



(11) PI 0924384-4 B1

(22) Data do Depósito: 18/03/2009

(45) Data de Concessão: 30/01/2024

República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA DE CÁLCULO DO TEMPO PARA CHEGADA E DO TAMANHO DE UM OBJETO COM BASE EM UMA ESCALA DE CORRELAÇÃO ENTRE AS IMAGENS PROVENIENTES DE UM SENSOR ELETRO-ÓPTICO

(51) Int.Cl.: G06T 3/40; G06T 7/00.

(73) Titular(es): SAAB AB.

(72) Inventor(es): JIMMY JONSSON.

(86) Pedido PCT: PCT SE2009050279 de 18/03/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/107347 de 23/09/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 12/09/2011

(57) Resumo: CÁLCULO DO TEMPO PARA CHEGADA E DO TAMANHO DE UM OBJETO COM BASE EM UMA ESCALA DE CORRELAÇÃO ENTRE AS IMAGENS PROVENIENTES DE UM SENSOR ELETRO-ÓPTICO. A presente invenção refere-se a um método e a um sistema para calcular um valor do Tempo para Chegada, TTG, entre um veículo e um objeto intruso. O método compreende as etapas de: primeiramente restaurar (S43) uma primeira imagem do objeto intruso em um primeiro ponto de tempo, T0, e uma segunda imagem do objeto intruso em um segundo ponto de tempo, T1. Posteriormente, filtrar (S44) a primeira imagem e a segunda imagem de tal modo que a primeira imagem e a segunda imagem se tornem independentes da energia de sinal absoluto e de tal modo que as bordas se tornem avançadas. Em uma próxima etapa (S45), uma posição fracionária de pixel X, XFRAC, e uma posição fracionária de pixel Y, YFRAC, são ajustadas para zero, onde XFRAC denota um deslocamento horizontal em nível de subpixel e YFRAC um deslocamento vertical em nível de subpixel. Na etapa (S45), um fator escalar, Si, também é selecionado. A segunda imagem é, então, escalonada em uma etapa (S46) com o fator escalar, Si, e reamostrada (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO E SISTEMA DE CÁLCULO DO TEMPO PARA CHEGADA E DO TAMANHO DE UM OBJETO COM BASE EM UMA ESCALA DE CORRELAÇÃO ENTRE AS IMAGENS PROVENIENTES DE UM SENSOR ELETRO-ÓPTICO**".

CAMPO TÉCNICO

[0001] A presente invenção refere-se ao campo de sensor e prevenção para um veículo, e, mais particularmente, a um sistema e a um método que servem para calcular o tempo para chegada entre um veículo e um objeto intruso, e o tamanho do objeto intruso.

ANTECEDENTES

[0002] Com o intuito de permitir que veículos aéreos não tripulados (UAVs) se desloquem no espaço aéreo civil não segregado, vários problemas técnicos devem ser solucionados. Uma das questões mais importantes é o problema de "sensor e prevenção": um UAV deve ser capaz de captar a presença de outros veículos ou objetos aéreos, e, se necessário, realizar uma manobra autônoma e segura de último instante para evitar colisões. Portanto, um UAV compreende, tipicamente, um sistema anticolisão, algumas vezes denominado como um sistema de sensor e prevenção. O sistema de Sensor e Prevenção inclui um ou vários sensores que servem para captar aeronaves ou objetos intrusos, e uma funcionalidade anticolisão que utiliza os dados captados para realizar uma manobra de evasão segura. Visto que o sistema anticolisão consiste em um sistema de aperfeiçoamento de segurança, é crucial que os dados fornecidos à funcionalidade anticolisão sejam de alta qualidade com a finalidade de evitar manobras importunas e inseguras.

[0003] Um parâmetro crucial em um sistema anticolisão consiste em uma entidade denominada como Tempo para Chegada (TTG), o qual é calculado antes da colisão com outros veículos ou objetos aéreos intrusos. O TTG pode ser calculado com base nos dados referentes à

própria posição e movimento da aeronave e aos dados em objetos circundantes, coletados pelos sensores do sistema anticolisão.

[0004] Existem várias formas conhecidas de estimar o tempo para chegada antes de uma colisão com aeronaves ou objetos intrusos. Por exemplo, é notório utilizar câmeras para capturar imagens consecutivas de aeronaves ou objetos intrusos de tal modo que a aeronave ou o objeto sejam representados como pontos alvo nas imagens. O TTG pode, então, ser estimado com base na alteração escalar entre os pontos alvo a partir de uma imagem para outra.

[0005] Da mesma forma, é notório na técnica utilizar diferentes tipos de filtros de rastreamento adaptados para estimar o tempo para chegada com uma aeronave próxima a partir de uma sequência de observações sobre a posição de proximidade da aeronave, tipicamente adquiridas por meio de radares.

[0006] No entanto, cada um dos princípios anteriores para estimativa do tempo para chegada apresenta desvantagens. O primeiro princípio de acordo com quais estimativas do tempo para chegada são calculadas com base na alteração escalar entre os pontos alvo em imagens consecutivas apresenta a desvantagem que a incerteza das estimativas do tempo para chegada é alta. O segundo princípio, no qual as estimativas do tempo para chegada são estimadas por um filtro de rastreamento, também apresenta a desvantagem que a incerteza nas estimativas do tempo para chegada é alta.

SUMÁRIO

[0007] Portanto, um objetivo da presente invenção consiste em tornar possível calcular o tempo para chegada entre um veículo e um veículo ou objeto aéreo intruso com um alto grau de confiabilidade.

[0008] De acordo com um primeiro aspecto da presente invenção, este objetivo é alcançado através de um método para calcular um Tempo para Chegada, TTG, o valor entre um veículo e um objeto

intruso, sendo que o dito método compreende as etapas de:

- restaurar uma primeira imagem do dito objeto intruso em um primeiro ponto de tempo, T_0 , e uma segunda imagem do dito objeto intruso em um segundo ponto de tempo, T_1 ;

- filtrar a dita primeira imagem e a dita segunda imagem de tal modo que a dita primeira imagem e a dita segunda imagem se tornem independentes da energia de sinal absoluto e de tal modo que as bordas se tornem avançadas;

- ajustar uma posição fracionária de pixel X , X_{FRAC} , para zero e uma posição fracionária de pixel Y , Y_{FRAC} , para zero, onde X_{FRAC} denota um deslocamento horizontal em nível de subpixel e Y_{FRAC} um deslocamento vertical em nível de subpixel; selecionar um fator escalar, S_i ;

- escalonar a dita segunda imagem com o dito fator escalar, S_i , e reamostrar a dita imagem escalonada na posição X_{FRAC} e Y_{FRAC} ; resultando em uma imagem escalonada reamostrada, RS_{il} ;

- calcular os valores de correlação, $C_{X_{\text{PIX}}, Y_{\text{PIX}}, i}$, entre a dita primeira imagem e a dita imagem escalonada reamostrada, RS_{il} , para diferentes deslocamentos horizontais em nível de pixel, X_{PIX} , e diferentes deslocamentos verticais em nível de pixel, Y_{PIX} , para a dita imagem escalonada reamostrada RS_{il} ;

- encontrar um valor máximo de correlação em nível de subpixel, C_i , com base nos ditos valores de correlação, $C_{X_{\text{PIX}}, Y_{\text{PIX}}, i}$, e atualizar X_{FRAC} e Y_{FRAC} ;

- ajustar $j = j + 1$ e repetir as etapas S46 a S49 um primeiro número predeterminado de vezes;

- ajustar $i = i + 1$ e repetir as etapas S45 a S50 um segundo número predeterminado de vezes;

- encontrar um maior valor máximo de correlação, C_{MAX} , entre os ditos valores máximos de correlação, C_i , e o fator escalar $S_{i, \text{MAX}}$

associado ao maior valor máximo de correlação C_{MAX} ; e

- calcular o Tempo para Chegada, TTG, com base no dito fator escalar $S_{i, MAX}$

[0009] De acordo com um segundo aspecto da presente invenção, o objetivo é alcançado através de um produto de programa computacional para uso em um veículo para calcular um Tempo para Chegada, TTG, entre o dito veículo e um objeto intruso, que compreende um meio legível por computador, tendo: um meio de código legível por computador que, quando executado em um meio de processamento do veículo, induz a execução do meio de processamento;

- restaurar uma primeira imagem do dito objeto intruso em um primeiro ponto de tempo, T_0 , e uma segunda imagem do dito objeto intruso em um segundo ponto de tempo, T_1 ;

- filtrar a dita primeira imagem e a dita segunda imagem de tal modo que a dita primeira imagem e a dita segunda imagem se tornem independentes da energia de sinal absoluto e de tal modo que as bordas se tornem avançadas;

- ajustar uma posição fracionária de pixel X , X_{FRAC} , para zero e uma posição fracionária de pixel Y , Y_{FRAC} , para zero, onde X_{FRAC} denota um deslocamento horizontal em nível de subpixel e Y_{FRAC} um deslocamento vertical em nível de subpixel; selecionar um fator escalar, S_i ;

- escalonar a dita segunda imagem com o dito fator escalar, S_i , e reamostrar a dita imagem escalonada na posição X_{FRAC} e Y_{FRAC} ; resultando em uma imagem escalonada reamostrada, RS_{il} ;

- calcular os valores de correlação, $C_{XPIX, YPIX, i}$, entre a dita primeira imagem e a dita imagem escalonada reamostrada, RS_{il} , para diferentes deslocamentos horizontais em nível de pixel, X_{PIX} , e diferentes deslocamentos verticais em nível de pixel, Y_{PIX} , para a dita

imagem escalonada reamostrada RS_{il} ;

- encontrar um valor máximo de correlação em nível de subpixel, C_i , com base nos ditos valores de correlação, $C_{XPIX, YPIX i}$, e atualizar X_{FRAC} e Y_{FRAC} ;

- ajustar $j = j + 1$ e repetir as etapas S46 a S49 um primeiro número predeterminado de vezes;

- ajustar $i = i + 1$ e repetir as etapas S45 a S50 um segundo número predeterminado de vezes;

- encontrar um valor máximo de correlação, C_{MAX} , entre os ditos valores máximos de correlação, C_i , e o fator escalar $S_{i, MAX}$ associado ao dito valor máximo de correlação C_i ; e

- calcular o Tempo para Chegada, TTG, com base no dito fator escalar $S_{i, MAX}$

[00010] Uma vantagem apresentada pelo método e pelo sistema, de acordo com as modalidades da presente invenção, é que se obtém um valor preciso do fator escalar que é usado para calcular o tempo para chegada.

[00011] Outra vantagem apresentada pelas modalidades da presente invenção, é que o tamanho de um veículo ou objeto aéreo intruso em uma imagem pode ser estimado com um alto grau de confiabilidade.

[00012] Descrevem-se, na descrição detalhada exposta nas partes que se seguem do presente documento, recursos mais vantajosos do método e do sistema de acordo com a presente invenção.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[00013] A seguir, a invenção será descrita em maiores detalhes com referências aos desenhos anexos, em que:

[00014] A figura 1 ilustra uma vista de topo da metade frontal de um Veículo Aéreo Não Tripulado 10 que compreende sensores eletro-ópticos usados na presente invenção.

[00015] A figura 2 é uma ilustração esquemática de um sistema, de acordo com as modalidades da presente invenção, que serve para calcular o tempo para chegada e o tamanho em uma imagem do veículo ou objeto aéreo intruso.

[00016] A figura 3 ilustra um princípio usado na presente invenção para calcular o tempo para chegada.

[00017] A figura 4 é um fluxograma que ilustra as modalidades do método de acordo com a presente invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[00018] Na descrição a seguir, por propósitos de explicação e sem caráter limitativo, apresentam-se os detalhes específicos, tais como sequências particulares de etapas e configurações de dispositivo, com a finalidade de proporcionar uma compreensão criteriosa da presente invenção. Tornar-se-á aparente aos indivíduos versados na técnica que a presente invenção pode ser realizada em outras modalidades que divirjam destes detalhes específicos.

[00019] Ademais, os indivíduos versados na técnica avaliarão que as funções e os meios explicados mais adiante no presente documento podem ser implementados utilizando um software que funciona em conjunto com um microprocessador programado ou um computador para propósitos gerais, e/ou utilizando um circuito integrado específico de aplicativo (ASIC). Avaliar-se-á também, que embora a presente invenção seja primariamente descrita sob a forma de métodos e dispositivos, a invenção também pode ser incorporada em um produto de programa computacional, assim como em um sistema que compreenda um processador computacional e uma memória acoplada ao processador, em que a memória é codificada com um ou mais programas que podem realizar as funções aqui descritas.

[00020] A figura 1 ilustra uma vista superior da metade frontal de um Veículo Aéreo Não Tripulado (UAV) 10. O UAV 10 compreende um ou

vários sensores eletro-ópticos (EO) 201 que servem para monitorar o tráfego aéreo circundante.

[00021] Na modalidade exemplificadora ilustrada na figura 1, observa-se que o UAV 10 compreende sete sensores eletro-ópticos (EO) 201 que são dispostos em um padrão semicircular situado no nariz do UAV 10 ou próximo ao mesmo. Os sensores EO 201 podem ser quaisquer dispositivos que sejam capazes de capturar imagens consecutivas de um veículo ou objeto aéreo intruso no espaço aéreo circundante. Em uma modalidade da invenção, os sensores EO 201 são câmeras de vídeo de 9 Hz 201 que capturam imagens tendo uma resolução de 2048×2048 pixel. Ou seja, cada câmera 201 captura nove imagens de alta resolução do espaço aéreo circundante por segundo. Cada câmera 201 tem um campo de visão de 35 graus em azimute e 30 graus em elevação. Os campos de visão de duas câmeras adjacentes 201 se sobrepõem ligeiramente em azimute, resultando em um campo de visão total de 220 graus em azimute em toda a disposição do sensor EO. Portanto, a disposição do sensor EO tem um campo de visão de 220 graus em azimute e 30 graus em elevação, correspondendo substancialmente ao campo de visão dos olhos humanos.

[00022] A figura 2 é uma ilustração esquemática de um sistema 200 em um Veículo Aéreo Não Tripulado (UAV) (não mostrado) que serve para estimar o tempo para chegada e o tamanho em uma imagem 206, 211, 213 de um veículo ou objeto aéreo intruso 210 de acordo com as modalidades da presente invenção. Nestas modalidades, o sistema 200 compreende um sensor eletro-óptico (EO) 201 como aquele descrito em relação à figura 1. Conforme supramencionado, o sensor eletro-óptico 201 produz uma primeira sequência de imagens 206. Um objeto ou veículo aéreo intruso 210 pode estar presente em algumas ou em todas as imagens na primeira sequência de imagens 206 dependendo, dentre outros fatores, de uma posição do veículo ou objeto aéreo intruso 210

em relação ao sensor eletro-óptico 201. A primeira sequência de imagens 206 é proporcionada a um detector 202 através de uma conexão 212 a partir do sensor eletro-óptico 201 ao detector 202. O detector 202 detecta os veículos ou objetos aéreos intrusos 210 na primeira sequência de imagens 206 tomada pelo sensor eletro-óptico 201.

[00023] Desse modo, o detector 202 cria uma segunda sequência de imagens 211 na qual o veículo ou objeto aéreo intruso 210 é detectado nas imagens 211 na segunda sequência de imagens. Conforme se pode observar na figura 2, o veículo ou objeto aéreo intruso 210 foi detectado na segunda sequência de imagens 211 como um círculo 216 em cada imagem. Neste cenário, o veículo aéreo intruso 210 é mostrado em diferentes posições na segunda sequência de imagens 211, significando que o veículo ou objeto aéreo 210 se moveu em relação ao Veículo Aéreo Não Tripulado (UAV). A segunda sequência de imagens 211 é distribuída a um rastreador 201 através de uma conexão 207. O rastreador rastreia o veículo ou objeto aéreo intruso 210 na segunda sequência de imagens. Desse modo, o rastreador cria uma terceira sequência de imagens 213 na qual o veículo ou objeto aéreo intruso 210 é rastreado em cada imagem. Nas modalidades da invenção, o rastreador centraliza o veículo ou objeto aéreo intruso 210 em cada imagem na terceira sequência de imagens 213.

[00024] A terceira sequência de imagens 213 é distribuída a uma calculadora de tempo para chegada 204 que calcula o tempo para chegada de acordo com as modalidades da invenção. O método, de acordo com a presente invenção, que serve para calcular o tempo para chegada será descrito em maiores detalhes abaixo em relação à figura 4. Na figura 2, o detector e o rastreador foram ilustrados como duas unidades separadas. O detector e/ou o rastreador também podem, de acordo com as modalidades da invenção, consistir em uma parte da

calculadora de tempo para chegada 204. Nas modalidades onde o rastreador consiste em uma parte da calculadora de tempo para chegada 204, a segunda sequência de imagens 211 é distribuída à calculadora de tempo para chegada através da conexão 214. Em outras modalidades da invenção, onde tanto o detector como o rastreador fazem parte da calculadora de tempo para chegada, a primeira sequência de imagens é distribuída à calculadora de tempo para chegada 204 através da conexão 215.

[00025] A calculadora de tempo para chegada 204 também pode, de acordo com modalidades da invenção, calcular um tamanho em uma imagem do veículo ou objeto aéreo intruso.

[00026] Nota-se que nas modalidades da invenção, a segunda sequência de imagens compreende as coordenadas (não mostradas) do veículo ou objeto aéreo intruso em cada imagem na primeira sequência de imagens. Ainda em outras modalidades da invenção, a terceira sequência de imagens compreende as coordenadas (não mostradas) do veículo ou objeto aéreo intruso em cada imagem na primeira sequência de imagens.

[00027] Voltando-se agora à figura 3, que ilustra um princípio usado na presente invenção para calcular um tempo para chegada. A estimação do tempo para chegada é realizada com base em uma imagem alvo 310 do veículo ou objeto aéreo intruso em um ponto de tempo T_0 e outra imagem alvo 320 do veículo ou objeto aéreo intruso em outro ponto de tempo T_1 .

[00028] Conforme se pode observar na figura 3, um tamanho A da imagem alvo 320 no ponto de tempo T_1 é maior que um tamanho B da imagem alvo 310 no ponto de tempo T_0 . Isto significa que o veículo ou objeto aéreo intruso se aproximou do Veículo Aéreo Não Tripulado (UAV) 10 a partir do ponto de tempo T_0 até o ponto de tempo T_1 . Medindo uma alteração escalar S entre a imagem alvo 320 e a imagem

alvo 310, é possível estimar o tempo para chegada, visto que um tempo Δt entre T_0 e T_1 é conhecido. Com a finalidade de estimar o tempo para chegada, pode-se utilizar uma fórmula (1).

$$(1) \quad TTG_1 = \frac{\Delta t}{1 - \frac{A}{B}} - \Delta t$$

[00029] Na fórmula (1), os tamanhos A e B do alvo nos pontos de tempo T_0 e T_1 devem ser estimados. No entanto, é difícil determinar os tamanhos absolutos do alvo nesses dois pontos de tempo. Ao invés disso, considera-se a divisão A/B . Esta divisão é a alteração escalar, S , entre as duas observações e é mais facilmente estimada do que os tamanhos alvo absolutos. O tempo entre T_0 e T_1 , Δt , é conhecido.

[00030] Um problema em relação ao princípio, de acordo com figura 3, é que um valor muito exato da alteração escalar é necessário com a finalidade de alcançar uma boa estimativa do tempo para chegada.

[00031] Uma vantagem deste método e sistema, de acordo com as modalidades da presente invenção, é que se obtém um valor bastante preciso da alteração escalar usado para calcular o tempo para chegada de acordo com o princípio anterior.

[00032] A figura 4 mostra um fluxograma do método em um veículo (não mostrado) que serve para calcular o tempo para chegada, de acordo com as modalidades da presente invenção.

[00033] Em uma primeira etapa S41, o detector 202 detecta o veículo ou objeto aéreo intruso na primeira sequência de imagens 212 produzida pelo sensor EO 201. A detecção do veículo ou objeto aéreo intruso na etapa S41 resulta no fato de que o detector cria uma segunda sequência de imagens 211 na qual o veículo ou objeto aéreo intruso é detectado em cada imagem. Um veículo ou objeto aéreo intruso sendo detectado em uma imagem (não mostrada) na segunda sequência de imagens poderia, por exemplo, significar que as imagens são associadas com as coordenadas nas imagens onde o veículo ou objeto

aéreo intruso está localizado. Visto que existem vários métodos conhecidos na técnica para detectar objetos de determinados formatos em imagens, esses métodos não serão adicionalmente descritos no presente documento.

[00034] Posteriormente, em uma etapa S42, o rastreador rastreia o veículo ou objeto aéreo intruso na segunda sequência 211 de imagens a partir do detector 202. Desse modo, cria-se uma terceira sequência de imagens 213 na etapa S42 pelo rastreador no qual o veículo ou objeto aéreo intruso é rastreado nas imagens. Em uma modalidade da invenção, o rastreamento poderia, por exemplo, significar que o veículo ou objeto aéreo intruso está centralizado na terceira sequência de imagens. Visto que o rastreamento de um objeto em imagens consecutivas é bem conhecido na técnica, o rastreamento não será descrito adicionalmente no presente documento.

[00035] Em uma próxima etapa S43, uma primeira imagem e uma segunda imagem do veículo aéreo intruso do objeto são restauradas pela calculadora de tempo para chegada 204. A primeira imagem do veículo ou objeto aéreo intruso é uma imagem do veículo ou objeto aéreo intruso em um primeiro ponto de tempo, T_0 . A segunda imagem do veículo ou objeto aéreo intruso é uma imagem do veículo ou objeto aéreo intruso em um segundo ponto de tempo, T_1 . A primeira e a segunda imagens são, de acordo com as modalidades da presente invenção, restauradas a partir da primeira sequência de imagens 206. Em outras modalidades da presente invenção, a primeira e a segunda imagens são restauradas a partir da segunda sequência de imagens 211. Ainda em outra modalidade da presente invenção, a primeira e a segunda imagens são restauradas a partir da terceira sequência de imagens 213. Nas modalidades da invenção, onde a primeira e a segunda imagens são restauradas a partir da primeira sequência de imagens 206, a detecção e o rastreamento de veículos ou objetos

aéreos intrusos são realizados na calculadora de tempo para chegada 204. Uma vantagem de posicionar o detector e o rastreador na calculadora de tempo para chegada é que o sistema 200 requer menos unidades separadas. Em outras modalidades da invenção, onde a primeira e a segunda imagens são restauradas a partir da segunda sequência de imagens 211, o rastreamento de veículos ou objetos aéreos intrusos é realizado na calculadora de tempo para chegada 204. Uma vantagem de posicionar o rastreador na calculadora de tempo para chegada é que o sistema 200 requer menos unidades separadas.

[00036] A próxima etapa realizada no método é a etapa S44 na qual a primeira e a segunda imagens são filtradas pela calculadora de tempo para chegada 204. A filtragem na etapa S44 resulta no fato de que a primeira e a segunda imagens se tornam independentes da energia de sinal absoluto. A filtragem na etapa S44 também resulta no fato de que as bordas da primeira e da segunda imagens se tornam avançadas. A filtragem da primeira e da segunda imagens consiste em operações necessárias para alcançar valores precisos nas operações de correlação, que serão descritas mais adiante.

[00037] Após a etapa S44, uma posição fracionária de pixel X , X_{FRAC} , é ajustada para zero e uma posição fracionária de pixel Y , Y_{FRAC} , é ajustada para zero na etapa S45. A X_{FRAC} denota um deslocamento horizontal no nível de subpixel e Y_{FRAC} um deslocamento vertical no nível de subpixel. Um fator escalar, S_i , também é selecionado na etapa S45. Posteriormente, encontra-se a segunda imagem escalonada com o fator escalar, S_i , e reamostrada para posição X_{FRAC} e Y_{FRAC} na etapa S46. Isto resulta em uma imagem escalonada reamostrada, $RS_{i,l}$. Os valores de correlação, $C_{X_{\text{PIX}}, Y_{\text{PIX}}, i}$, entre a primeira imagem e a imagem escalonada reamostrada, $RS_{i,l}$, são calculados posteriormente na etapa S47. Os valores de correlação na etapa S46 são calculados para diferentes deslocamentos horizontais em nível de pixel, X_{PIX} , e

diferentes deslocamentos verticais em nível de pixel, Y_{PIX} , para a imagem escalonada reamostrada RS_{il} . Os valores de correlação entre a primeira imagem e a imagem escalonada reamostrada, RS_{il} , calculados na etapa S47, descrevem quão similares a primeira e a imagem escalonada reamostrada RS_{il} são para diferentes deslocamentos da imagem escalonada reamostrada RS_{il} . Existem muitos métodos diferentes para calcular uma correlação entre duas imagens conhecidas na técnica. Portanto, estes métodos não serão adicionalmente descritos no presente documento.

[00038] Não se tem certeza que o valor máximo de correlação entre a primeira imagem e a segunda imagem escalonada e reamostrada RS_{il} possa ser encontrado entre os valores de correlação calculados na etapa S47. O valor máximo de correlação entre a primeira imagem e a imagem escalonada reamostrada pode estar em uma posição onde a imagem escalonada reamostrada RS_{il} foi deslocada em uma fração de um pixel em uma direção vertical ou horizontal. Na etapa S48, o valor máximo de correlação é encontrado em nível de subpixel que é necessário com o intuito de encontrar o fator escalar que fornece a melhor correlação entre a primeira imagem e a imagem escalonada reamostrada.

[00039] O valor máximo de correlação em nível de subpixel na etapa S48 pode ser encontrado através de diversos métodos, por exemplo, através de interpolação. Visto que a interpolação é bem conhecida na técnica, a mesma não será adicionalmente descrita no presente documento. A posição fracionária de pixel X , X_{FRAC} , e a posição fracionária de pixel Y , Y_{FRAC} , também são atualizadas na etapa S48. Os valores são atualizados à posição fracionária de pixel X_{FRAC} , Y_{FRAC} onde a correlação tem seu máximo. Em uma próxima etapa S49, um contador j é ajustado para $j+1$. As etapas S46 a S49 são, então, repetidas um número predeterminado de vezes. Para cada ponto de tempo em que

as etapas S46 a S49 são realizadas, encontra-se um maior valor de correlação C_i e as posições fracionárias de pixel associadas a tal valor de correlação. O número predeterminado de vezes para repetir as etapas S46 a S49 pode ser ajustado para muitos valores diferentes. Se as etapas S46 a S49 forem repetidas muitas vezes, um valor mais preciso da correlação C_i pode ser obtido. Por outro lado, encontra-se um valor de cálculo mais longo necessário se as etapas S46 a S49 forem repetidas muitas vezes.

[00040] Em uma próxima etapa S50, encontra-se um contador i ajustado para $i+1$. As etapas S45 a S50 são, então, repetidas um número predeterminado de vezes. Utiliza-se um novo fator escalar sempre que o método executar as etapas S45 a S50. O novo fator escalar pode ser selecionado em muitas formas diferentes. Uma forma consiste em selecionar a nova escala utilizando método de meio intervalo. O método de meio intervalo é bem conhecido na técnica e, portanto, não será descrito no presente documento. Sempre que o método realizar as etapas S45 a S50, calcula-se, portanto, um valor máximo de correlação C_i para um fator escalar S_i . Posteriormente, em uma etapa S51, encontra-se um maior valor máximo de correlação C_{MAX} encontrado entre os máximos valores de correlação C_i que foram calculados sempre que o método realizasse as etapas S45 a S50. Na etapa S51, também se encontra o fator escalar $S_{i, MAX}$ associado à maior correlação máxima C_{MAX} encontrada.

[00041] Finalmente, o tempo para chegada é calculado na etapa S52 utilizando o fator escalar $S_{i, MAX}$ que foi encontrado na etapa S51. O Tempo para Chegada, TTG, pode ser calculado de modo inversamente proporcional ao fator escalar $S_{i, MAX}$. Em outras modalidades da invenção, o tempo para chegada é calculado utilizando a fórmula (1) abaixo:

$$(1) \quad TTG = S_{i, MAX} * (T_1 - T_0) / (1 - S_{i, MAX});$$

[00042] No método, encontram-se valores de correlação calculados para vários diferentes fatores escalares. Sempre que as etapas S45 a S50 são realizadas, encontra-se uma correlação máxima C_i calculada para o fator escalar S_i . Na etapa S51, encontra-se um grande valor máximo de correlação C_{MAX} encontrado entre os valores de correlação C_i e o fator escalar $S_{i, MAX}$ associado ao C_{MAX} . O fator escalar resultante $S_{i, MAX}$ que melhor se adapta é, então, usado na etapa S51 para calcular o tempo para chegada.

[00043] Nas modalidades do método de acordo com a presente invenção, pode-se calcular também o tamanho em uma imagem do veículo ou objeto aéreo intruso. O tamanho do veículo ou objeto aéreo intruso pode, de acordo com as modalidades da invenção, ser expresso como o número de pixels na imagem. O tamanho do veículo ou objeto aéreo intruso é, então, primeiramente estimado utilizando um método de ajuste gaussiano conforme será descrito mais adiante. Ao utilizar o método de ajuste gaussiano, supõe-se que o veículo ou objeto aéreo intruso seja semelhante à função gaussiana. A hipótese funciona para os veículos ou objetos aéreos intrusos que estiverem afastados do veículo. Portanto, o método de ajuste gaussiano é usado como uma estimativa inicial do tamanho do veículo ou objeto aéreo intruso. O tamanho inicial do objeto é, então, atualizado com base no fator escalar $S_{i, MAX}$ que foi encontrado na etapa S51.

[00044] No método, encontra-se uma função Gaussiana adaptada ao tamanho do veículo ou objeto aéreo intruso em uma imagem. O método de ajuste gaussiano consiste em um problema não linear que é solucionado utilizando o método de Levenberg-Marquardt. Visto que o método de Levenberg-Marquardt é bem conhecido na técnica, o mesmo não será adicionalmente descrito no presente documento. Nas modalidades da invenção, encontra-se uma função Gaussiana que é uma função simplificada pelos parâmetros a seguir: A, X, Y, SX, e SY.

O primeiro parâmetro A é a amplitude da função gaussiana. Os parâmetros SX e SY são as variâncias da função gaussiana ao longo da dimensão X e Y . Os parâmetros X e Y são o valor médio de cada dimensão da função gaussiana.

[00045] Ao calcular o tamanho em uma imagem do veículo ou objeto aéreo intruso utilizando a função gaussiana, um valor inicial do tamanho do veículo ou objeto aéreo intruso é necessário. Nas modalidades do método de acordo com a presente invenção, encontra-se pelo menos um tamanho inicial, σ_{Xin} , σ_{Yin} , do objeto ou veículo aéreo estimado, antes da etapa S52, em uma etapa S51a (não mostrada). Na etapa S51a, o tamanho inicial, σ_{Xin} , σ_{Yin} , é estimado em uma imagem n entre T_0 e T_1 na segunda sequência de imagens 211 a partir do detector. O tamanho inicial, σ_{Xin} , σ_{Yin} nas modalidades da invenção, é estimado pelo detector 202. A estimativa do tamanho proveniente do detector pode se originar a partir de uma pirâmide escalar que resulta em um dos seguintes valores 2, 4, 8, 16 ou 32 pixels (largura e altura estimadas separadamente). A estimativa do tamanho proveniente do detector é boa o suficiente como um parâmetro inicial.

[00046] Conforme mencionado anteriormente, outro parâmetro na função gaussiana é a amplitude A . Ao minimizar a função gaussiana, um valor inicial para a amplitude A é necessário. De acordo com as modalidades do método, pelo menos uma amplitude inicial, A_{in} , é, portanto, estimada calculando uma diferença entre uma média de um plano de fundo e uma média do veículo ou objeto aéreo intruso na imagem n na terceira sequência de imagens entre T_0 e T_1 . A estimativa da amplitude inicial, A_{in} , é calculada em uma etapa S51b após a etapa de estimativa de um tamanho inicial. Nas modalidades da invenção, encontra-se a média do plano de fundo estimado utilizando as partes periféricas da imagem n , isto é, os cantos da imagem n . Nesta modalidade, supõe-se que o objeto ou veículo aéreo intruso esteja

localizado no centro da imagem n , isto é, nesta modalidade, o rastreador sempre tenta centralizar o objeto ou veículo aéreo intruso na imagem n durante o rastreamento.

[00047] Pelo menos um tamanho, σ_{Xn} , σ_{Yn} , em uma imagem n do veículo ou objeto aéreo intruso é calculado em uma etapa S51c adaptando uma função gaussiana G_n ao veículo ou objeto aéreo intruso na imagem n . A adaptação da função gaussiana G_n é realizada de tal modo que um erro entre a função gaussiana, G_n , e o objeto na imagem n na terceira sequência de imagens entre T_0 e T_1 seja minimizado. A amplitude inicial A_{in} e o tamanho inicial, σ_{Xin} , σ_{Yin} são usados como parâmetros iniciais para a função gaussiana. Os valores iniciais X_{in} e Y_{in} para a posição da função gaussiana também são necessários. Nas modalidades da invenção, encontra-se o local da função gaussiana, isto é, os valores médios X e Y supostos localizados no centro da imagem n visto que o rastreador nesta modalidade centraliza o veículo aéreo intruso do objeto na imagem n . Nesta modalidade, os valores iniciais X_{in} e Y_{in} são ajustados ao centro da imagem n .

[00048] Em outras modalidades da invenção, encontram-se vários tamanhos, σ_{Xn} , σ_{Yn} , a partir de várias imagens $n-2$, $n-1$, n filtradas de modo a se obter um tamanho filtrado, σ_{XF} , σ_{YF} . Uma vantagem obtida filtrando vários tamanhos σ_{Xn} , σ_{Yn} , a partir de várias imagens $n-2$, $n-1$, n é que se pode obter uma melhor estimativa do tamanho do veículo ou objeto aéreo, o tamanho filtrado σ_{XF} , σ_{YF} .

[00049] Conforme mencionado anteriormente, o método de ajuste gaussiano fornece uma boa estimativa do tamanho em uma imagem dos veículos ou objetos aéreos, se o veículo aéreo do objeto estiver afastado do veículo. Quando o veículo aéreo do objeto estiver afastado do veículo, o veículo ou objeto aéreo é mais semelhante à função gaussiana do que quando o veículo ou objeto aéreo estiver mais próximo do veículo. Durante um cenário de aproximação, o veículo ou

objeto aéreo se torna mais detalhado e menos semelhante a uma função gaussiana. Portanto, o tamanho do veículo ou objeto aéreo precisa ser estimado de outra maneira em uma faixa mais próxima.

[00050] A ideia de acordo com a presente invenção consiste, portanto, em utilizar o valor do tempo para chegada calculado na etapa S52 para atualizar o tamanho σ_{Xn+1} , σ_{Yn+1} para imagens consecutivas **n+1**. Visto que o valor do tempo para chegada calculado em um ponto de tempo T_1 é calculado utilizando o fator escalar $S_{i, MAX}$, o valor do tempo para chegada contém informações sobre a alteração escalar do veículo ou objeto aéreo intruso no ponto de tempo T_1 . Se uma imagem **n+1** corresponder ao ponto de tempo T_1 , então, o valor do tempo para chegada para T_1 contém informações sobre a alteração escalar que pode ser usada para atualizar o tamanho calculado σ_{Xn} , σ_{Yn} na imagem **n** do veículo aéreo intruso do objeto.

[00051] Se o tamanho do veículo ou objeto aéreo intruso em uma imagem **n** for calculado na etapa S51c. O valor do tempo para chegada TTG_{n+1} calculado para a imagem **n+1** pode ser usado para atualizar o tamanho do veículo aéreo intruso do objeto.

[00052] Com a finalidade de atualizar o tamanho σ_{Xn+1} , σ_{Yn+1} com base no tempo para chegada **TTG**_{n+1}, as fórmulas a seguir podem ser usadas em uma etapa S53 (não mostrada), após a etapa de cálculo do tempo para chegada.

$$(1) \quad \sigma_{Xn+1} = \sigma_{Xn} (TTG_{n+1} + 1/f) / TTG_{n+1}$$

$$(2) \quad \sigma_{Yn+1} = \sigma_{Yn} (TTG_{n+1} + 1/f) / TTG_{n+1}$$

[00053] Onde σ_{Yn} , σ_{Xn} é o tamanho do veículo aéreo intruso do objeto na imagem **n** e f é a frequência da imagem. Em outras modalidades da invenção, encontra-se o tamanho filtrado σ_{XF} , σ_{YF} usado ao invés do tamanho σ_{Xn} , σ_{Yn} ao atualizar o tamanho na etapa S53.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para calcular um valor do Tempo para Chegada, TTG, entre um veículo e um objeto intruso, caracterizado pelo dito método compreender:

- uma etapa de restauração (S43) de restaurar uma primeira imagem do dito objeto intruso em um primeiro ponto de tempo, T_0 , e uma segunda imagem do dito objeto intruso em um segundo ponto de tempo, T_1 ;

- uma etapa de filtração (S44) de filtrar a dita primeira imagem e a dita segunda imagem para remover a dependência de uma energia de sinal absoluto na primeira imagem e na segunda imagem;

- uma etapa de ajuste (S45) de ajustar uma posição fracionária de pixel X , X_{FRAC} , para zero e uma posição fracionária de pixel Y , Y_{FRAC} , para zero, onde X_{FRAC} denota um deslocamento horizontal em nível de subpixel e Y_{FRAC} um deslocamento vertical em nível de subpixel; selecionar um fator escalar, S_i ;

- uma etapa de escalonar (S46) de ajustar a dita segunda imagem com o dito fator escalar, S_i , e reamostrar a dita imagem escalonada à posição X_{FRAC} e Y_{FRAC} ; resultando em uma imagem escalonada reamostrada, RS_{il} ;

- uma etapa de cálculo (S47) de calcular os valores de correlação, $C_{XPIX, YPIX, i}$, entre a dita primeira imagem e a dita imagem escalonada reamostrada, RS_{il} , para diferentes deslocamentos horizontais em nível de pixel, X_{PIX} , e diferentes deslocamentos verticais em nível de pixel, Y_{PIX} , para a dita imagem escalonada reamostrada RS_{il} ;

- uma etapa de encontro (S48) de encontrar um valor máximo de correlação em nível de subpixel, C_i , com base nos ditos valores de correlação, $C_{XPIX, YPIX, i}$, e atualizar X_{FRAC} e Y_{FRAC} ;

- uma primeira etapa de ajuste (S49) de ajustar $j = j + 1$ e

repetir as etapas de escalonar (S46), de cálculo (S47), de encontro (S48) e de ajuste (S49) um primeiro número predeterminado de vezes;

- uma segunda etapa de ajuste (S50) de ajustar $i = i + 1$ e repetir as etapas de ajuste (S45), de escalonar (S46), de cálculo (S47), de encontro (S48), de primeiro ajuste (S49) e de segundo ajuste (S50) um segundo número predeterminado de vezes;

- uma etapa de encontro (S51) de encontrar um maior valor máximo de correlação, C_{MAX} , entre os ditos valores máximos de correlação, C_i , e o fator escalar $S_{i, MAX}$ associado ao maior valor máximo de correlação C_{MAX} ; e

- uma etapa de cálculo (S52) de calcular o Tempo para Chegada, TTG, com base no dito fator escalar $S_{i, MAX}$

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o Tempo para Chegada, TTG, é calculado como sendo inversamente proporcional ao fator escalar $S_{i, MAX}$.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o Tempo para Chegada, TTG, é calculado utilizando a fórmula:

$$TTG = S_{i, MAX} * (T_1 - T_0) / (1 - S_{i, MAX});$$

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que compreende ainda, antes da dita etapa de restauração (S43), uma etapa de detectar (S41) o dito objeto em uma primeira sequência de imagens a partir de uma câmera que cria uma segunda sequência de imagens, na qual as imagens são associadas às informações sobre os objetos detectados, e em que a dita etapa de restauração (S43) compreende restaurar a dita primeira e a dita segunda imagens a partir da segunda sequência de imagens.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que compreende ainda, antes da dita etapa de restauração (S43), uma etapa de detectar (S41) o dito objeto

em uma primeira sequência de imagens a partir de uma câmera que cria uma segunda sequência de imagens na qual cada uma das imagens é associada às informações sobre os objetos detectados, e após a dita etapa de detecção (S41), uma etapa de rastrear (S42) o dito objeto na dita segunda sequência de imagens, criando uma terceira sequência de imagens, na qual o dito objeto é centralizado nas imagens, e em que a dita etapa de restauração (S43) compreende restaurar a dita primeira e a dita segunda imagens a partir da terceira sequência de imagens.

6. Método, de acordo com a reivindicação 4 ou 5, caracterizado pelo fato de que o dito método compreende ainda, antes da dita etapa de calcular (S52) o Tempo para Chegada, TTG, uma etapa de estimar pelo menos um tamanho inicial, σ_{Xin} , σ_{Yin} , do dito objeto em uma imagem n na dita segunda sequência de imagens entre T_0 e T_1 .

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o dito método compreende, ainda, uma etapa de estimar pelo menos uma amplitude inicial, A_{in} , após a dita etapa de estimar um tamanho inicial, de uma função gaussiana calculando uma diferença entre uma média de um plano de fundo e uma média do dito objeto na dita imagem n na terceira sequência de imagens entre T_0 e T_1 .

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o dito método compreende, ainda, uma etapa de calcular pelo menos um tamanho, σ_{Xn} , σ_{Yn} , após a dita etapa de estimar uma amplitude inicial, determinando uma função gaussiana, G_n , de tal modo que um erro entre a dita função gaussiana, G_n , e o dito objeto na dita imagem n na terceira sequência de imagens entre T_0 e T_1 seja minimizado, onde a dita amplitude inicial A_{in} e o dito tamanho inicial, σ_{Xin} , σ_{Yin} são usados como parâmetros iniciais para a dita função gaussiana.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o dito método de calcular um tamanho compreende,

ainda, filtrar vários tamanhos, σ_{Xn} , σ_{Yn} , a partir de várias imagens e obtendo desse modo um tamanho filtrado, σ_{XF} , σ_{YF} .

10. Método, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o dito método compreende, ainda, uma etapa de atualizar o dito tamanho σ_{Xn+1} , σ_{Yn+1} para imagens consecutivas **n+1** na dita terceira sequência com base no dito tamanho σ_{Xn} , σ_{Yn} na dita imagem n utilizando as fórmulas:

$$\sigma_{Xn+1} = \sigma_{Xn} (TTG_{n+1} + 1/f) / TTG_{n+1}$$

$$\sigma_{Yn+1} = \sigma_{Yn} (TTG_{n+1} + 1/f) / TTG_{n+1}$$

em que f é uma frequência de imagem entre as imagens consecutivas.

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que na dita etapa de atualizar o tamanho, o dito tamanho filtrado, σ_{XF} , σ_{YF} , é usado como um valor inicial.

12. Sistema para calcular um valor do Tempo para Chegada, TTG, entre um veículo e um objeto intruso, caracterizado pelo fato de o dito sistema compreender: um meio de memória e um meio de processamento, em que o meio de processamento realiza o método como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 11.

Fig. 1

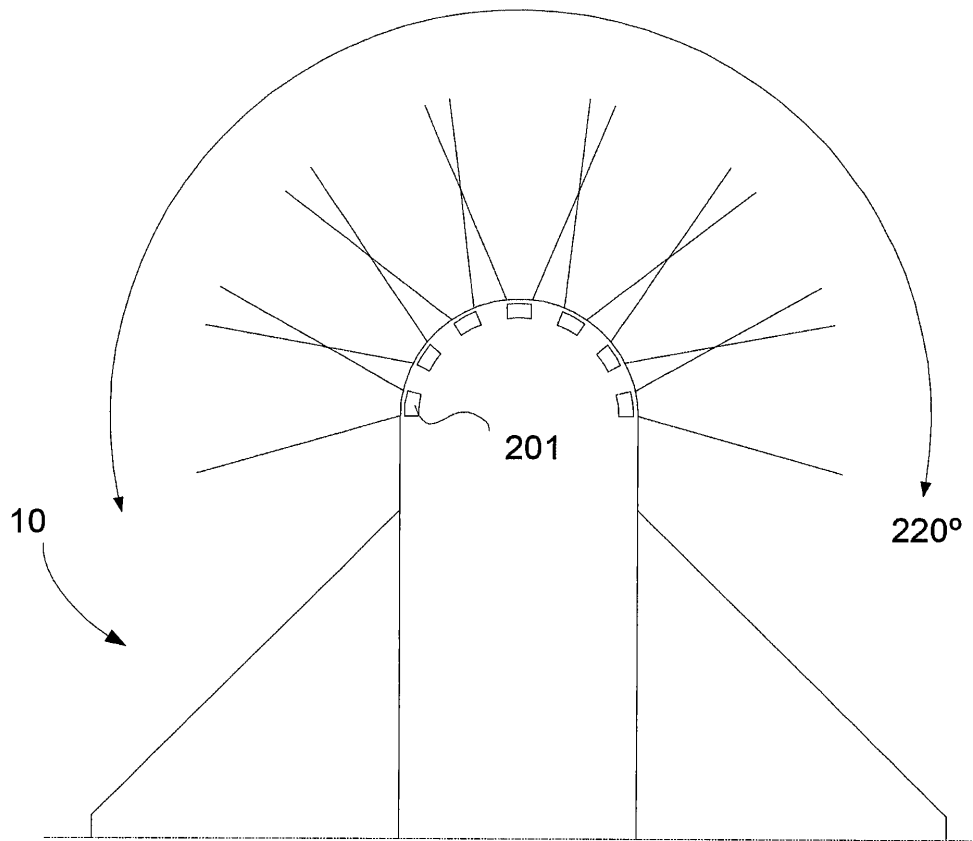


Fig. 2

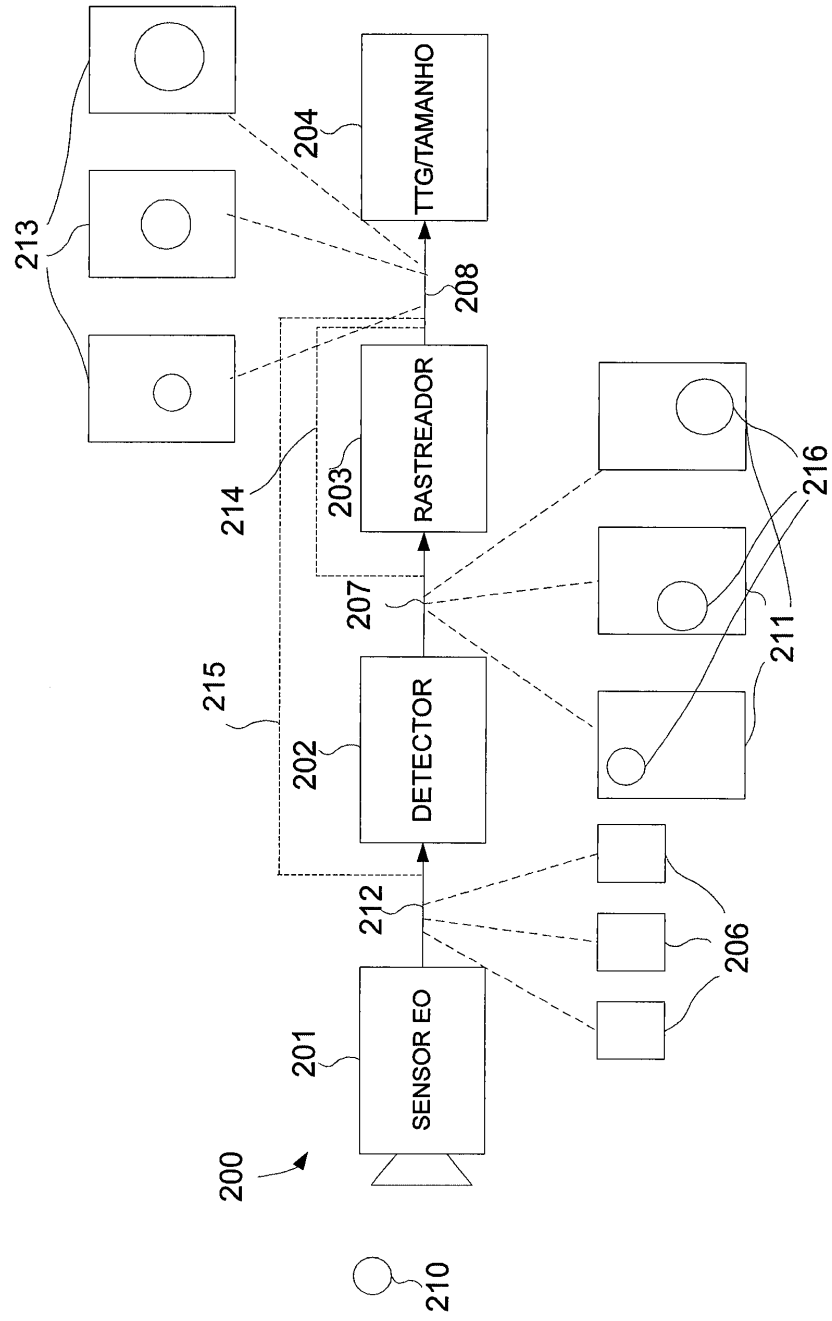


Fig. 3

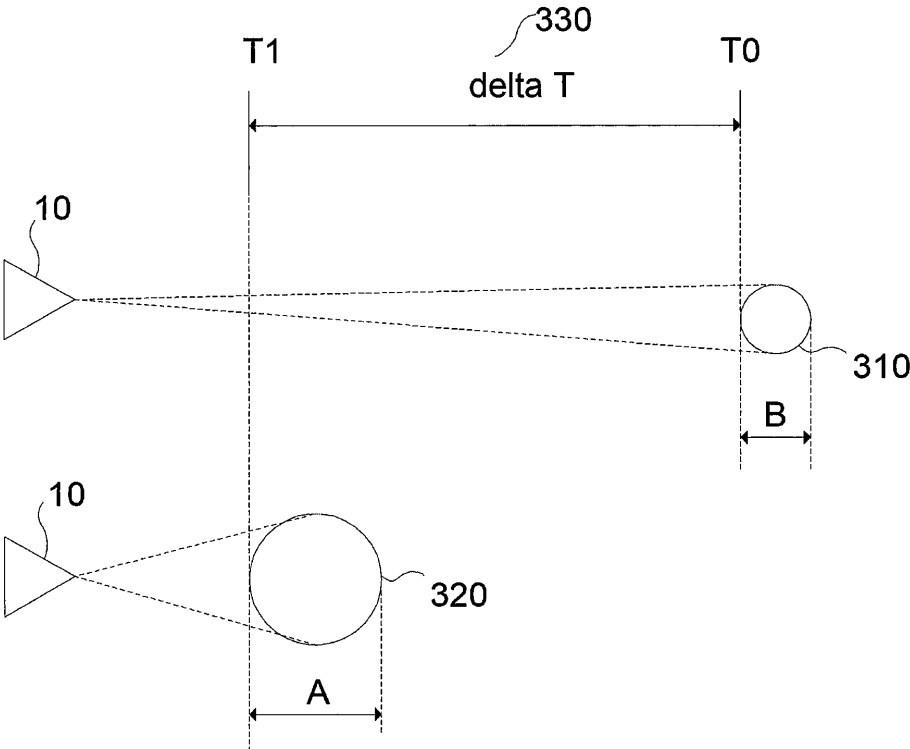


Fig. 4

