



**República Federativa do Brasil**  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0706969-3 B1**

**(22) Data do Depósito:** 13/02/2007

**(45) Data de Concessão:** 20/03/2018



---

**(54) Título:** PROCESSO PARA PREDIZER A POSSIBILIDADE DE PARADA COMPLETA DE UMA AERONAVE E SISTEMA PARA EXECUÇÃO DO PROCESSO

**(51) Int.Cl.:** G05D 1/00; G05D 1/06; B64D 45/04

**(30) Prioridade Unionista:** 17/02/2006 FR 0601395

**(73) Titular(es):** AIRBUS OPERATIONS SAS

**(72) Inventor(es):** NICOLAS CAULE

"PROCESSO PARA PREDIZER A POSSIBILIDADE DE PARADA COMPLETA DE UMA AERONAVE E SISTEMA PARA EXECUÇÃO DO PROCESSO"

[0001] A presente invenção refere-se a um processo e a um sistema para prever a possibilidade de parada completa de uma aeronave sobre uma pista de aterrissagem.

[0002] Sabe-se que, na aterrissagem, uma aeronave pode sair longitudinalmente da pista de aterrissagem, no final da mesma, devido ao fato que, por exemplo, a dita aeronave, no final de sua trajetória de aproximação, tocou a pista muito além do limite proximal [ponto de toque mais próximo] da pista (fala-se então de "aterrissagem longa"). Tal acidente pode ser agravado por uma velocidade de aterrissagem excessiva.

[0003] Na técnica anterior, descreve-se um sistema chamado "Runway Awareness and Advisory System", que fornece ao piloto de uma aeronave em fase final de aterrissagem, ou seja, rolando na pista estando freada, uma informação falada relativa ao comprimento da pista que resta a percorrer antes do limite distal [limite final] da dita pista. Tal informação é muito útil, porém é tardia e não pode fornecer um alerta para uma aterrissagem muito longa.

[0004] Por outro lado, por exemplo, através dos documentos US-5 142 478 e WO 01/57827, são conhecidos sistemas de auxílio à aterrissagem para aeronaves seguindo uma trajetória de aproximação. Tais sistemas permitem, portanto, fornecer alertas em tempo suficiente para se tomar disposições apropriadas para uma correção de aproximação ou uma arremetida. Contudo, o primeiro destes documentos exige a instalação de meios de transmissão com a terra, enquanto o segundo é complexo, levando em conta uma diversidade de

parâmetros, entre os quais uma taxa de aceleração estimada.

[0005] A presente invenção tem por objeto remediar estes inconvenientes graças a um processo e um sistema simples, que permite evitar os acidentes de saída longitudinal no final de pista de aterrissagem e, portanto, melhorar a segurança dos vôos.

[0006] Para tal, de acordo com a invenção, o processo para prever a possibilidade de parada completa de uma aeronave durante sua aterrissagem sobre uma pista de aterrissagem, enquanto a dita aeronave ainda está no ar e em descida para a dita pista de aterrissagem segundo uma trajetória de aproximação inclinada formando um ângulo de aproximação com a dita pista de aterrissagem, compreendendo a dita pista de aterrissagem dois limites de extremidade, é notável pelo fato de:

- a) medir-se a altitude da dita aeronave e calcular-se a distância horizontal que separa a dita aeronave do limite de extremidade proximal da dita pista de aterrissagem;
- b) calcular-se, a partir da altitude e da distância horizontal determinadas em a), bem como a partir do dito ângulo de aproximação, uma posição de toque estimada da dita aeronave sobre a dita pista de aterrissagem; e
- c) utilizar-se a dita posição de toque estimada em b) para determinar a dita possibilidade.

[0007] Assim, graças à presente invenção, pode-se obter de maneira simples, bem antes do contato da aeronave com a pista de aterrissagem, uma informação sobre como será a aterrissagem, longa ou não, o que deixa tempo para se tomar medidas para remediar os inconvenientes de uma aterrissagem longa.

[0008] Para que a posição de toque estimada seja a mais precisa possível, efetuam-se as ditas etapas a) e b) de maneira repetitiva durante pelo menos parte da descida da aeronave sobre a dita trajetória de aproximação.

[0009] O ângulo de aproximação utilizado na etapa b) pode ser fornecido por uma base de dados relativa à pista de aterrissagem. Em uma variante, este ângulo de aproximação pode ser calculado a bordo da aeronave, a partir das informações inerciais dadas pela central inercial de bordo.

[0010] De preferência, a altitude utilizada na etapa b) é fornecida por um radioaltímetro. Quanto à distância horizontal, que separa a dita aeronave do limite de extremidade proximal da dita pista de aterrissagem, ela pode ser obtida a partir de informações de posicionamento da dita aeronave dadas por um sistema de satélites de posicionamento e de informações dadas por uma base de dados contendo pelo menos o posicionamento do limite proximal da dita pista de aterrissagem.

[0011] Em uma forma de execução especialmente simples do processo de acordo com a presente invenção, a dita posição de toque estimada é definida por sua distância  $X$  até o dito limite de extremidade proximal e esta distância  $X$  é escolhida igual a  $X = (H/\operatorname{tg}\alpha) - D$ , expressão na qual  $H$  é a altitude da aeronave sobre a trajetória de aproximação,  $\operatorname{tg}\alpha$  é a tangente do ângulo de aproximação  $\alpha$  e  $D$  é a distância horizontal que separa a aeronave do dito limite de extremidade proximal.

[0012] Notar-se-á que tal definição da posição de toque estimada, que permite cálculos simples, todavia não é exata, pois não considera a curva de transição de aterrissagem entre o fim da trajetória de aproximação e a pista de aterrissagem.

Contudo, a falta de exatidão resultante disso é sem consequência, pois pode ser levado em conta na etapa c) do processo.

[0013] Notar-se-á além disso que, para uma finalidade diferente daquela da presente invenção - a saber, a determinação da posição de uma aeronave em relação a uma pista de aterrissagem e não a predição de uma parada sobre esta última - o documento US-4 316 252 também utiliza uma posição de toque estimada, determinada a partir da altitude da aeronave e do ângulo de aproximação. Contudo, no sistema do documento US-4 316 252, a distância entre a posição de toque estimada e o dito limite proximal da pista de aterrissagem é supostamente conhecida (enquanto, na presente invenção, esta distância é a incógnita a ser determinada) e a distância horizontal entre a aeronave e o dito limite proximal é a incógnita a ser determinada (enquanto, na presente invenção, esta última distância é pré-calculada por outro lado a partir de informações de posicionamento relativas à aeronave e ao dito limite proximal).

[0014] Para a execução da etapa c), pode-se, por exemplo:

- comparar a dita distância entre a dita posição de toque estimada e o dito limite proximal da pista de aterrissagem com um valor limite de referência, abaixo do qual a dita aeronave deve poder parar completamente sobre a dita pista de aterrissagem e acima da qual a dita aeronave não pode parar sobre esta última; ou então
- adicionar uma distância de aterrissagem estimada à dita distância entre a dita posição de toque estimada e o dito limite de extremidade proximal, e em seguida comparar a soma de distâncias assim obtida com o comprimento da pista de

aterressagem.

[0015] No primeiro caso, o dito valor limite de referência pode ser determinado pela experiência ou pelo cálculo: ele depende, evidentemente, do tipo de aeronave, de seu desempenho de frenagem, do estado da pista, das condições meteorológicas, etc. No segundo caso, a dita distância de aterressagem estimada pode ser um valor fixo de precaução, ou pode ser calculada em tempo real a partir de uma base de dados de desempenho na aterressagem, ou ainda ser proveniente de um modelo dinâmico de cálculo da distância de parada. Nos dois casos, ao dito valor limite de referência e à dita distância de aterressagem estimada, podem-se incorporar margens de segurança, entre outras, para levar em conta a curva de transição da aterressagem, como mencionado acima.

[0016] Se a dita distância entre a posição de toque estimada e o dito limite de extremidade proximal for superior ao dito valor limite de referência, ou se a dita soma de distâncias for superior ao o comprimento da pista de aterressagem, pode-se:

- emitir um ou mais alarmes (sonoro, luminoso, etc.) para a tripulação, que pode então efetuar uma arremetida; e/ou
- comandar uma arremetida automática da aeronave pelo intermediário do piloto automático da aeronave.

[0017] Além disso, pode-se prever a exibição em uma tela, especialmente na tela chamada "Navigation Display" na técnica aeronáutica, de um esquema representativo da aterressagem em curso ilustrando a pista, os limites de pistas, a trajetória de aproximação, a posição estimada de toque, o dito valor limite de referência e/ou a distância de aterressagem estimada, etc., e, a título de alarme, fazer piscar e/ou

representar em cores vivas alguns destes elementos, especialmente em caso de impossibilidade de parada completa da aeronave antes do limite de extremidade distal da dita pista de aterrissagem.

[0018] A fim de evitar perturbar a tripulação da aeronave com um ou mais alarmes intempestivos quando a aeronave não pode mais arremeter em toda segurança, pode-se prever inibir neste caso os ditos alarmes e o comando do piloto automático. Tal inibição pode ser prevista quando ocorre pelo menos uma das três condições seguintes:

- a radioaltitude é inferior a um limite de altitude, por exemplo, igual a 1,5m;
- a velocidade da aeronave em relação ao ar é inferior a um limite de velocidade, por exemplo, igual a velocidade de decolagem; e
- o trem de pouso da aeronave está comprimido, indicando assim que este último já está rolando na pista de aterrissagem.

[0019] Por outro lado, previamente à etapa a), pode-se examinar, para as pistas de aterrissagem mais próximas da aeronave em voo, aquelas sobre as quais se pode considerar efetuar uma aterrissagem. Para tal, pode-se verificar uma ou mais condições seguintes:

- a aeronave está em configuração de aterrissagem;
- a altitude da aeronave corresponde a um valor de preparação para a aterrissagem;
- o alinhamento da aeronave com uma ou mais pistas; e
- a distância horizontal da aeronave com os limites proximais das ditas pistas.

[0020] Para a execução das etapas a) e b) do processo de

acordo com a presente invenção, utiliza-se vantajosamente um sistema compreendendo meios de cálculo:

- recebendo:

- a altitude (H) da dita aeronave em descida para uma pista de aterrissagem segundo uma trajetória de aproximação inclinada formando um ângulo de aproximação ( $\alpha$ ) com a dita pista de aterrissagem:

- informações de posicionamento da dita aeronave; e
- informações de posicionamento de pelo menos um limite de extremidade proximal da dita pista de aterrissagem; e

- calculando:

- a distância horizontal (D) que separa a dita aeronave do limite de extremidade proximal; e
- a distância (X) definida pela equação:

$$X = (H/\operatorname{tg}\alpha) - D$$

na qual  $\operatorname{tg}\alpha$  é a tangente do ângulo de aproximação  $\alpha$ .

[0021] Os ditos meios de cálculo podem, segundo os dois casos mencionados acima:

- efetuar a comparação da dita distância X calculada com o dito valor limite de referência e gerar um sinal de alerta quando a dita distância calculada X for superior ao dito valor limite de referência; ou

- efetuar a soma da dita distância calculada X e da dita distância de aterrissagem estimada, e em seguida comparar a dita soma com o comprimento da pista de aterrissagem e gerar um sinal de alerta quando a dita soma for superior ao dito comprimento da pista de aterrissagem.

[0022] As figuras do desenho anexo mostrarão bem como a invenção pode ser realizada. Nessas figuras, referências idênticas designam elementos semelhantes.

[0023] A figura 1 é uma vista superior esquemática de uma pista de aterrissagem para a qual a aeronave executa uma manobra de aproximação;

[0024] A figura 2 é o esquema sinóptico de um sistema montado a bordo da dita aeronave que permite a esta última executar o processo de acordo com a presente invenção;

[0025] A figura 3 ilustra esquematicamente um primeiro exemplo de execução do processo de acordo com a presente invenção; e

[0026] A figura 4 ilustra esquematicamente um segundo exemplo de execução do dito processo.

[0027] Na figura 1, representou-se em vista superior esquemática uma pista de aterrissagem 1 e uma aeronave 2. A aeronave 2 está pelo menos aproximadamente alinhada com o eixo X-X da dita pista de aterrissagem 1 e em descida para esta última segundo uma trajetória de aproximação (ver figuras 3 e 4). A pista de aterrissagem 1 é delimitada por dois limites de extremidade 4 e 5, entre os quais é definido o comprimento L da dita pista. A aeronave encontra-se do lado do limite de extremidade 4, sendo este então o limite proximal, e, conseqüentemente, sendo o limite 5 o limite distal.

[0028] A bordo da aeronave 2, são montados meios de cálculo 6 que permitem executar o processo de acordo com a presente invenção.

[0029] Para tal, no exemplo da figura 2, os meios de cálculo 6 compreendem:

- uma entrada 7 que recebe a radioaltitude H medida pelo(s) radioaltímetro(s) de bordo;
- uma entrada 8 que recebe os parâmetros inerciais I gerados

pela central inercial de bordo;

- uma entrada 9 que recebe os parâmetros anemométricos A gerados pelos sensores anemométricos de bordo;
- uma entrada 10 que recebe a posição P da aeronave 2 fornecida por um sistema de posicionamento por satélite;
- uma entrada 11 que recebe informações A/C próprias da aeronave 2, tais como a configuração de suas asas, a posição ativada ou desativada dos reversores de empuxo de seus motores, o estado de funcionamento de seus motores, suas características de frenagem e de aterrissagem, etc.; e
- uma entrada 12, conectada a uma base de dados aeroportuárias 13, contendo as características de pelo menos a pista de aterrissagem 1, as coordenadas dos limites 4 e 5, o comprimento L, o estado da dita pista (água, neve, gelo, abertura ou fechamento da pista), etc.

[0030] Por outro lado, no exemplo da figura 2, os meios de cálculo 6 compreendem:

- uma saída 14 capaz de ativar um dispositivo de alarme sonoro 15;
- uma saída 16 capaz de ativar um dispositivo de alarme luminoso 17;
- uma saída 18, capaz de ativar um sistema de exibição eletrônica 19, por exemplo, o Navigation Display; e
- uma saída 20, capaz de comandar o piloto automático da aeronave 2.

[0031] O ângulo de aproximação  $\alpha$ , utilizado da maneira indicada abaixo pelos meios de cálculo 6, pode ser calculado por estes últimos a partir das informações inerciais I ou então ser dado pela base de dados aeroportuários 13.

[0032] Além disso, graças às informações contidas nesta

última base de dados e às informações P recebidas na entrada 10, os meios de cálculo 6 determinam a distância horizontal D que separa a aeronave 2 do limite de extremidade proximal 4.

[0033] A partir da altura H, da distância horizontal D e do ângulo de aproximação  $\alpha$ , os meios de cálculo 6 determinam, de preferência de maneira repetitiva durante a descida da aeronave 2 para a pista de aterrissagem 1, uma distância  $X = (H/\text{tg}\alpha) - D$ , que define, em relação ao limite de extremidade proximal 4, uma posição de toque estimada 21 da trajetória de aproximação 3 (e, portanto, da aeronave 2) sobre a dita pista de aterrissagem 1 (ver figuras 3 e 4).

[0034] No exemplo de execução representado na figura 3, os meios de cálculo 6 comparam a dita distância X com um valor limite de referência T, determinado, por experimentação ou por cálculo, de maneira que, se X for inferior a T, a aeronave 2 deverá poder parar na pista de aterrissagem 1 antes do limite distal 5 desta última, enquanto, inversamente, se X for superior a T (caso representado na figura 3), a aeronave 2 não terá nenhuma chance de parar antes do dito limite distal 5 e, caso prosseguir com a aterrissagem, só poderá sair na extremidade da pista de aterrissagem 1. O valor limite de referência T é função do tipo da aeronave 2, do desempenho de frenagem desta última, das condições meteorológicas, da pista de aterrissagem 1, etc. Ele pode ser determinado por experimentação ou por cálculo.

[0035] No exemplo de execução da invenção, representado na figura 4, os meios de cálculo 6 adicionam uma distância de aterrissagem estimada F à dita distância estimada X e comparam a soma  $X + F$  com o comprimento L da pista de

aterrissagem 1. Esta distância de aterrisagem estimada  $F$  pode ser um valor fixo pré-determinado por cálculo ou por experiência, ou então ser calculada em tempo real pelos meios de cálculo 6 a partir de uma base de dados de desempenho de aterrisagem (não representada). A distância de aterrisagem estimada  $F$  pode levar em conta, além da massa da aeronave 2 e sua configuração aerodinâmica, a elevação da pista 1, o estado da mesma, a velocidade do avião em relação à velocidade de aproximação recomendada, um eventual vento traseiro, as partes que afetam a distância de aterrisagem (reversores de empuxo, motores, dispositivos de antipatinagem e de autofrenagem, etc.). A importância destes diversos parâmetros é geralmente indicada no manual de bordo FCOM (Flight Crew Operating Manual).

[0036] Se a soma  $X+F$  for inferior ao comprimento  $L$  (caso representado na figura 4), a aeronave 2 deverá poder parar na pista de aterrisagem 1 antes do limite distal 5. Em compensação, se a soma  $X+F$  for superior ao comprimento  $L$ , a aeronave 2 deve esperar sair da pista longitudinalmente, no final da mesma.

[0037] Se, dependendo do caso,  $X$  for superior a  $T$  ou  $X+F$  for superior a  $L$ , os meios de cálculo 6 geram um sinal de alerta, de maneira que os alarmes sonoro 15 e luminoso 17 são ativados para avisar o piloto da aeronave 2 sobre a gravidade da situação. Além disso, um esquema semelhante ao esquema da figura 3, ou da figura 4, pode ser exibido na tela 19, dependendo do caso, com elementos que piscam ou representados em cores vivas.

[0038] Assim, o piloto é alertado e pode interromper a aterrisagem em curso e arremeter em tempo, enquanto o avião

ainda está sobre a trajetória de aproximação.

[0039] Eventualmente, o sinal de alerta emitido pelos meios de cálculo 6 e que aparece na saída 20 pode comandar diretamente o piloto automático da aeronave 2 para uma arremetida automática da mesma.

[0040] Compreender-se-á facilmente que, por meio das informações que os meios de cálculo 6 recebem nas entradas 7 a 12, a aeronave 2 pode, antes de empreender uma manobra de aterrissagem sobre uma pista 1 determinada, calcular para cada uma das várias pistas 1 que estejam na proximidade:

- a distância D;
- o alinhamento em relação ao eixo X-X; e
- a altitude H.

[0041] Além disso, ela pode verificar se sua configuração corresponde à de uma aterrissagem, de maneira que ela pode determinar qual ou quais das ditas pistas pode ser considerada para efetuar uma aterrissagem.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para predizer a possibilidade de parada completa de uma aeronave, durante sua aterrissagem sobre uma pista de aterrissagem (1), enquanto a dita aeronave (2) ainda está no ar e em descida para a dita pista de aterrissagem (1) segundo uma trajetória de aproximação inclinada (3) formando um ângulo de aproximação ( $\alpha$ ) com a dita pista de aterrissagem (1), compreendendo a dita pista de aterrissagem dois limites de extremidade proximal e distal (4, 5), caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

a) medir a altitude (H) da dita aeronave (2) e calcular a distância horizontal (D) que separa a dita aeronave (2) do limite de extremidade proximal (4) da dita pista de aterrissagem (1);

b) calcular, a partir da altitude (H) e da distância horizontal (D) determinadas em a), bem como a partir do dito ângulo de aproximação ( $\alpha$ ), uma posição de toque estimada (21) da dita aeronave sobre a dita pista de aterrissagem (1);

c) utilizar a dita posição de toque estimada (21) calculada em b) para determinar a dita possibilidade;

sendo que dita posição de toque estimada (21) é definida por sua distância (X) até o dito limite de extremidade proximal (4);

sendo que a dita distância (X), entre a dita posição de toque estimada (21) e o dito limite de extremidade proximal (4), é escolhida igual a  $X = (H/\text{tg}\alpha) - D$ , expressão na qual H é a altitude da aeronave (2),  $\text{tg}\alpha$  é a tangente do ângulo de aproximação  $\alpha$  e D é a distância horizontal que separa a aeronave (2) do limite de extremidade proximal (4); e

sendo que para a execução da etapa c), comparar-se a dita

distância (X), entre a dita posição de toque estimada (21) e o dito limite de extremidade proximal (4), com um valor limite de referência (T), abaixo do qual a dita aeronave (2) deve poder parar completamente sobre a dita pista de aterrissagem (1) e acima da qual a dita aeronave (2) não pode parar sobre esta última.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de se efetuarem as ditas etapas a) e b) de maneira repetitiva durante pelo menos parte da descida da aeronave (2) sobre a dita trajetória de aproximação (3).

3. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de o dito ângulo de aproximação ( $\alpha$ ) ser calculado a bordo da aeronave (2).

4. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de o dito ângulo de aproximação ( $\alpha$ ) ser fornecido por uma base de dados (13) contendo informações relativas à dita pista de aterrissagem (1).

5. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 4, caracterizado pelo fato de a distância horizontal (D), que separa a dita aeronave (2) do limite de extremidade proximal (4) da pista de aterrissagem (1), ser obtida a partir de informações de posicionamento da dita aeronave (2) dadas por um sistema de satélites de posicionamento e a partir de informações dadas por uma base de dados (13) contendo pelo menos o posicionamento do dito limite proximal da dita pista de aterrissagem (1).

6. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de, para a execução da etapa c), adicionar-se uma distância de aterrissagem estimada (F) à dita distância (X) entre a dita posição de toque estimada (21) e o dito limite

de extremidade proximal (4), e comparar-se a soma de distâncias (X+F) assim obtida com o comprimento (L) da pista de aterrissagem (1).

7. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 6, caracterizado pelo fato de a etapa c) consistir em emitir um alarme para a tripulação da aeronave (2).

8. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 7, caracterizado pelo fato de a etapa c) consistir em uma arremetida automática da aeronave (2).

9. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 8, caracterizado pelo fato de pelo menos a etapa c) ser inibida quando a aeronave (2), em procedimento de aterrissagem, não é mais capaz de arremeter em toda segurança.

10. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 9, caracterizado pelo fato de, (previamente à etapa a, verificar-se, para as pistas de aterrissagem mais próximas da aeronave (2), aquelas sobre as quais se pode considerar efetuar uma aterrissagem.

11. Sistema para execução do processo, como identificado na reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender meios de cálculo (6):

- recebendo:

- a altitude (H) da dita aeronave (2) em descida para a dita pista de aterrissagem (1) segundo a dita trajetória de aproximação inclinada (3) formando um ângulo de aproximação ( $\alpha$ ) com a dita pista de aterrissagem (1);
- informações de posicionamento da dita aeronave (2); e
- informações de posicionamento de pelo menos o limite de extremidade proximal (4) da dita pista de aterrissagem (1); e

- calculando:

- a distância horizontal (D) que separa a dita aeronave (2) do dito limite de extremidade proximal (4); e
- a distância (X) definida pela equação:

$$X = (H/\operatorname{tg}\alpha) - D$$

na qual  $\operatorname{tg}\alpha$  é a tangente do ângulo de aproximação  $\alpha$ .

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 11, para a execução do processo como identificado na reivindicação 8, caracterizado pelo fato os ditos meios de cálculo (6) efetuarem a comparação da dita distância (X) calculada com o dito valor limite de referência (T) e gerarem um sinal de alerta quando a dita distância calculada (X) for superior ao dito valor limite de referência (T).

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 11, para a execução do processo como identificado na reivindicação 9, caracterizado pelo fato os ditos meios de cálculo (6) efetuarem a soma (X+F) da dita distância calculada (X) e da dita distância de aterrissagem estimada (F), e em seguida compararem a dita soma (X+F) com o comprimento (L) da pista de aterrissagem e gerarem um sinal de alerta quando a dita soma (X+F) for superior ao dito comprimento (L) da pista de aterrissagem (1).



