bei einer vorübergehenden Störung der Luftdatensensoren die Berechnungen nach den Verfahrensschritten a) bis c) unterbrochen werden und die Luftdatenberechnung nur gemäß Verfahrensschritt d) unter Verwendung des letzten Werts der Integration weitergeführt wird.

40

45

50

55

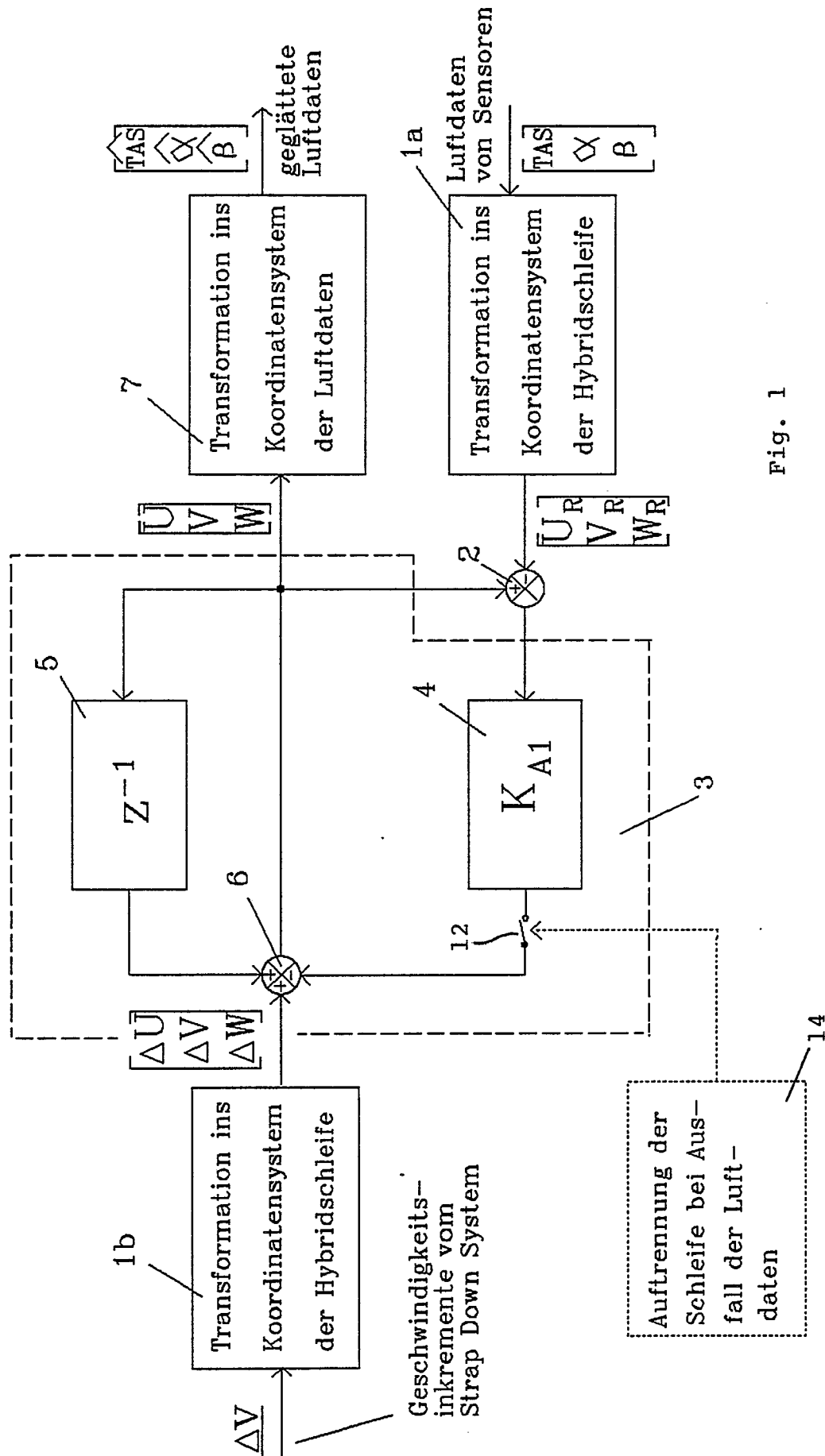


Fig. 1

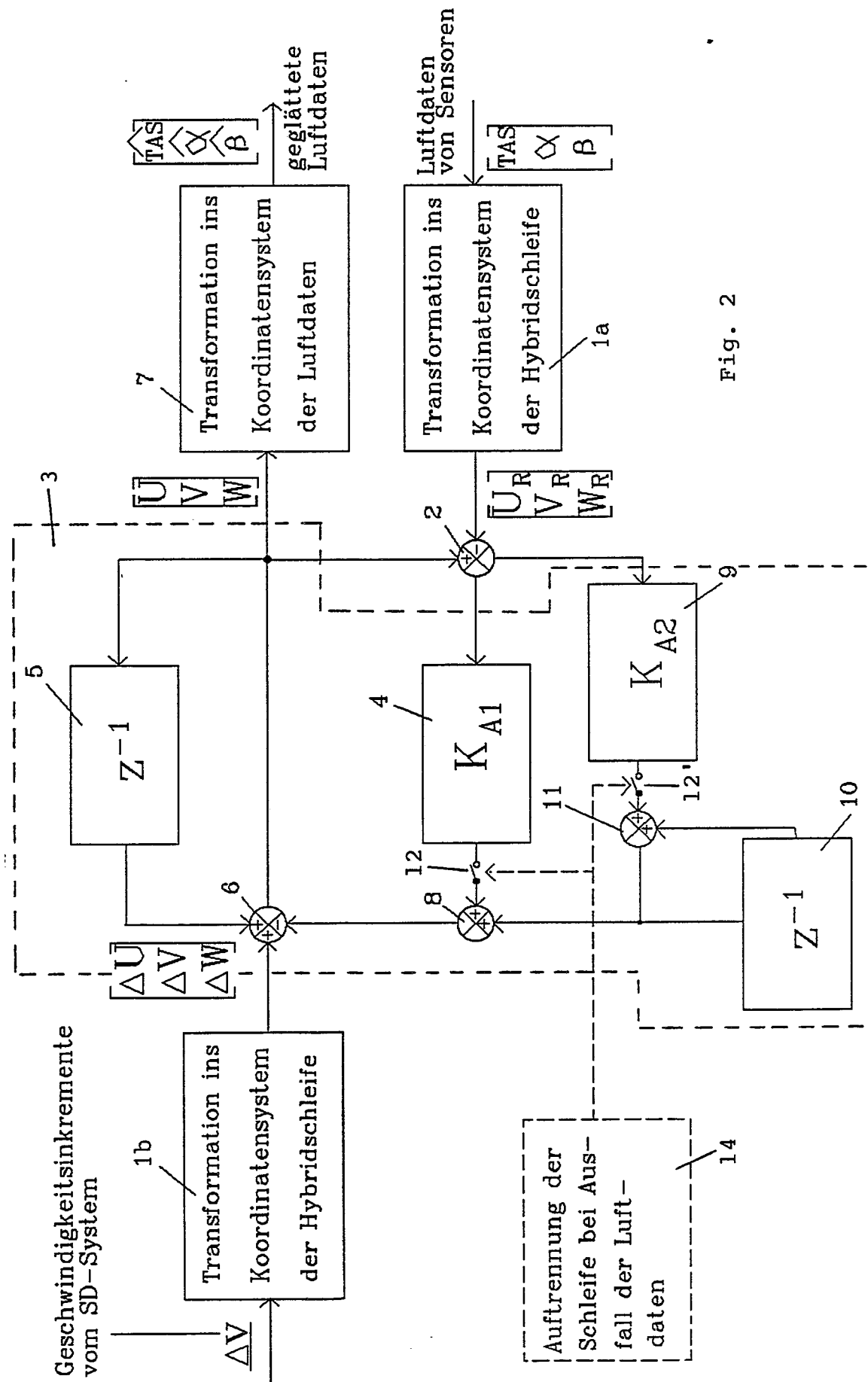


Fig. 2



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 88 10 0785

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
A	US-A-3 930 610 (HACHE) * Insgesamt * ---	1	G 06 G 7/72 G 06 G 7/78
A	US-A-3 296 422 (RUSLER Jr.) * Insgesamt * -----	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.4)
			G 06 G 7/72 G 06 G 7/78 G 06 G 7/70
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 20-09-1988	Prüfer LEDRUT P.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			