

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 273 874 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

08.01.2003 Patentblatt 2003/02

(51) Int Cl.7: **F42B 35/00**

(21) Anmeldenummer: **02014706.2**

(22) Anmeldetag: **03.07.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **06.07.2001 DE 10132317**

(71) Anmelder: **Oerlikon Contraves Gesellschaft mit
beschränkter Haftung**

78333 Stockach (DE)

(72) Erfinder: **Kreuzer, Wolfgang, Dr.-Ing.**

78333 Stockach (DE)

(74) Vertreter: **Weiss, Peter, Dr.**

**Zeppelinstrasse 4
78234 Engen (DE)**

(54) **Verfahren zur Bestimmung der kinematischen Kenngrößen eines Flugobjektes**

(57) Bei einem Verfahren zur Bestimmung der kinematischen Kenngrößen eines Flugobjektes, insbesondere eines ballistisch fliegenden, rollenden Flugobjektes, soll für einen bestimmten Bahnabschnitt vom Boden aus die Flugbahn, im Flugobjekt der Beschleunigungsvektors und in radialer Richtung zur Rollachse des Flugobjektes die Komponente des Erdmagnetfeldes ermittelt werden. Die Messungen werden mit Zeitstempel zur Auswertung registriert. Das Ergebnis der Meßdatenauswertung umfasst zumindest:

die Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, jeweils erdbezogen,
die Eulerwinkel,
die kinematischen Anstellwinkel,

die Beschleunigung und die Drehrate, jeweils objektbezogen.

Ferner wird die im Fluggebiet bekannte Richtung des Erdmagnetfeldes genutzt, welche, für das Verfahren typisch, auf die Rollebene des Flugobjektes projiziert für die Auswertung verwendet wird.

EP 1 273 874 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der kinematischen Kenngrößen eines Flugobjektes, insbesondere eines ballistisch fliegenden, rollenden Flugobjektes, sowie eine Vorrichtung hierfür.

[0002] Ballistische Schußtafeln und die dazugehörigen aerodynamischen Modelle werden bei der Entwicklung der Flugobjekte, wie Geschosse oder Raketen, zunächst theoretisch erarbeitet, im Strömungskanal aktualisiert und schließlich durch Vermessung der Flugbahn beim Nachweisschießen aktualisiert. Für nur Massepunkt-Modelle ist die vom Boden aus vermessene Flugbahn hierzu ausreichend. Dabei werden zur Flugbahnmessung Folgeradarsysteme oder elektro-optische Trackingssysteme eingesetzt.

Wird hingegen ein 6-DOF(Freiheitsgrade)-Modell zur Beschreibung benötigt, so sind neben den Flugbahndaten zusätzliche kinematische Kenngrößen, wie z.B. Anstellwinkel, Raumlage usw., erforderlich, welche nur mit dem Einsatz zusätzlicher Meßmittel direkt erfaßt bzw. indirekt ermittelt werden können.

[0003] Die Verwendung einer inertialen Lagereferenz, z.B. ein Kreiselssystem oder ein Strapped-Down-System, ist hierbei ein probates Mittel. Jedoch wegen der hohen mechanischen Belastung der Sensorik beim Start sind besondere Anforderungen an diese Systeme zu stellen, weshalb diese auch sehr teuer sind. Da die Sensorik mit jedem Schuß verloren geht, ist dies ein besonders gravierender Nachteil für die Verwendung dieser Systeme. Weitere Nachteile sind, daß den Referenzsystemen eine definierte Anfangslage zu geben ist bzw. diese Anfangslage zu erkennen und für die weitere Auswertung zu verwenden ist.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der o.g. Art zu entwickeln, bei welchem diese Nachteile vermieden werden.

[0005] Zur Lösung dieser Aufgabe führt, dass für einen bestimmten Bahnabschnitt vom Boden aus die Flugbahn, im Flugobjekt der Beschleunigungsvektors und in radialer Richtung zur Rollachse des Flugobjektes die Komponente des Erdmagnetfeldes ermittelt und die Messungen mit Zeitstempel zur Auswertung registriert werden, wobei das Ergebnis der Meßdatenauswertung zumindest umfaßt:

die Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, jeweils
erdbezogen,
die Eulerwinkel,
die kinematischen Anstellwinkel,
die Beschleunigung und die Drehrate, jeweils
objektbezogen und wobei
die im Fluggebiet bekannte Richtung des Erdmagnetfeldes, welche, für das Verfahren typisch, auf die Rollebene des Flugobjektes projiziert für die Auswertung verwendet wird.

[0006] Das Verfahren verwendet an Bord der Flugobjekte eine preisgünstige, im Hinblick auf die mechanische Belastung robuste Sensorausstattung. Diese setzt sich zusammen aus Beschleunigungsmessern zur Messung der inertialen Beschleunigung und Magnetfeldsensoren zur Messung der in radialer Richtung zur Rollachse wirksamen Komponente des Erdmagnetfeldes. Die Mindestausstattung für ein rollendes Flugobjekt besteht aus drei, vorzugsweise zueinander orthogonal messenden Beschleunigungssensoren und einem Magnetfeldsensor. Bei rollstabilisierten Flugobjekten wird zudem ein zweiter Magnetfeldsensor eingesetzt. Hinzukommen eine Funkübertragung und Spannungsversorgung. Diese elektronische Einrichtung wird beim Start des Flugobjektes aktiviert. Sie arbeitet während des Fluges autonom. Die Meßdaten werden über Funk zur Bodenstation übertragen, welche auch die vom Boden aus gemessenen Flugbahndaten sammelt. Alle Meßdaten werden mit Zeitstempel registriert.

[0007] Die am Boden verwendete Meß-, Empfangs-, Registrier- und Auswerteausstattungen sind konventionelle Einrichtungen.

[0008] Im Anschluß an den Meßvorgang werden die registrierten Daten off-line ausgewertet. Grundsätzlich läßt das Verfahren auch die on-line Auswertung zu, wobei dann eine geringere Genauigkeit der Ergebnisse zu erwarten ist.

[0009] Die vom Boden aus gemessenen Flugbahndaten werden geglättet sowie daraus die Geschwindigkeit und Bahnbeschleunigung berechnet. Ferner werden die Bahnwinkel bestimmt. Mit diesen Ergebnissen sowie den zusätzlichen, an Bord des Flugobjektes gemessenen Beschleunigungskomponenten und der Messung der auf die Rollebene bezogene Komponente des Erdmagnetfeldes werden die Lage des Flugobjektes im Raum, die Anstellwinkel sowie seine Drehraten berechnet. Die Berechnung stützt sich hauptsächlich auf durch die Eulermatrix beschriebene Transformation der Bahnbeschleunigung vom erdfesten in das objektbezogene Koordinatensystem sowie den aus der Magnetfeldmessung ermittelten Rollwinkel. Weitere mathematische Beziehungen zwischen den flugkinematischen Größen werden zur Verbesserung der Genauigkeit genutzt. Zur Auswertung eignen sich Methoden der stochastischen Filterung, wie Glättungsalgorithmen oder 'Extended Kalman'-Filter, oder auch Methoden der deterministischen Mathematik, wie Gradientenverfahren oder Optimierungstrategien.

[0010] Das Verfahren ist mit den verwendeten Meßgrößen und deren Entwicklung entlang der Flugbahn überbestimmt. Es können daher zusätzlich systematische Meßfehler der Beschleunigungsgeber und auch deren Einbaufehler identifiziert werden. Das gilt auch für den Magnetfeldsensor im rollenden Flugobjekt, eingeschränkt für die beiden Magnetfeldsensoren im rollstabilisierten Flugobjekt.

[0011] Die Identifizierbarkeit der systematischen Fehler der Sensorausstattung an Bord des Flugobjektes

läßt eine weniger genaue Einbaujustierung der Sensoren bei der Fertigung zu, was die Fertigungs- und Montageschritte vereinfacht.

[0012] Das Verfahren kann auf die gesamte Flugbahn des Flugobjektes oder auch nur für Teilabschnitte der Flugbahn angewandt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der kinematischen Kenngrößen eines Flugobjektes, insbesondere eines ballistisch fliegenden, rollenden Flugobjektes, **dadurch gekennzeichnet**, **daß** für einen bestimmten Bahnabschnitt vom Boden aus die Flugbahn, im Flugobjekt der Beschleunigungsvektors und in radialer Richtung zur Rollachse des Flugobjektes die Komponente des Erdmagnetfeldes ermittelt und die Messungen mit Zeitstempel zur Auswertung registriert werden, wobei das Ergebnis der Meßdatenauswertung zumindest umfaßt:

die Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, jeweils erdbezogen,
die Eulerwinkel,
die kinematischen Anstellwinkel,
die Beschleunigung und die Drehrate, jeweils objektbezogen und wobei
die im Fluggebiet bekannte Richtung des Erdmagnetfeldes, welche, für das Verfahren typisch, auf die Rollebene des Flugobjektes projiziert für die Auswertung verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **daß** für rollstabilisierte Flugobjekte durch Verwendung einer weiteren in radialer Richtung zur Rollachse, vorzugsweise orthogonal zur ersten Messung, gemessene Komponente des Erdmagnetfeldes verwendet wird, wobei auch deren Messung mit Zeitstempel registriert vorliegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet durch** eine gleichzeitiger Bestimmung von systematischem Fehler und Einbaufehler der Beschleunigungsgeber und gleichzeitiger Ermittlung des Einbaufehlers des Magnetfeldsensors **durch** Auswertung der registrierten Meßdaten.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 3, **gekennzeichnet durch** eine automatischer Erkennung des singulären Falles, daß die Rollachse des Flugobjektes parallel zum Erdmagnetfeld ausgerichtet ist und daher das Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2 keine eindeutige Lösung liefern kann.
5. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1

- 4, **gekennzeichnet durch** eine Verwendung einer zusätzlichen Helligkeitsmessung in radialer Richtung zur Rollachse, damit beim rollenden Flugobjekt auch im singulären Fall eine eindeutige Lösung existiert, wobei auch diese Messung mit Zeitstempel registriert zur Auswertung vorliegt.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine Meßausstattung an Bord des rollenden Flugobjektes, bestehend aus der Mindestausstattung von drei vorzugsweise orthogonal zueinander eingebauten und nur einem Magnetfeldsensor mit Meßachse in einer radialen Richtung zur Rollachse des Flugobjektes.
7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 2, **gekennzeichnet durch** eine Meßausstattung an Bord des rollstabilisierten Flugobjektes, bestehend aus der Mindestausstattung von nur drei vorzugsweise orthogonal zueinander eingebauten und nur zwei Magnetfeldsensoren, deren Meßachsen in radialer Richtung zur Rollachse, vorzugsweise orthogonal zueinander, liegen.
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **gekennzeichnet durch** eine Elektronikausstattung des Flugobjektes bestehend zusätzlich aus einer Telemetrie-sende-einrichtung und einer Spannungsversorgung.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** zusätzlich einen Prozessor und gegebenenfalls auch einen Funkempfänger.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **gekennzeichnet durch** zusätzlich einen GPS (Global-Positioning-System)-Empfänger.