



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2004 011 611 T2 2009.01.29**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 630 766 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G08G 5/04 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2004 011 611.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **04 020 614.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **31.08.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.03.2006**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **30.01.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.01.2009**

(73) Patentinhaber:

Saab AB, Linköping, SE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80802 München**

(72) Erfinder:

**Hammarlund, Henrik, 585 99 Linköping, SE;
Sundqvist, Bengt-Göran, 582 46 Linköping, SE**

(54) Bezeichnung: **System und Methode zur automatischen Kollisionsvermeidung für Flugzeuge**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG UND STAND DER TECHNIK

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermeiden von Kollisionen zwischen Flugzeugen nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Die Erfindung betrifft außerdem ein System zum automatischen Vermeiden von Kollisionen zwischen Flugzeugen nach dem Oberbegriff von Anspruch 14.

[0003] Der Zweck eines automatischen Luftkollisionsvermeidungssystems (ACAS) besteht darin, Kollisionen in der Luft zwischen Flugzeugen, die jeweils das System aufweisen, zu vermeiden. Ein Ausweichen ist ein automatisches Manöver, das zum Vermeiden von Kollision mit einem anderen Flugzeug durchgeführt wird. Sobald das Ausweichmanöver aktiviert ist, werden Manöver, die von dem Piloten angewiesen werden, nicht beachtet. Jedes Flugzeug mit dem System berechnet kontinuierlich einen Entkommwinkel und einen Lastfaktor, die von dem Flugzeug während eines Ausweichmanövers in dem Fall einer nahenden Kollision zu verwenden sind. Der Entkommwinkel ist ein relativer Rollwinkel. Gleichzeitig berechnet das Flugzeug optimierte Ausweichkurse in der Luft. Die Ausweichkurse werden mit Hilfe eines Flugzeugreaktionsmodells berechnet. Der Ausweichkurs ist eine Vorhersage des Raums, in dem sich das Flugzeug mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit befinden wird, wenn ein Ausweichmanöver stattfindet.

[0004] Der Ausweichkurs ist eine Trajektorie in der Luft, die von einem kegelförmigen Raum umgeben ist. Die Größe des kegelförmigen Raums, der die Trajektorie umgibt, hängt von Unsicherheiten bei der Vorhersage des Ausweichkurses ab. Die Unsicherheiten bei der Vorhersage sind zum Beispiel auf Ungenauigkeit des Flugzeugreaktionsmodells, Zeitsteuerungsgenauigkeit von Ausweichaktivierung auf Grund von Ungenauigkeit bei der Annahme des Zeitpunkts, zu dem das Ausweichmanöver beginnen wird, und auf Letztmoment-Manövrieren zurückzuführen. Der berechnete Ausweichkurs wird zu dem anderen Flugzeug gesendet. Wenn das andere Flugzeug einen Ausweichkurs empfängt, wird der Kurs verbucht. Somit sind die verbuchten Ausweichkurse allen benachbarten Flugzeugen mit dem System bekannt.

[0005] Das Flugzeug empfängt kontinuierlich Ausweichkurse von dem anderen Flugzeug. Das System erfasst eine nahende Kollision auf Basis des eigenen Ausweichkurses und der von dem anderen Flugzeug empfangenen Ausweichkurse und aktiviert bei Erfassen einer nahenden Kollision das automatische Ausweichmanöver. Während des Ausweichmanövers wird das Flugzeug angewiesen, den Entkommwinkel und den Lastfaktor zu nehmen, die zu der gleichen Zeit wie der letzte verbuchte Ausweichkurs berechnet wurden. Eine Kollision wird erfasst, wenn das System erfasst, dass der eigene verbuchte Ausweichkurs einen verbuchten Ausweichkurs eines anderen Flugzeugs kreuzt. Das Ausweichmanöver sollte in einem verbuchten Raum stattfinden, der dem anderen Flugzeug bekannt ist. Wenn keine Kollision erfasst wird, berechnet das System einen neuen Entkommwinkel und Lastfaktor, die während eines Ausweichmanövers zu verwenden sind, sowie einen neuen Ausweichkurs auf Basis der Ausweichkurse, die von den anderen Flugzeugen empfangen werden. Der neue Ausweichkurs wird zu dem anderen Flugzeug gesendet.

[0006] Ein Problem in Verbindung mit automatischen Luftkollisionsvermeidungssystemen besteht darin, dass in einigen Situationen die Unsicherheiten bei der Vorhersage groß sind. Um sicherzustellen, dass das Ausweichmanöver in dem verbuchten Raum des Ausweichkurses liegt, wird die Breite des verbuchten Kurses erhöht. Wenn die Breite des verbuchten Kurses erhöht wird, wird die Gefahr von Störung erhöht. Störung bedeutet ein Ereignis, das zu einer unbeabsichtigten oder unvorhergesagten Reaktion oder Aktivierung des Systems führt. Wenn die Gefahr unbeabsichtigter oder unvorhergesagter Aktivierungen des Ausweichmanövers zu hoch wird, wird das System zum automatischen Vermeiden von Kollisionen abgeschaltet und ab dann ist die Verfügbarkeit des Systems herabgesetzt.

[0007] Einer der Faktoren, die die Unsicherheiten beeinflussen, sind Letztmoment-Manöver des Flugzeugs während der Zeitverzögerung zwischen dem Berechnen eines Ausweichkurses und dem Empfangen und Verbuchen des Ausweichkurses durch das andere Flugzeug. Es dauert ab dem Berechnen des Ausweichkurses ungefähr 0,3 s, bis die anderen Flugzeuge den Kurs empfangen haben. Diesem Problem wird in bekannten automatischen Luftkollisionsvermeidungssystemen zum Teil dadurch Rechnung getragen, dass eine Vorhersage von Flugzeugbewegungen in den folgenden 0,3 s durchgeführt wird und diese Vorhersage beim Berechnen des Ausweichkurses berücksichtigt wird. Diese Vorhersage geht von der Annahme aus, dass die Pilotenmanöver während der nächsten 0,3 s die gleichen sind wie in dem Vorhersagemoment, d. h., dass die Position des Steuerknüppels fest ist. Dies ist jedoch nicht immer der Fall, denn der Pilot kann im Gegenteil frei entschei-

den, Manöver nach seinem Wunsch durchzuführen, bis eine nahende Kollision erfasst wird und das Ausweichmanöver begonnen wird. Im Besonderen gibt es ein Problem, wenn der Pilot während dieser Zeitverzögerung Manöver durchführt, die dem verbuchten Ausweichkurs entgegenwirken. In einem schlimmsten Fall könnte es dem Flugzeug auf Grund der Pilotenmanöver nicht mehr möglich sein, dem verbuchten Ausweichkurs zu folgen.

[0008] US-A-6133867 offenbart ein Verfahren und ein System zum Vermeiden von Kollisionen zwischen Flugzeugen, wobei die Flugzeuge ihre Positionsdaten alle paar Sekunden errechnen und senden. Das Verfahren und das System erkennen einen Befehl an das lokale Flugzeug, ein Umgehungsmanöver durchzuführen, das von einem entfernten Flugzeug oder von einer Bodenausstattung diktiert wird, und reagieren mit hörbaren oder sichtbaren Anweisungen oder Autopilotanweisungen an das Cockpit.

AUFGABEN UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0009] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, eine Lösung für das oben beschriebene Problem bereitzustellen, die die Gefahr verringert, dass das Flugzeug bei Erfassen einer nahenden Kollision einem verbuchten Ausweichkurs nicht folgen kann, und die Zahl der Störungen gering zu halten.

[0010] Nach einem Aspekt der Erfindung wird diese Aufgabe durch ein Verfahren erfüllt, dass die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1 umfasst.

[0011] Erfindungsgemäß wird eine nahende Kollision auf Basis eines eigenen Ausweichkurses, von Ausweichkursen, die von dem anderen Flugzeug empfangen werden, sowie von Manövern des eigenen Flugzeugs erfasst, die während eines Zeitraums zwischen dem Senden des berechneten eigenen Ausweichkurses zu dem anderen Flugzeug und dem Erfassen der nahenden Kollision angewiesen werden. Manöver, die während des Zeitraums zwischen dem Senden des berechneten eigenen Ausweichkurses zu dem anderen Flugzeug und dem Erfassen einer nahenden Kollision angewiesen werden, werden im Folgenden als Letztmoment-Manöver bezeichnet. Somit wird der Zeitpunkt, zu dem das Ausweichmanöver aktiviert wird, von Letztmoment-Manövern des eigenen Flugzeugs abhängig gemacht. Vorzugsweise wird die Aktivierung des automatischen Kollisionsvermeidungssystems vorverlegt, wenn die Aktivierung zeitnah ist und angewiesene Manöver des eigenen Flugzeugs dem eigenen Ausweichkurs entgegenwirken. Somit wird das Ausweichmanöver aktiviert, wenn das Flugzeug so manövriert wird, dass sich die Möglichkeit des Fliegens in einem verbuchten Raum rasch verschlechtert. Folglich wird die Möglichkeit verbessert, dass das Flugzeug innerhalb eines verbuchten Ausweichkurses fliegen kann, wenn eine Kollision erfasst wird.

[0012] Ein Vorteil bei dieser Lösung besteht darin, dass Unsicherheiten auf Grund unvorhersagbarer Bewegungen des Flugzeugs verringert werden können, und dadurch wird die Breite des verbuchten Kurses verringert und dadurch wird die Gefahr von Störungen verringert.

[0013] Nach einer Ausführung der Erfindung wird der Ausweichkurs auf Basis vorhergesagter Manöver des eigenen Flugzeugs berechnet und eine nahende Kollision wird auf Basis von Abweichungen zwischen den vorhergesagten Manövern des eigenen Flugzeugs und angewiesenen Manövern des eigenen Flugzeugs, die dem eigenen Ausweichkurs entgegenwirken, erfasst. Vorzugsweise wird eine nahende Kollision auf Basis von Abweichungen zwischen den vorhergesagten Rollwinkeln und Rollwinkeln, die in dem Zeitraum angewiesen werden, erfasst. Letztmoment-Manöver können große Fehler bei der Flugzeugposition im Vergleich zu vorhergesagten Positionen verursachen. Im Besonderen können Roll-Befehle große Fehler bei der Position verursachen, da der Rollwinkel des Ausweichens direkt beeinflusst wird. Der größte Einfluss auf die Möglichkeit, einem verbuchten Ausweichkurs zu folgen, tritt auf, wenn Roll-Befehle während des Letztmoment-Manövrierens des Flugzeugs in eine Richtung, die dem Roll-Befehl während des Ausweichmanövers entgegenwirkt, angewendet werden. Dies bedeutet nahezu sicher, dass der Flugkurs zu dem anderen Flugkurs hin bewegt wird. Daher ist es vorteilhaft, die Kollisionserfassung auf Abweichungen bei den Rollwinkeln zu stützen.

[0014] Nach einer anderen Ausführung der Erfindung wird eine nahende Kollision außerdem auf Basis von Abweichungen zwischen vorhergesagten Nickwinkeln und Nickwinkeln, die während des Zeitraums angewiesen werden, erfasst. Auch wenn die angewiesenen Rollwinkel auf die Möglichkeit, einem verbuchten Ausweichkurs zu folgen, einen größeren Einfluss haben als die angewiesenen Nickwinkel, sollte der Einfluss auf den Ausweichkurs durch die Nickwinkel nicht vernachlässigt werden. Diese Ausführung verbessert die Möglichkeit des Erfüllens des verbuchten Ausweichkurses weiter.

[0015] Die Erfindung könnte sowohl auf bemannte als auch auf unbemannte Flugzeuge angewendet werden.

Nach einer weiteren Ausführung der Erfindung wird eine nahende Kollision auf Basis von Manövern erfasst, die von einem Piloten angewiesen werden, und das Verfahren umfasst Empfangen von Steuerknüppelbewegungen und Erfassen einer nahenden Kollision auf Basis von Steuerknüppelbewegungen, die während des Zeitraums empfangen werden. Das Ziel der Erfindung besteht darin, dass, wenn eine Kollision erfasst wird, sichergestellt wird, dass das eigene Flugzeug den zu dem anderen Flugzeug gesendeten Ausweichkurs erfüllen kann. Wenn Steuerknüppelbewegungen während des Zeitraums zwischen dem Senden des eigenen Ausweichkurses zu dem anderen Flugzeug und dem Erfassen der nahenden Kollision die Möglichkeit des Erfüllens des verbuchten Ausweichkurses verschlechtern, wird das Ausweichmanöver sofort aktiviert. Diese Ausführung eignet sich für bemannte Flugzeuge mit Piloten, die Befehle über einen Steuerknüppel erteilen.

[0016] Nach einer Ausführung der Erfindung werden angewiesene Manöver, die den Ausweichkurs ermöglichen, nicht beachtet. Somit wird nicht zugelassen, dass Manöver, die von dem eigenen Flugzeug angewiesen werden, die Aktivierung des Kollisionsvermeidungssystems verzögern; sie können lediglich die Aktivierung des Systems vorverlegen. Ein Roll-Befehl in die gleiche Richtung wie der berechnete Entkommwinkel bewirkt, dass sich der während des Ausweichmanövers zu verwendende relative Rollwinkel verringert. Der Lastfaktor wird dann früher angewiesen, wobei dies bedeutet, dass ein kleinerer Lastfaktor benötigt wird, um dem Ausweichkurs zu folgen. Dadurch sollten angewiesene Manöver, die den Ausweichkurs ermöglichen, nicht dazu beitragen, die Aktivierung des Ausweichvorgangs vorzuverlegen.

[0017] Nach einer Ausführung der Erfindung umfasst das Erfassen einer nahenden Kollision Berechnen einer Umgehungsbedingung auf Basis des eigenen Ausweichkurses, der von dem anderen Flugzeug empfangenen Ausweichkurse und während des Zeitraums angewiesener Manöver des eigenen Flugzeugs und Aktivieren des automatischen Kollisionsvermeidungssystems, wenn die Umgehungsbedingung erfüllt ist. Die Umgehungsbedingung wird berechnet als die Summe eines ersten beitragenden Terms, der auf Basis der empfangenen Ausweichkurse und des eigenen Ausweichkurses berechnet wird, und eines zweiten beitragenden Terms, der auf Basis der Manöver des eigenen Flugzeugs berechnet wird, die während des Zeitraums angewiesen werden. Ob die Umgehungsbedingung erfüllt ist oder nicht, wird in Abhängigkeit davon festgestellt, ob die Umgehungsbedingung unter oder über einem Schwellenwert liegt. Der Wert des ersten beitragenden Terms hängt von der Gefahr von Kollision ab. Der Wert des zweiten beitragenden Terms hängt davon ab, ob das Flugzeug zum Ausführen unvorhersagbarer, unvorteilhafter Manöver, die dazu führen können, dass ein Ausweichmanöver nicht in dem verbuchten Raum, d. h. innerhalb des verbuchten Ausweichkurses, stattfinden können, angewiesen wurde oder nicht. Nach dieser Ausführung wird ein Term, der auf Basis von Letztmoment-Manövern des eigenen Flugzeugs berechnet wird, zu der Umgehungsbedingung addiert. Somit wird der Zeitpunkt, zu dem die Umgehungsbedingung erfüllt ist, d. h. der Zeitpunkt, zu dem eine nahende Kollision erfasst wird, von den Letztmoment-Manövern des eigenen Flugzeugs abhängig gemacht.

[0018] Nach einer Ausführung der Erfindung wird der Wert des zweiten Terms, der auf Basis von Letztmoment-Manövern des eigenen Flugzeugs berechnet wird, von der Gefahr von Kollision abhängig gemacht. Der Wert des zweiten beitragenden Terms wird verringert, wenn keine Gefahr von Kollision besteht. Dadurch wird der maximale Beitrag dieses Terms begrenzt und die Gefahr von Störungen wird verringert.

[0019] Nach einer Ausführung der Erfindung umfasst dies Addieren aller Roll-Befehle, die während des Zeitraums erteilt werden und dem eigenen Ausweichkurs entgegenwirken, und Addieren aller Nick-Befehle, die während des Zeitraums erteilt werden und dem eigenen Ausweichkurs entgegenwirken, und darauf basierend Errechnen des zweiten beitragenden Terms. Diese Ausführung verbessert die Möglichkeit des Erfüllens des verbuchten Ausweichkurses weiter.

[0020] Nach einem anderen Aspekt der Erfindung wird diese Aufgabe durch ein System erfüllt, das die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 14 umfasst.

[0021] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe durch ein Computerprogramm erfüllt, das direkt in den internen Speicher eines Computers oder eines Prozessors geladen werden kann und Softwarecodeteile umfasst, um die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens durchzuführen, wenn das Programm auf einem Computer ausgeführt wird. Das Computerprogramm wird entweder auf einem computerlesbaren Medium oder über ein Netzwerk, wie das Internet, bereitgestellt.

[0022] Nach einem anderen Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe durch ein computerlesbares Medium erfüllt, auf dem ein Programm aufgezeichnet ist, wobei das Programm dazu dient, einen Computer zu veranlassen, die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens durchzuführen, und das Programm auf dem Computer ausgeführt wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0023] Die Erfindung wird nun mit der Beschreibung unterschiedlicher Ausführungen der Erfindung und mit Bezugnahme auf die angehängten Figuren näher erklärt.

[0024] [Fig. 1](#) zeigt Ausweichkurse für zwei Flugzeuge.

[0025] [Fig. 2](#) zeigt ein Blockdiagramm über ein erfindungsgemäßes System zum automatischen Vermeiden von Kollisionen.

[0026] [Fig. 3](#) zeigt ein Flussdiagramm über ein Verfahren zum automatischen Vermeiden von Kollisionen nach einer Ausführung der Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGEN DER ERFINDUNG

[0027] [Fig. 1](#) zeigt zwei Flugzeuge **1** und **2**, die jeweils ein automatisches Kollisionsvermeidungssystem umfassen. Jedes Flugzeug berechnet einen Ausweichkurs **3**, **4**. Der Ausweichkurs ist eine Trajektorie **5**, **6** in der Luft, die von einem kegelförmigen Raum **7**, **8** umgeben sind. Die Breite w des kegelförmigen Raums **7**, **8**, der die Trajektorie **5**, **6** umgibt, hängt von Unsicherheiten bei der Berechnung des Ausweichkurses ab. Die Unsicherheiten und folglich die Breite des Ausweichkurses nehmen im Lauf der Zeit zu. Der Ausweichkurs umfasst zwei Teile. Ein erster Teil des Ausweichkurses umfasst eine Vorhersage von Flugzeugbewegungen unter der Annahme, dass die Pilotenmanöver während der nächsten 0,3 s die gleichen sind wie in dem Vorhersagemoment, d. h., dass die Position des Steuerknüppels fest ist. Diese Vorhersage berücksichtigt die Zeit zwischen dem Zeitpunkt, zu dem der Ausweichkurs errechnet wird, und dem Zeitpunkt, zu dem das andere Flugzeug den Ausweichkurs empfängt. Der zweite Teil des Ausweichkurses sagt das Ausweichmanöver vorher und basiert auf einem berechneten Entkommwinkel.

[0028] Wenn ein Flugzeug einen Ausweichkurs berechnet hat, werden Informationen über den Kurs zu dem anderen Flugzeug gesendet. Das andere Flugzeug verbucht den Raum des Ausweichkurses, wenn es ihn empfängt. Die Trajektorie **5**, **6** kann als eine Funktion von Zeit beschrieben werden und die Informationen über den Ausweichkurs, die zu dem anderen Flugzeug gesendet werden, umfassen drei Punkte in der Luft, zwei Geschwindigkeitsvektoren in der Flugfunktion und einen Wert, der die Unsicherheiten der Berechnung darstellt. Die Steuersysteme des anderen Flugzeugs modellieren dann eine Spline-Funktion unter Verwendung der empfangenen Informationen.

[0029] Nach dieser Ausführung bedeutet das Erfassen einer nahenden Kollision, dass ein berechnetes und verbuchtes Ausweichmanöver nicht ausgeführt werden kann. Eine nahende Kollision wird erfasst, wenn erfasst wird, dass der eigene berechnete Ausweichkurs einen Ausweichkurs des anderen Flugzeugs streift. Der Abstand zwischen den Ausweichkursen hängt von der Zeit ab und wird in der folgenden Gleichung mathematisch beschrieben:

$$SSD(t) = |H(t) - I(t)| - DSD(t) \quad (1)$$

[0030] $H(t)$ ist der vorhergesagte Ausweichkurs **3** des eigenen Flugzeugs und $I(t)$ ist der vorhergesagte Ausweichkurs **4** eines eindringenden Flugzeugs. DSD ist die gewünschte Entfernung (Desired Separation Distance) zwischen den Ausweichkursen und ist die Summe des verbuchten Raums zwischen Ausweichkursen. DSD wird aus den Unsicherheiten berechnet und sie stellt die Größe des verbuchten Raums dar. Die Unsicherheiten umfassen Berechnungsunsicherheiten wie Unsicherheiten bei dem Flugzeugreaktionsmodell.

[0031] Eine sichere Mindestentfernung (Minimum Safe Separation Distance), hierin im Folgenden $MSSD$ genannt, wird als die Mindestentfernung zwischen den Ausweichkursen definiert und tritt zu dem Zeitpunkt t_{min} nach Aktivierung des Ausweichmanövers ein.

[0032] Eine Kollision wird in Abhängigkeit davon erfasst, ob eine Umgehungsbedingung, als EC bezeichnet, unter oder über einem Schwellenwert liegt oder nicht. EC wird unter Verwendung der $MSSD$ und ihrer Änderungsrate gemäß der folgenden Gleichung berechnet:

$$EC = MSSD + \frac{d}{dt}(MSSD) \cdot t_{prediction} + PIC \quad (2)$$

[0033] $t_{prediction}$ ist der Zeitraum zwischen zwei Iterationen in der Berechnungsschleife.

[0034] Ein Term, der Piloteneingabebeitrag (Pilot Input Contribution) genannt und hierin im Folgenden als PIC bezeichnet wird und von Flugzeugmanövern abhängt, wird zu der Berechnung der EC addiert, um Piloteneingabe, die dem Ausweichmanöver entgegenwirkt, zu ahnden. EC umfasst einen ersten beitragenden Term, der die MSSD und ihre Zeitableitung multipliziert mit $t_{\text{prediction}}$ enthält, und einen zweiten beitragenden Term, der auf Basis der Manöver des eigenen Flugzeugs berechnet wird, die während eines Zeitraums zwischen dem Senden des berechneten eigenen Ausweichkurses zu dem anderen Flugzeug und dem Erfassen der nahenden Kollision angewiesen werden. Eine nahende Kollision wird erfasst, wenn EC unter einem Schwellenwert liegt, der als TV bezeichnet wird.

[0035] Es ist wichtig, dass PIC konservativ ist, wobei dies bedeutet, dass angewiesene Manöver, die den Ausweichkurs ermöglichen, keine kleinere MSSD zulassen dürfen, d. h., dass nicht zugelassen wird, dass Manöver, die den Ausweichkurs ermöglichen, den Wert von EC beeinflussen und folglich den Zeitpunkt beeinflussen, zu dem das Ausweichmanöver aktiviert wird. Somit besteht eine Bedingung darin, dass PIC unter Null liegen oder Null entsprechen muss:

$$\text{PIC} \leq 0 \quad (3)$$

[0036] Um die Wirkung von Störung während des Ausweichkurses zu vermeiden [oder] zu verringern, sollte die obere Grenze von PIC niedriger als Null sein. Die untere Grenze von PIC ist eine Funktion F_1 von t_{min} und möglicherweise außerdem von anderen Variablen. Die Funktion F_1 liegt nahe Null oder entspricht Null, wenn keine Gefahr einer Kollision besteht, und sie hat einen großen negativen Wert in Situationen mit hoher Gefahr einer Kollision. Der Sinn von F_1 besteht darin, das maximale Ausmaß der Variablen PI zu begrenzen. Wenn PI so definiert ist, dass es einen maximalen Wert Null aufweist, kann PIC ausgedrückt werden als:

$$\text{PIC} = \max[F_1(t_{\text{min}}), \text{PI}] \quad (4)$$

[0037] PI ist die Gesamtsumme aller Piloteneingaben während der Laufzeit des Letztmoment-Pilotenmanörierens, die die Möglichkeit des Erfüllens des verbuchten Ausweichkurses verschlechtert. Der größte Teil von PI hängt von den Roll-Befehlen des Piloten ab und ein kleinerer Teil hängt von Nick-Befehlen ab. PI kann in zwei Teile geteilt werden, nämlich einen, der alle nachteiligen Roll-Befehle, d. h. Roll-Befehle, die dem Roll-Befehl des Ausweichmanövers entgegenwirken, verarbeitet, und einen, der alle nachteiligen Nick-Befehle verarbeitet. Wenn Roll-Befehle, die mit PIR bezeichnet werden, sowie Nick-Befehle, die mit PIP bezeichnet werden, enthalten sind, kann PI ausgedrückt werden als:

$$\text{PI} = \text{PIR} + \text{PIP} \quad (5)$$

[0038] Um die vorgenannte Bedingung 3, d. h., dass PIC unter Null liegen soll, zu erfüllen, müssen sowohl PIR als auch PIP einen maximalen Wert Null aufweisen. PIP kann auf Null gesetzt werden, wenn in Betracht gezogen wird, dass Nick-Befehle des Piloten vernachlässigt werden können.

[0039] Beim Rollen besteht der Sinn darin, alle Roll-Befehle zu sammeln, die im Vergleich zu dem Roll-Befehl, der bei der Berechnung des Ausweichkurses verwendet wurde, in die falsche Richtung gehen. PIR kann zum Beispiel ausgedrückt werden als:

$$\text{PIR} = K_1 \sum_i \min[(P_{\text{ESS}} - P_{\text{ARM}}) \cdot \text{Vorzeichen}(EA), 0] \quad (6)$$

P_{ESS} = Rollwinkel, die von dem Piloten angewiesen werden.

P_{ARM} = Rollwinkel, die bei der Berechnung des Ausweichkurses verwendet werden.

EA = Entkommwinkel

K_1 = ein Skalierfaktor

[0040] Hier wird die Differenz zwischen dem aktuellen Roll-Befehl und dem Roll-Befehl, der bei der Berechnung des Ausweichkurses verwendet wird, mit der Richtung des Entkommwinkels multipliziert und im Zeitverlauf addiert. Der Entkommwinkel ist ein relativer Rollwinkel. Wenn die Differenz positiv ist, d. h., der Roll-Befehl des Piloten ist größer als der bei der Vorhersage verwendete Roll-Befehl, und wenn der Roll-Befehl in der Richtung des Entkommwinkels liegt, wird Null addiert. Die Summe wird mit einem positiven Skalierfaktor K_1 multipliziert, um den Betrag von PIR in PI zu gewichten.

[0041] Beim Nicken besteht der Sinn darin, Nick-Befehle des Piloten, die größer sind als die bei der Vorhersage verwendeten, in Fällen, bei denen der Entkommwinkel groß ist, zu sammeln. PIP kann zum Beispiel aus-

gedrückt werden als:

$$PIP = -K_2 \cdot (1 - \cos(EA)) \cdot \sum_i \max[|NZ_{ESS} - \cos \theta| - |NZ_{ARM} - \cos \theta|, 0] \quad (7)$$

NZ_{ESS} = die angewiesenen Nickwinkel.

NZ_{ARM} = der bei der Berechnung des Ausweichkurses verwendete Lastfaktor.

K_2 = ein Skalierfaktor

[0042] Hier werden sowohl der aktuelle Nick-Befehl als auch der für die Vorhersage verwendete Nick-Befehl mit dem optimalen Lastfaktor zum Rollen ($1 \times \cos \theta$) verglichen. Die Größe des Vergleichs wird verglichen und die Differenz der Größe des Pilotenteils und des vorhergesagten Teils wird geschätzt. Die Maximumfunktion wird verwendet, um lediglich die Fälle zu finden, bei denen der Pilotenteil größer ist als der vorhergesagte Teil. Mit anderen Worten ahndet der zweite Teil des Ausdrucks Nick-Befehle des Piloten, deren Ausmaß, verglichen mit dem optimalen Lastfaktor zum Rollen, größer ist als bei denen, die bei der Vorhersage verwendet wurden.

[0043] Der erste Teil des Ausdrucks dient zum Skalieren des Ergebnisses des zweiten Teils. K_2 ist ein positiver Skalierfaktor. $1 - \cos(EA)$ liegt nahe Null, wenn der Entkommwinkel klein ist, und erhöht sich mit steigenden Entkommwinkeln.

[0044] Die Größe von K_1 , K_2 und der unteren Grenze von PI ist ein Gleichgewicht zwischen der Gefahr von Störung und der Positionsbreite w des Ausweichkurses während des Ausweichmanövers. Bei einem Szenario des ungünstigsten Falles sollte die Zeit vor der Frühaktivierung wahrscheinlich nahe 0,1 Sekunden liegen.

[0045] **Fig. 2** zeigt ein System zum automatischen Vermeiden von Kollisionen nach einer Ausführung der Erfindung. Das System umfasst eine Berechnungseinheit **10**, die so eingerichtet ist, dass sie einen Entkommwinkel und einen Lastfaktor, die während eines Ausweichmanövers zu verwenden sind, und einen zu dem anderen Flugzeug zu sendenden Ausweichkurs berechnet. Der Entkommwinkel, der Lastfaktor und die Ausweichkurse werden auf Basis eines Flugzeugreaktionsmodells und von Ausweichkursen, die von dem anderen Flugzeug empfangen werden, berechnet. Die ersten 0,3 Sekunden des Ausweichkurses sind eine Vorhersage auf Basis einer Annahme, dass das Flugzeug weiterhin gemäß dem zuletzt angewiesenen Manöver manövriert werden wird. Der zweite Teil des Ausweichkurses wird auf Basis des Entkommwinkels und des Lastfaktors berechnet, die berechnet wurden.

[0046] Das System umfasst des Weiteren einen Sender **12**, der den berechneten Ausweichkurs zu dem anderen Flugzeug sendet, und einen Empfänger **14**, der Ausweichkurse von den anderen Flugzeugen empfängt. Das System umfasst einen Datenspeicher **16**, der so eingerichtet ist, dass er den Entkommwinkel, den Lastfaktor und den Ausweichkurs speichert, die berechnet wurden. Das System ist vorzugsweise in dem Steuersystem eines Flugzeuges implementiert und verwendet den Computer des Flugzeuges.

[0047] Das System umfasst eine Kollisionsverarbeitungseinrichtung **18**, die so eingerichtet ist, dass sie eine nahende Kollision auf Basis des eigenen Ausweichkurses und von Ausweichkursen, die von dem anderen Flugzeug empfangen wurden, erfasst und bei Erfassen einer nahenden Kollision ein Ausweichmanöver aktiviert. Eine Kollisionsverarbeitungseinrichtung **18** ist so eingerichtet, dass sie angewiesene Manöver von dem eigenen Flugzeug empfängt und eine nahende Kollision auf Basis von Manövern des eigenen Flugzeuges erfasst, die während eines Zeitraums zwischen dem Senden des berechneten eigenen Ausweichkurses zu dem anderen Flugzeug und dem Erfassen der nahenden Kollision angewiesen werden.

[0048] **Fig. 3** zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens und eines Computerprogrammerzeugnisses nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung. Es versteht sich, dass jeder Block des Flussdiagramms durch Computerprogrammbeefehle implementiert werden kann. Das System empfängt Ausweichkurse von dem anderen Flugzeug, Block **20**. Die empfangenen Ausweichkurse werden gespeichert, bis neue Ausweichkurse empfangen werden. Ein neu empfangener Ausweichkurs ersetzt den zuvor empfangenen und gespeicherten Ausweichkurs. Wie in Block **22** gezeigt wird, werden ein Entkommwinkel, ein Lastfaktor und ein Ausweichkurs, bezeichnet als FAP, auf Basis der von den anderen Flugzeugen empfangenen Ausweichkurse für das eigene Flugzeug berechnet. Das Berechnen umfasst das Vorhersagen von Bewegungen des Flugzeuges während der folgenden 0,3 Sekunden. Der Entkommwinkel, der Lastfaktor und der Ausweichkurs, die berechnet wurden, werden gespeichert. Der berechnete Ausweichkurs wird zu dem anderen Flugzeug zum Verbuchen gesendet, Block **23**. Ab diesem Moment werden Steuerknüppelbewegungen aufgezeichnet, Block **24**, und darauf basierend wird eine Umgehungsbedingung, bezeichnet als EC, gemäß Gleichung 2 errechnet.

[0049] Vor dem Errechnen der Umgehungsbedingung werden PIR und PIP gemäß den Gleichungen 6 und 7 auf Basis der aufgezeichneten Steuerknüppelbewegungen und der in Block **20** vorhergesagten Roll- und Nickwinkel errechnet. Danach wird PI gemäß Gleichung 5 berechnet und PIC wird gemäß Gleichung 4 berechnet. MSSD und seine Ableitung werden auf Basis des eigenen Ausweichkurses und der von dem anderen Flugzeug empfangenen Ausweichkurse festgestellt. EC wird gemäß Gleichung 2 berechnet, Block **26**. In Block **28** wird auf Basis des berechneten Werts von EC festgestellt, ob eine nahende Kollision besteht oder nicht. Wenn EC unter dem Schwellenwert TV liegt, wird eine nahende Kollision erfasst und das Ausweichmanöver wird aktiviert, Block **32**, andernfalls wird keine Kollision erfasst und das Verfahren wird wiederholt, indem ein neuer Entkommwinkel, ein neuer Lastfaktor und ein neuer Ausweichkurs errechnet werden, Block **20**. Wenn neue Ausweichkurse von dem anderen Flugzeug empfangen werden, werden sie gespeichert und die nächste Berechnung des eigenen Ausweichkurses basiert darauf, Block **29, 30**. Dann wird die Berechnungsschleife, die Block **22 bis 28** umfasst, mit einer vorgegebenen Häufigkeit wiederholt.

[0050] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die offengelegten Ausführungen beschränkt, sondern kann innerhalb des Umfangs der folgenden Ansprüche verändert und modifiziert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Vermeiden von Kollisionen zwischen einem eigenen Flugzeug (**1; 2**) und einen oder mehreren anderen Flugzeugen (**1; 2**), wobei jedes Flugzeug (**1; 2**) ein automatisches Kollisionsvermeidungssystem umfasst und das Verfahren umfasst:

- Berechnen (**22**) eines Ausweichkurses (**5; 6**) für das eigene Flugzeug, wobei der Ausweichkurs (**5; 6**) eine Vorhersage des Raums ist, in dem sich das Flugzeug mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit befinden wird, wenn ein Ausweichmanöver stattfindet, und wobei der Ausweichkurs (**5; 6**) mit einer vorgegebenen Häufigkeit und auf Basis eines von dem anderen Flugzeug empfangenen Ausweichkurses berechnet wird,
- Senden (**23**) des berechneten eigenen Ausweichkurses zu dem anderen Flugzeug,
- Empfangen (**20; 29**) von Ausweichkursen von dem anderen Flugzeug,
- Erfassen (**28**) einer nahenden Kollision auf Basis des eigenen Ausweichkurses und der von dem anderen Flugzeug empfangenen Ausweichkurse, und
- Aktivieren (**32**) eines Ausweichmanövers beim Erfassen einer nahenden Kollision,
- **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erfassung einer nahenden Kollision auf Manövern des eigenen Flugzeugs basiert, die während eines Zeitraums zwischen dem Senden des berechneten eigenen Ausweichkurses zu dem anderen Flugzeug und dem Erfassen der nahenden Kollision angewiesen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es Vorverlegen der Aktivierung des Ausweichmanövers auf Basis angewiesener Manöver des eigenen Flugzeugs umfasst, die dem eigenen Ausweichkurs (**5; 6**) entgegenwirken.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass es Berechnen des Ausweichkurses auf Basis vorhergesagter Manöver des eigenen Flugzeugs und Erfassen einer nahenden Kollision auf Basis von Abweichungen zwischen den vorhergesagten Manövern des eigenen Flugzeugs und angewiesenen Manövern des eigenen Flugzeugs umfasst, die dem eigenen Ausweichkurs (**5; 6**) entgegenwirken.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–3, dadurch gekennzeichnet, dass eine nahende Kollision auf Basis von Roll-Befehlen erfasst wird, die während des Zeitraums erteilt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine nahende Kollision auf Basis von Nick-Befehlen erfasst wird, die während des Zeitraums erteilt werden.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine nahende Kollision auf Basis von Manövern erfasst wird, die von einem Piloten angewiesen werden, und das Verfahren Empfangen (**24**) von Steuerknüppelbewegungen und Erfassen (**28**) einer nahenden Kollision auf Basis von Steuerknüppelbewegungen umfasst, die während des Zeitraums empfangen werden.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass angewiesene Manöver, die den Ausweichkurs ermöglichen, nicht beachtet werden.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Erfassung einer nahenden Kollision umfasst:

- Berechnen (**26**) einer Umgehungsbedingung (Evasion Condition – EC) auf Basis des eigenen Ausweichkur-

ses, der von dem anderen Flugzeug empfangenen Ausweichkurse (**5; 6**) und während des Zeitraums angewiesener Manöver des eigenen Flugzeugs, und

– Aktivieren (**32**) des Ausweichmanövers, wenn die Umgehungsbedingung (EC) erfüllt ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, das Berechnen (**26**) der Umgehungsbedingung (EC) umfasst:

– Berechnen eines ersten beitragenden Terms auf Basis der empfangenen Ausweichkurse und des eigenen Ausweichkurses, und

– Berechnen eines zweiten beitragenden Terms auf Basis der während des Zeitraums angewiesenen Manöver des eigenen Flugzeugs,

– Addieren des ersten und des zweiten beitragenden Terms, und

wobei das Verfahren des Weiteren umfasst, dass in Abhängigkeit davon, ob die Umgehungsbedingung über oder unter einem Schwellenwert liegt, festgestellt wird, ob die Umgehungsbedingung (EC) erfüllt ist oder nicht.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert des zweiten beitragenden Terms von der Gefahr von Kollision abhängig gemacht wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9–10, dadurch gekennzeichnet, dass es Addieren aller Roll-Befehle, die während des Zeitraums erteilt werden und dem eigenen Ausweichkurs (**5; 6**) entgegenwirken, und Addieren aller Nick-Befehle, die während des Zeitraums erteilt werden und dem eigenen Ausweichkurs (**5; 6**) entgegenwirken und darauf basierend Errechnen des zweiten beitragenden Terms umfasst.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9–11, dadurch gekennzeichnet, dass Berechnen des ersten beitragenden Terms umfasst:

– Berechnen einer Mindestentfernung (Minimum Separation Distance – MSSD) zwischen den empfangenen Ausweichkursen und dem eigenen Ausweichkurs, und

– Berechnen der Änderungsrate der Mindestentfernung (MSSD).

13. Computerprogramm, das direkt in den internen Speicher eines Computers geladen werden kann und Software zum Durchführen der Schritte nach einem der Ansprüche 1–12 umfasst.

14. Computerlesbares Medium, auf dem ein Programm aufgezeichnet ist, wobei das Programm dazu dient, einen Computer zu veranlassen, die Schritte nach einem der Ansprüche 1–12 durchzuführen, wenn das Programm auf dem Computer ausgeführt wird.

15. System zum automatischen Vermeiden von Kollisionen zwischen einem eigenen Flugzeug und einem oder mehreren anderen Flugzeugen (**1; 2**), wobei das System umfasst:

– eine Berechnungseinheit (**10**), die so eingerichtet ist, dass sie einen Ausweichkurs (**5; 6**) für das eigene Flugzeug (**1; 2**) berechnet, wobei der Ausweichkurs (**5; 6**) eine Vorhersage des Raums ist, in dem sich das Flugzeug mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit befinden wird, wenn ein Ausweichmanöver stattfindet, und wobei die Berechnungseinheit (**10**) so eingerichtet ist, dass sie den Ausweichkurs (**5; 6**) mit einer vorgegebenen Häufigkeit und auf Basis eines von dem anderen Flugzeug empfangenen Ausweichkurses berechnet,

– einen Sender (**12**), der so eingerichtet ist, dass er den berechneten eigenen Ausweichkurs zu dem anderen Flugzeug sendet,

– einen Empfänger (**14**), der so eingerichtet ist, dass er Ausweichkurse von dem anderen Flugzeug empfängt,

– eine Kollisionsverarbeitungseinrichtung (**18**), die so eingerichtet ist, dass sie eine nahende Kollision auf Basis des eigenen Ausweichkurses und der von dem anderen Flugzeug empfangenen Ausweichkurse erfasst und beim Erfassen einer nahenden Kollision ein Ausweichmanöver aktiviert,

dadurch gekennzeichnet, dass die Kollisionsverarbeitungseinrichtung so eingerichtet ist, dass sie Informationen über angewiesene Manöver des eigenen Flugzeugs empfängt und eine nahende Kollision auf Basis von Manövern des eigenen Flugzeugs erfasst, die während eines Zeitraums zwischen dem Senden des berechneten eigenen Ausweichkurses zu dem anderen Flugzeug und dem Erfassen der nahenden Kollision angewiesen werden.

16. System nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollisionsverarbeitungseinrichtung (**18**) so eingerichtet ist, dass sie die Aktivierung des Ausweichmanövers auf Basis angewiesener Befehle des eigenen Flugzeugs während des Zeitraums, die dem eigenen Ausweichkurs entgegenwirken, vorverlegt.

17. System nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnungseinheit (**10**) so eingerichtet ist, dass sie den Ausweichkurs auf Basis vorhergesagter Manöver des eigenen Flugzeugs berechnet,

und dass die Kollisionsverarbeitungseinrichtung (**18**) so eingerichtet ist, dass sie eine nahende Kollision auf Basis von Abweichungen zwischen den vorhergesagten Manövern des eigenen Flugzeugs und angewiesenen Manövern des eigenen Flugzeugs erfasst, die dem eigenen Ausweichkurs entgegenwirken.

18. System nach einem der Ansprüche 15–17, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollisionsverarbeitungseinrichtung so eingerichtet ist, dass sie eine nahende Kollision auf Basis von Roll-Befehlen erfasst, die während des Zeitraums erteilt werden.

19. System nach einem der Ansprüche 15–18, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollisionsverarbeitungseinrichtung (**18**) so eingerichtet ist, dass sie eine nahende Kollision auf Basis von Nick-Befehlen erfasst, die während des Zeitraums erteilt werden.

20. System nach einem der Ansprüche 15–18, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollisionsverarbeitungseinrichtung (**18**) so eingerichtet ist, dass sie Steuerknüppelbewegungen aufzeichnet und eine nahende Kollision auf Basis während des Zeitraums aufgezeichneter Steuerknüppelbewegungen erfasst.

21. System nach einem der Ansprüche 15–20, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollisionsverarbeitungseinrichtung (**18**) so eingerichtet ist, dass sie die Aktivierung der automatischen Kollisionsvermeidung vorverlegt, wenn das angewiesene Manöver dem Ausweichkurs entgegenwirkt, und das angewiesene Manöver nicht beachtet, wenn es den eigenen Ausweichkurs ermöglicht.

22. System nach einem der Ansprüche 15–21, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollisionsverarbeitungseinrichtung (**18**) so eingerichtet ist, dass sie eine Umgehungsbedingung auf Basis des eigenen Ausweichkurses, der von dem anderen Flugzeug empfangenen Ausweichkurse und während des Zeitraums angewiesener Manöver des eigenen Flugzeugs berechnet und das Ausweichmanöver aktiviert, wenn die Umgehungsbedingung erfüllt ist.

23. System nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollisionsverarbeitungseinrichtung (**18**) so eingerichtet ist, dass sie einen ersten Beitrag zu der Umgehungsbedingung auf Basis der empfangenen Ausweichkurse und des eigenen Ausweichkurses berechnet, einen zweiten Beitrag zu der Umgehungsbedingung auf Basis während des Zeitraums angewiesener Manöver des eigenen Flugzeugs berechnet und in Abhängigkeit davon, ob die Umgehungsbedingung unterhalb oder oberhalb eines Schwellenwertes liegt, feststellt, ob die Umgehungsbedingung erfüllt ist oder nicht.

24. System nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert des zweiten Beitrags zu der Kollisionsverarbeitungseinrichtung (**18**) von der Gefahr von Kollision abhängt.

25. System nach einem der Ansprüche 23–24, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollisionsverarbeitungseinrichtung (**18**) so eingerichtet ist, dass sie alle Roll-Befehle addiert, die während des Zeitraums erteilt werden, und dem eigenen Ausweichkurs entgegenwirken, und alle Nick-Befehle addiert, die während des Zeitraums erteilt werden, und dem eigenen Ausweichkurs entgegenwirken, und darauf basierend den zweiten beitragenden Term errechnet.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

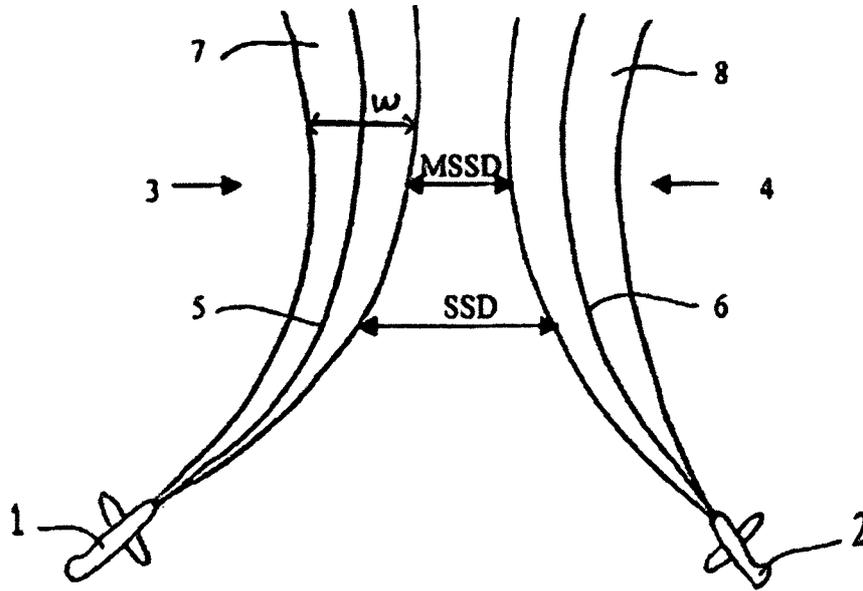


FIG. 1

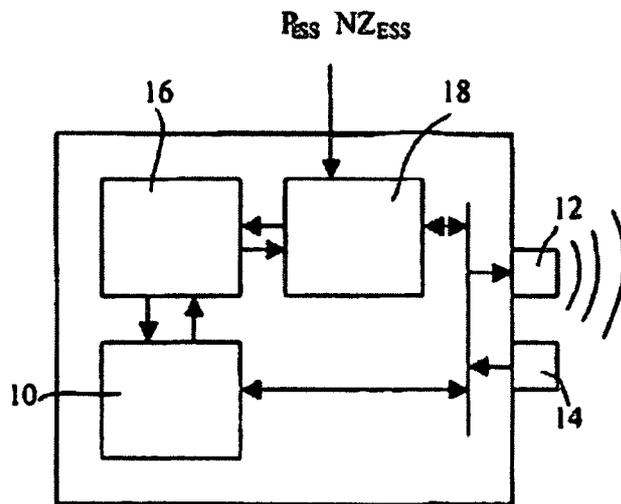


FIG. 2

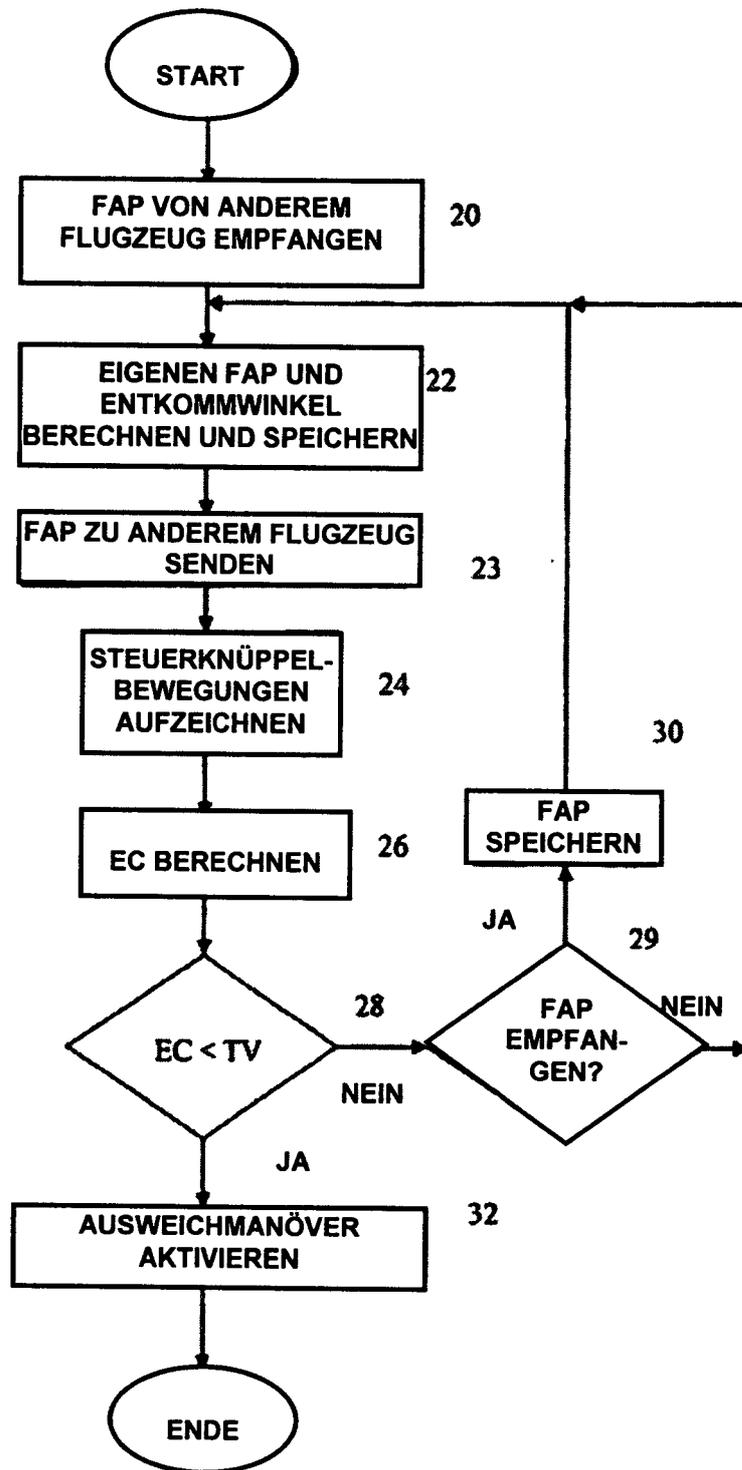


FIG. 3