

(12) PEDIDO INTERNACIONAL PUBLICADO SOB O TRATADO DE COOPERAÇÃO EM MATÉRIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organização Mundial da
Propriedade Intelectual
Secretaria Internacional

(43) Data de Publicação Internacional
09 de Julho de 2020 (09.07.2020)



(10) Número de Publicação Internacional
WO 2020/140141 A1

(51) Classificação Internacional de Patentes:
G01S 13/90 (2006.01)

(21) Número do Pedido Internacional:

PCT/BR2018/050491

(22) Data do Depósito Internacional:

30 de Dezembro de 2018 (30.12.2018)

(25) Língua de Depósito Internacional: Português

(26) Língua de Publicação: Português

(61) Aparentado/a por adição a um pedido anterior ou patente:

BR BR 10 2017 013226 9 (COA)
Depositado em 19 de Junho de 2017 (19.06.2017)

(71) Requerente: T - JUMP TECNOLOGIAS LTDA
[BR/BR]; Rua Veneto (Vila Romana) s/n -casa 40 - Nações,
CEP 13278-260 Valinhos (BR).

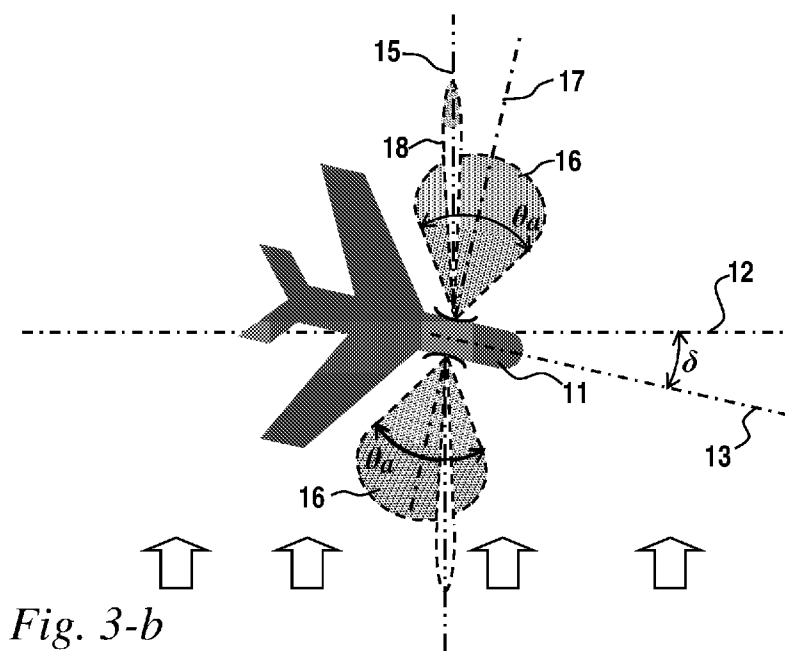
(72) Inventor: FABI MOREIRA, LAILA; Vila Romana, n.o
40 - Bairro Dois Córrego, Valinhos, 13278-260 (BR).

(74) Mandatário: RIBEIRO MAGALHÃES, Cicero; Rua Le-
opoldo Amaral, no 499 - Vila Marieta, CEP 13042-210
Campinas (BR).

(81) Estados Designados (sem indicação contrária, para todos
os tipos de proteção nacional existentes): AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,

(54) Title: RADAR FOR CARTOGRAPHY AND MONITORING

(54) Título: RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO



(57) Abstract: Radar for cartography and monitoring carried by an unmanned aerial vehicle (UAV) (11) using interferometric synthetic-aperture radar (InSAR) with a pulse repetition frequency (PRF) of at least 50 kHz with a peak power of between 1 mW and 1 W, in which the data rate corresponding to the return echoes is reduced by the sum of the data from the same range cells (C_{11} , $C_{2,1}$, $C_{3,1}$, $C_{m,1}$) corresponding to 100 or more return pulses (21, 22, 23, 24). The flight altitude of the UAV above ground level is between 10 and 500 meters and the radiation lobe of the antennas has an azimuth beamwidth (16) of between 20° and 80° and an elevation beamwidth of between 45° and 70°; said antennas have a static orientation and can be built into the physical support of the electronic circuits of the radar. The synthetic-aperture technique can be combined with one or both of the techniques in

(Continua na página seguinte)

OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Estados Designados** (*sem indicação contrária, para todos os tipos de proteção regional existentes*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasiático (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), Europeu (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicado:

- com relatório de pesquisa internacional (Art. 21(3))
- em preto e branco; o pedido internacional tal como depositado contém cores ou níveis de cinza e pode ser baixado do PATENTSCOPE

the group comprising interferometry and polarimetry.

(57) **Resumo:** Radar para cartografia e monitoramento transportado por VANT (veículo aéreo não tripulado) (11) utilizando a técnica de abertura sintética por interferometria SAR, com taxa de repetição de pulsos (PRF) de, no mínimo, 50kHz com uma potência de pico entre 1 miliwatt e 1 watt, onde a taxa de dados correspondentes aos ecos de retorno ser reduzida mediante a soma dos dados das mesmas células de alcance (C_{11} , $C_{2,1}$, $C_{3,1}$, $C_{m,1}$) correspondentes a 100 ou mais pulsos de retorno (21, 22, 23, 24). A altitude de voo do VANT sobre o terreno está compreendida entre 10 e 500 metros e o lóbulo de radiação das antenas tem largura de feixe em azimute (16) compreendida entre 20 e 80 graus, e largura de feixe em elevação compreendida entre 45 e 70 graus, ditas antenas tendo orientação fixa e podendo estar integradas ao suporte físico do conjunto de circuitos eletrônicos do radar. A técnica de abertura sintética poderá ser combinada com uma ou ambas dentre as técnicas do grupo que compreende interferometria e polarimetria.

RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO

[001] Refere-se a presente invenção a um radar de mapeamento de abertura sintética interferométrica de ondas milimétricas de dimensões e peso reduzidos, transportado por VANT (aeronaves não tripuladas) também chamadas de drones.

Antecedentes da invenção

[002] Com o rápido desenvolvimento das tecnologias relegionadas com veículos aéreos não tripulados, a utilização dos mesmos para o mapeamento tem se tornado uma importante técnica para a cartografia. Atualmente, os métodos de mapeamento compreendem as seguintes tecnologias principais:

[003] Cartografia por satélites, utilizando câmeras ou radares, com capacidade para produzir mapas topográficos até a escala de 1:25.000, ou seja, até uma precisão planimétrica de 2,5 m aproximadamente. No caso de serem utilizadas câmeras, a imagem obtida é bidimensional, não sendo possível obter informações relacionadas ao relevo com precisão para a escala de 1:25000. Além disso, sua utilização é limitada à existência de condições climáticas favoráveis, ou seja, ausência de nuvens, nevoeiro ou chuva.

[004] A cartografia utilizando radares transportados por aeronaves, tal como revelado no documento de patente PI0105049-2 intitulado “Método para Produção de Mapas por Técnica de Radar”. Essa tecnologia fornece dados com maior precisão do que por satélites, devido ao fato da aeronave voar bem mais próxima do solo, proporcionando o cálculo da topografia com muito mais precisão e resolução da imagem bem superior que os sensores transportados por satélite. Além disso o uso de radares não está sujeito à influência de fatores atmosféricos desfavoráveis. Outras vantagens são o fato de dispor de muito mais energia do que os satélites, e maior capacidade de aquisição de dados brutos. Em comparação com a cartografia por satélites,

que é de média precisão, de grande escala de produção e médio custo, a cartografia obtida por aeronaves é de alta precisão, de baixa escala de produção e de alto custo.

[005] No entanto, a necessidade de uma infraestrutura complexa e preparação trabalhosa resulta em alto custo, razão pela qual as áreas mapeadas não podem ser pequenas, tornando tais levantamentos economicamente viáveis apenas para áreas com centenas ou até milhares de quilômetros quadrados, dependendo da escala.

[006] As técnicas atuais não proporcionam viabilidade econômica para execução de aero-levantamentos de pequenas áreas, por exemplo, na faixa de 1 a 1000 quilômetros quadrados nas escalas mais precisas, por exemplo 1:5.000, como também na faixa de 1 a 10.000 quilômetros quadrados nas escalas menos precisas, por exemplo 1:50.000.

Objetivos da invenção

[007] Em vista do exposto, é um objetivo da invenção o provimento de um radar com precisão cartográfica e que atinja a escala 1:5.000 em levantamentos de baixo custo.

[008] Outro objetivo é o provimento de um radar que permita determinar o modelo digital de superfície com precisão de até 10 cm e de terreno com precisão de até 1 metro.

Descrição resumida da invenção

[009] Os objetivos acima, bem como outros, são atingidos mediante o provimento de um sistema radar utilizando a técnica de abertura sintética por interferometria SAR, de tamanho e peso reduzidos transportado por um drone, operando com uma taxa de repetição de pulsos (PRF) de, pelo menos, 100kHz e de potência de pico da ordem de centenas de mW.

[0010] De acordo com outra característica da invenção os dados brutos provenientes das antenas são processados a bordo em tempo real, dito

processamento compreendendo a redução da PRF a ordem de centenas de kHz para valores da ordem de centenas de Hz ou alguns kHz, e correspondente redução da taxa de dados de centenas de Mbytes/s para alguns Mbytes/s.

[0011] De acordo com outra característica da invenção, dito processamento compreende o somatório em um único pulso dos dados brutos correspondentes a uma pluralidade de pulsos.

[0012] De acordo com outra característica da invenção, dito somatório compreende os dados de pelo menos uma centena de pulsos.

[0013] De acordo com outra característica da invenção, a iluminação adequada do terreno mesmo na presença de instabilidades do drone durante o voo é assegurada fazendo as larguras dos feixes emitidos e recebidos pelas antenas (lóbulo) substancialmente maiores do que aquelas normalmente empregadas nos radares aerotransportados ou satelitais.

[0014] De acordo com outra característica da invenção a compensação das variações na orientação na guinada do drone é provida pelo uso de lóbulos com largura de até 70° em azimuth.

[0015] De acordo com outra característica da invenção, a largura do lóbulo das antenas empregadas para determinação da elevação é até 50% maior do que aquela empregada nos sistemas aerotransportados convencionais.

[0016] De acordo com outra característica da invenção, a seleção dos sinais de retorno na direção desejada, qual seja, a perpendicular à direção de voo, é provida pela filtragem daqueles sinais nos quais o efeito Doppler é próximo a Doppler-Zero ou a 0Hz de frequência Doppler.

[0017] De acordo com outra característica da invenção a seleção dos sinais em que o efeito Doppler é pequeno e a largura da banda é igual ou inferior a 150Hz, dita banda estando centrada em Doppler-Zero, é provida

pela passagem dos sinais de retorno pelo circuito que efetua dito somatório, o qual equivale a um filtro passa-baixa com a banda de passagem centrada em Doppler-Zero na frequência dos pulsos transmitidos e largura de banda passante da ordem de 150Hz.

[0018] De acordo com outra característica da invenção, as instabilidades angulares do drone são também compensadas pelo dito somatório, onde o feixe de sinais ortogonal à linha de vôo, caracterizado pelo efeito Doppler-Zero (ou seja, cuja frequência é pouco modificada pelo efeito Doppler até próximo de $\pm 80\text{Hz}$) é sempre iluminado pela antena, devido à grande amplitude do respectivo lóbulo de radiação. O dito somatório também efetivamente reduz o PRF de centenas de kHz para centenas ou alguns milhares de Hz.

[0019] De acordo com outra característica da invenção, a compensação das oscilações do drone é provida pela soma das amplitudes dos dados brutos correspondentes a uma pluralidade de sinais de retorno (dita soma sendo efetivamente equivalente à redução de PRF).

[0020] De acordo com outra característica da invenção, a altura do drone em relação ao solo é de 10 a 500 metros.

[0021] De acordo com outra característica da invenção, dito sistema radar opera entre as frequências de 10MHz e 35GHz.

[0022] De acordo com outra característica da invenção, dito sistema radar opera em uma ou mais dentre as bandas do grupo que compreende as bandas C, L, P, X e S.

[0023] De acordo com outra característica da invenção, o processo de determinação do modelo de superfície utiliza duas antenas operando na banda C, verticalmente dispostas, o espaçamento entre as mesmas formando uma linha de base para a dita determinação por meio de interferometria.

[0024] De acordo com outra característica da invenção, o processo de

determinação do modelo do terreno utiliza duas antenas operando na banda P, verticalmente ou horizontalmente dispostas, o espaçamento entre as mesmas formando uma linha de base para a dita determinação por meio de interferometria.

[0025] De acordo com outra característica da invenção, a classificação da cobertura vegetal utiliza duas antenas operando na banda L, uma das quais operando com polarização horizontal e a outra com polarização vertical, permitindo atuar com as polarizações VV, VH, HH e HV, onde a primeira polarização é aquela adotada na recepção e a segunda na transmissão.

Descrição das figuras

[0026] As demais características e vantagens da invenção tornar-se-ão mais evidentes através da descrição de uma concretização exemplificativa não limitativa das figuras que a ela se referem nas quais:

[0027] A figura 1 é um diagrama simplificado do sistema de radar da invenção.

[0028] A figura 2 é um diagrama detalhado, em blocos, de uma das bandas do radar.

[0029] As figuras 3-a e 3-b ilustram o comportamento dos sinais de radar em azimuth, num drone de asa fixa sujeito à ação de vento lateral.

[0030] A figura 4 esquematiza a operação do circuito somador para redução do PRF.

Descrição detalhada de uma concretização preferida

[0031] O sistema proposto compreende a utilização de drones e VANT remotamente pilotados, da classe 3 ou seja, com peso total máximo de 25kg. Nessa aeronave são instalados dois radares de visada lateral para a esquerda e para a direita, cuja linha de visada é ortogonal ao eixo longitudinal da aeronave.

[0032] As alturas de vôo sobre o terreno são, preferencialmente, as

seguintes:

- 120m (400 pés) para cartografia de maior precisão, ou seja, nas escalas de 1:500 a 1:5000;
- 180m (600 pés) para cartografia de alta/média precisão, ou seja, nas escalas de 1:10.000 a 1:25.000;
- 450m (1500 pés) para cartografia de média precisão, ou seja, até a escala de 1:50.000.

[0033] A banda C, com frequências da ordem de 5GHz, é utilizada para levantamento do modelo de superfície, ou seja, o dossel da vegetação. A banda P, com frequências da ordem de 400MHz, permite levantar o modelo do terreno sob a vegetação. A banda L, com frequências da ordem de 1 a 2 GHz permite classificar a vegetação.

[0034] A Fig. 1 é um diagrama simplificado do radar, que compreende uma parte analógica e uma parte digital. A parte analógica compreende as antenas bem como o subsistema de rádio frequência, representado na figura pelo bloco 150. Na concretização exemplificativa ilustrada, as antenas utilizadas são as seguintes: 4 antenas para operação na banda C, sendo duas para cada lado (uma Tx/Rx e outra Rx), um par de antenas para operação na banda L e um par de antenas para operação na banda P, entendendo-se que cada par de antenas está associado a um circuito específico.

[0035] De acordo com a invenção é ainda provida uma plataforma inercial 403, denominada de IMU (Inertial Measurement Unit) a qual mede as acelerações e as rotações nos 3 eixos. Os dados fornecidos por essa plataforma são gravados em memória de estado sólido. Junto com o receptor GPS 401 e respectiva antena 402, ela forma o conjunto de sensores de navegação 400.

[0036] A parte digital 300 executa as funções de geração do sinal digital de transmissão Tx; os sinais analógicos recebidos por cada uma das antenas

de cada par, representados no esquema por Rx1 e Rx2 são digitalizados e submetidos a um tratamento em que há uma significativa redução da taxa de dados, simultaneamente com uma compensação das instabilidades e oscilações da orientação do drone durante o voo. Os dados resultantes são gravados em memória de estado sólido 310 ou transmitidos via transceptor de RF 320 e respectiva antena 321 para o controle terrestre, assegurando a integridade dos dados levantados no caso de eventual acidente com o drone. Adicionalmente, dita parte digital coordena o funcionamento dos circuitos bem como a operação do drone.

[0037] A Fig. 2 apresenta o diagrama em blocos de uma das bandas do radar, segundo detalhado a seguir:

- a) o sinal a ser transmitido, previamente gravado na memória de estado sólido 301 é encaminhado ao conversor digital-analógico D/A 207, que gera o sinal analógico correspondente;
- b) dito sinal analógico passa pelo filtro 205 que elimina os espúrios da conversão, indo a seguir para o misturador 203, onde, através do batimento desse sinal com a frequência do oscilador 201, ocorre sua transposição para a frequência do radar, ou seja, banda C, L ou P, conforme o caso;
- c) após filtragem pelo filtro 105 que elimina os espúrios dessa conversão, o sinal na banda de interesse é amplificado para a potência desejada pelo amplificador 104 e encaminhado, através da chave 103, para a primeira antena 101 do par de antenas utilizado para operação em cada uma das bandas C, L ou P;
- d) a chave 103 viabiliza o uso de uma única antena 101 para duas funções: com a armadura móvel na posição **a**, a antena

transmite o sinal amplificado pelo amplificador 104; com a armadura móvel na posição **b**, a antena passa a receber o retorno (eco) do sinal radar, o qual é filtrado pelo filtro passa-faixa 102, de modo a eliminar o ruído e interferências que estejam fora da banda de recepção do radar;

- e) uma vez filtrado e amplificado pelo amplificador 106, o sinal de retorno tem sua frequência reduzida por meio do seu batimento, no misturador 204, com o sinal CW produzido pelo oscilador local 202;
- f) após eliminação dos espúrios pelo filtro 206, ocorre a conversão em sinal digital por meio do conversor A/D 208;
- g) esse sinal digitalizado é então submetido a um tratamento no somador 302 que permite compensar os efeitos das oscilações do drone durante o voo, provendo ainda a redução da taxa de repetição dos dados brutos, conforme será descrito em detalhe mais adiante;
- h) o sinal de retorno captado pela segunda antena 111 do par é submetido ao tratamento definido nas etapas (e) a (h) acima, sendo os dados obtidos na saída do somador 312 gravados na memória de estado sólido 313, assim como são gravados na memória 303 os dados correspondentes ao primeiro canal fornecidos pelo somador 302.

[0038] Além de utilizar a técnica SAR, a mesma poderá ser combinada com técnicas polarimétrica ou interferométrica, ou ambas.

[0039] Além de serem gravados nas referidas memórias, os dados obtidos por meio do radar podem ser transmitidos para um controle no solo, por meio de um enlace de radiofrequência.

[0040] A seguir, serão expostos em detalhe os meios utilizados na

invenção para compensar as irregularidades na orientação da aeronave durante o voo.

[0041] Preferencialmente, a invenção utiliza antenas de orientação fixa, não necessitando, portanto, de uma estabilização de apontamento. No caso da banda C, por exemplo, a antena está integrada ao suporte físico dos circuitos eletrônicos, ou seja, à placa de circuito impresso, constituindo uma antena tipo *patch*.

[0042] A Fig. 3-a ilustra um drone de asa fixa 11 em cujas laterais estão instaladas duas antenas que irradiam e recebem feixes 14 de largura α cujo valor típico é da ordem de 8° , ditos feixes estando orientados perpendicularmente ao eixo longitudinal 13 da aeronave. Quando existirem ventos de través, estes tendem a desviar o drone da linha de voo programada 12, fazendo com que o processamento em solo seja extremamente complexo e demorado, aumentando sensivelmente os custos.

[0043] Ademais, o vento de través pode apresentar uma intensidade variável, fato este frequentemente observado nos ventos de superfície e na altitude de operação do drone: nesse caso, a inconstância do vento obrigará a uma contínua variação do ângulo de guinada δ , resultando uma oscilação contínua na orientação dos feixes 14, comprometendo a confiabilidade dos dados colhidos pelo radar.

[0044] Tal inconveniente faz com que os sistemas atualmente conhecidos somente possam operar em condições meteorológicas favoráveis, ou seja, com pouco ou nenhum vento, reduzindo de forma substancial o número de dias aproveitáveis para efetuar os mapeamentos. Caso contrário, o processamento passa a ser demorado e complexo.

[0045] A presente invenção compreende meios que permitem realizar os levantamentos independentemente das condições atmosféricas, reduzindo ao mínimo a quantidade de dias considerados desfavoráveis. Tais meios

abrançam uma ampliação do lóbulo de radiação da antena em azimuth, complementado pelo tratamento dado às informações colhidas pela mesma.

[0046] Segundo exemplificado na Fig. 3-b, o lóbulo de varredura horizontal 16 ampliado abrange um ângulo θ_a com cerca de 70° de largura, o que permite acomodar em seu interior, além do rumo 17 correspondente ao eixo do lóbulo 16, o lóbulo 18, perpendicular à linha de vôo 12, mesmo no caso de valores elevados do ângulo de guinada δ .

[0047] No entanto, a ampliação do lóbulo traz como consequência a captação de sinais de eco radar correspondentes a um amplo leque angular, em lugar do requerido feixe estreito. Assim, torna-se necessário separar, dentre os ecos provenientes da multiplicidade de ângulos abrangidos pelo lóbulo 16, aqueles ecos de interesse, ou seja, aqueles correspondentes ao rumo 15 perpendicular à linha de vôo.

[0048] A diferenciação dos ecos de interesse dos demais ecos utiliza a propriedade dos sinais eletromagnéticos de terem sua frequência modificada pelo efeito Doppler, originado pela existência de uma componente de propagação desses sinais na direção paralela àquela da linha de vôo. Assim, por exemplo, e de acordo com o evidenciado no detalhe da Fig. 3-a, a direção d de propagação dos sinais do lóbulo 14 compreende duas componentes ortogonais de direção, a primeira delas p perpendicular à linha de vôo 12 e a segunda v , paralela a essa mesma linha.

[0049] Verifica-se, portanto, que o efeito Doppler sobre os sinais de radar devido à dita segunda componente v será tanto mais acentuado quanto maior for o ângulo que a direção de propagação faz com a perpendicular à linha 12. Disso resulta que os sinais que se propagam na direção 15, perpendicular à linha de vôo e onde a componente $v = 0$, não terão sua frequência afetada pelo efeito Doppler, o qual, todavia, irá influir nas frequências dos sinais que se propagam em todas as outras direções.

[0050] Assim sendo, é realizada uma primeira filtragem dos ecos de radar pelos filtros passa-banda 102 e 112, os quais são reponsáveis pela filtragem do ruído térmico, das interferências e permite a passagem do sinal de retorno dentro da banda de trabalho do radar, que é em torno de 400MHz para a banda C, 175MHz para a banda L e 100Mhz para a banda P.

[0051] A seleção dos ecos radar correspondentes à direção 15 é feita mediante os circuitos somadores 302 e 312, eliminando todos os sinais com frequências fora da banda Doppler.

[0052] A segunda fase do tratamento dos sinais de retorno do radar ocorre nos blocos 302 e 312 (ver Fig. 2), e resulta numa substancial redução da taxa de dados. A referida soma está esquematizada na Fig. 4 onde 21, 22, 23... 24 indicam cada uma das linhas de retorno do sinal radar. Cada linha está formada por **n** células de alcance: a célula $C_{1,1}$ é aquela mais próxima ao radar e a célula $C_{1,n}$ é aquela mais distante. Na segunda linha, a célula $C_{2,1}$ é aquela da segunda linha mais próxima do radar e a célula $C_{2,n}$ é aquela mais afastada, e assim por diante.

[0053] A soma é feita separadamente para cada célula de alcance, ou seja, a primeira célula de alcance de cada linha é somada com a primeira célula de alcance da segunda, terceira, quarta linhas etc., até a primeira célula de alcance da linha **m** que em conjunto compõem o bloco 25, dando como resultado a primeira célula da primeira linha de saída 26 do somador, ou seja:

$$C_{1,1} + C_{2,1} + C_{3,1} + + C_{m,1} = D_{1,1}$$

[0054] As células seguintes da primeira linha da saída do bloco somador 302 ou 312 são obtidas de modo semelhante:

$$C_{1,2} + C_{2,2} + C_{3,2} + + C_{m,2} = D_{1,2}$$

.....

$$C_{1,n} + C_{2,n} + C_{3,n} + + C_{m,n} = D_{1,n}$$

[0055] Devido à largura do lóbulo θ_a , o sistema opera com alta taxa de

repetição de pulsos (PRF), da ordem de centenas de kHz, o que gera uma elevada taxa de dados, uma vez que a cada pulso correspondem **n** células. Assim, por exemplo, no caso de PRF = 225kHz e **n** = 1000, a taxa de dados é da ordem de 4000kBytes/s. No caso dos dados contidos em cada célula compreender 1 byte de 8 bits – resolução de 256 níveis – ter-se-á uma taxa de 1,8Gbits/seg.

[0056] Adotando-se um fator de redução de, por exemplo, **m** = 1500, chega-se a uma frequência de repetição de pulsos na saída do referido bloco da ordem de centenas de Hz. Assim, adotando-se os valores exemplificativos acima, a taxa de repetição de pulsos cai para 150kHz e a taxa de dados vai a 1,2 Mbits/seg.

[0057] A título de esclarecimento, serão apresentadas a seguir algumas considerações adicionais referentes ao tratamento dos sinais de eco de retorno do radar, bem como as fórmulas relevantes.

[0058] A primeira dessas fórmulas, abaixo, relaciona a resolução em azimute com a velocidade do drone e a largura de banda Doppler:

$$\delta_a = \frac{V}{B_a} \quad (I)$$

Onde

δ_a é a resolução do azimute em metros;

V é a velocidade do drone em m/s;

B_a é a largura de banda Doppler em Hz necessária para alcançar a resolução δ_a , ou seja:

$$B_a = V / \delta_a \quad (Ia)$$

[0059] A segunda fórmula relaciona a banda Doppler total, a largura do lóbulo de radiação da antena, a velocidade do drone e o comprimento de onda, a saber:

$$B_t = \frac{2 \cdot V \cdot \theta_a}{\lambda} \quad (II)$$

Onde

B_t é a banda Doppler total;

V é a velocidade do drone em m/seg;

θ_a é o ângulo de abertura do lóbulo da antena, em radianos;

λ é o comprimento de onda em metros.

[0060] A terceira fórmula relaciona o número de pulsos m e a frequência de repetição de pulsos com a largura de banda na saída do estágio somatório, a saber:

$$B_s = \frac{\text{PRF}}{m} \quad (\text{III})$$

Onde

B_s é a largura de banda em Hz na saída do estágio somatório;

PRF é a frequência de repetição de pulsos em Hz;

m é o número de pulsos de entrada que são somados para obter um pulso de saída.

[0061] Considerando-se, por exemplo, que a velocidade do drone seja de 100 km/h, equivalente a 27,8 m/s e a resolução desejada seja de 18,5 cm, equivalente a 0,185 metro, a fórmula (I) fornece:

$$B_a = 27,8 / 0,185 = 150 \text{ Hz}$$

[0062] Para se ter certeza que a banda Doppler total B_t será suficiente para acomodar a banda B_a , utiliza-se a fórmula (II) inserindo os valores numéricos, a saber:

Velocidade do drone 2,8 m/s

Ângulo de abertura 1,23 radianos

Comprimento de onda (considerando a banda C) 5,5 cm = 0,055 metro

Obtém-se

$$B_t = (2 \cdot 27,8 \cdot 1,23) / 0,055 = 1243 \text{ Hz}$$

[0063] Verifica-se, portanto, que a banda Doppler da antena B_t de 1243 Hz é substancialmente maior do que a banda B_a de 150 Hz que é aquela

necessária para obter uma resolução de 18,5 cm em azimuth. Consequentemente, a direção do apontamento não é crítica, uma vez que mesmo no caso de pequenos desvios, a banda Doppler B_a necessária de 150 Hz estará incluída dentro da banda B_t da antena.

[0064] Para se obter uma potência média elevada utilizando uma baixa potência de pico de transmissão, o radar trabalha com alto PRF. No caso de um PRF de 225 kHz, pode-se amostrar uma banda Doppler de até 225 kHz, representando o sinal em forma complexa, ou seja, com uma parte real e uma imaginária.

[0065] Pela equação (II) sabe-se que a banda Doppler B_t do radar é de aproximadamente 1200 Hz e pela equação (I) que a banda Doppler B_a necessária é de apenas 150 Hz. Assim, o valor de PRF pode ser ajustado de modo a se obter a banda B_a , que é aquela necessária para resultar uma resolução em azimuth de 18,5 cm. Considerando esse valor de B_a e um PRF de 225 kHz, a equação (III) fornece um valor de $m = 1500$.

[0028] É importante ressaltar que só os estágios somatórios 302/312 reduzem a banda Doppler. Os filtros de entrada 102/112 não tem capacidade de poder filtrar de forma tão estreita, uma vez que estão centrados em 5 GHz.

[0066] Após o tratamento dos sinais pelos somadores 302 e 312, as informações resultantes são armazenadas nas memórias de estado sólido 303 e 313, ditas informações sendo utilizadas para a elaboração dos mapas. Para tal, podem ser processadas de diversas maneiras, como por exemplo, pela técnica ensinada no documento PI PI0105049-2 intitulado “Método para Produção de Mapas por Técnica de Radar”, podendo ainda ser empregadas outras técnicas disponíveis no mercado.

[0067] O controlador 304 comanda a chave 103 e controla a temporização de todo os blocos que compõem o radar.

[0068] Se bem que a invenção tenha sido detalhada fazendo referência a

uma concretização exemplificativa específica, fica entendido que são permitidas modificações e alterações no seu objeto, desde que incluídas no conceito inventivo ora revelado. Uma dessas modificações se refere ao emprego de um drone de asas rotativas em lugar do drone de asa fixa como esquematizado nas figuras 3-a e 3-b, no qual as antenas são fixadas nas laterais da fuselagem. No drone de asas rotativas, as antenas serão fixadas na parte inferior do corpo, o que não altera os princípios e métodos da invenção.

[0069] De acordo, a invenção se encontra descrita e delimitada pelo conjunto de reivindicações que se segue.

REIVINDICAÇÕES

1. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** transportado por VANT (veículo aéreo não tripulado) (11) **caracterizado** pelo fato de operar utilizando a técnica de abertura sintética por interferometria SAR, com taxa de repetição de pulsos (PRF) de, no mínimo, 50kHz com uma potência de pico entre 1 miliwatt e 1 watt, e pelo fato de a taxa de dados correspondentes aos ecos de retorno ser reduzida mediante a soma dos dados das mesmas células de alcance (C_{11} , $C_{2,1}$, $C_{3,1}$, $C_{m,1}$) correspondentes a uma pluralidade de pulsos de retorno (21, 22, 23, 24).

2. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com a reivindicação 1, adicionalmente **caracterizado** pelo fato da altitude de voo do VANT sobre o terreno estar compreendida entre 10 e 500 metros.

3. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de dita soma (27, 28, 29) dos dados das mesmas células de alcance ser efetuada para 100 ou mais pulsos de retorno (21, 22, 23, 24).

4. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de o lóbulo de radiação das antenas ter largura de feixe em azimuth (16) compreendida entre 20 e 80 graus, e largura de feixe em elevação compreendida entre 45 e 70 graus.

5. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com as reivindicações 1 ou 4, **caracterizado** pelo fato de a antena (101, 111) ter orientação fixa.

6. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com as reivindicações 1 ou 4, **caracterizado** pelo fato de a antena estar integrada ao suporte físico do conjunto de circuitos eletrônicos do radar.

7. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com as reivindicações 1, 3 ou 4, **caracterizado** pelo fato de serem processados os dados correspondentes aos ecos de retorno recebidos de uma direção (15) substancialmente ortogonal à linha de vôo (12).

8. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de serem processados os dados correspondentes aos ecos de retorno com frequência igual à frequência de transmissão $\pm 80\text{Hz}$.

9. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com a reivindicação 1 ou 3, **caracterizado** pelo fato dos dados resultantes da soma dos dados de uma pluralidade de pulsos de retorno serem gravados em memória de estado sólido (303, 313).

10. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com a reivindicação 1 ou 3, **caracterizado** pelo fato dos dados resultantes da soma dos dados de uma pluralidade de pulsos de retorno serem transmitidos em tempo real para um controle terrestre.

11. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de operar entre as frequências de 10MHz e 35GHz.

12. **RADAR PARA CARTOGRAFIA E MONITORAMENTO** de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de operar com a técnica de abertura sintética combinada com pelo menos uma ou ambas das técnicas do grupo que compreende interferometria e polarimetria.

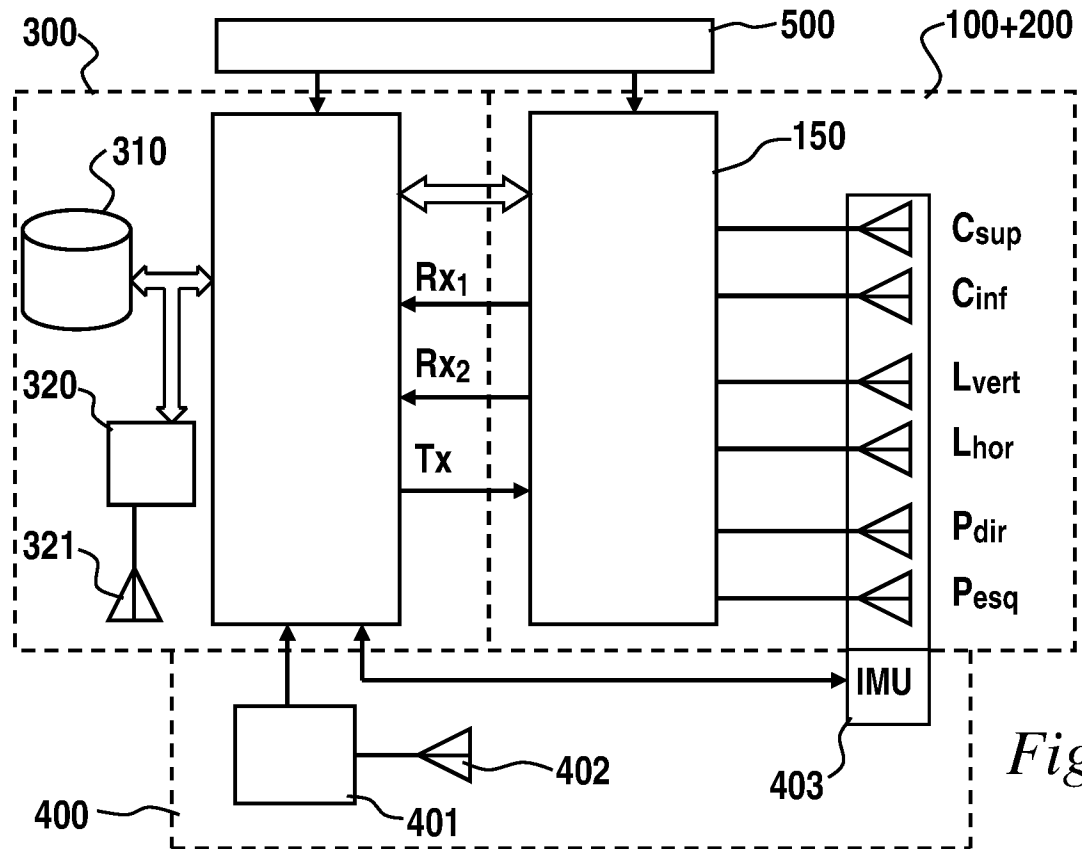


Fig. 1

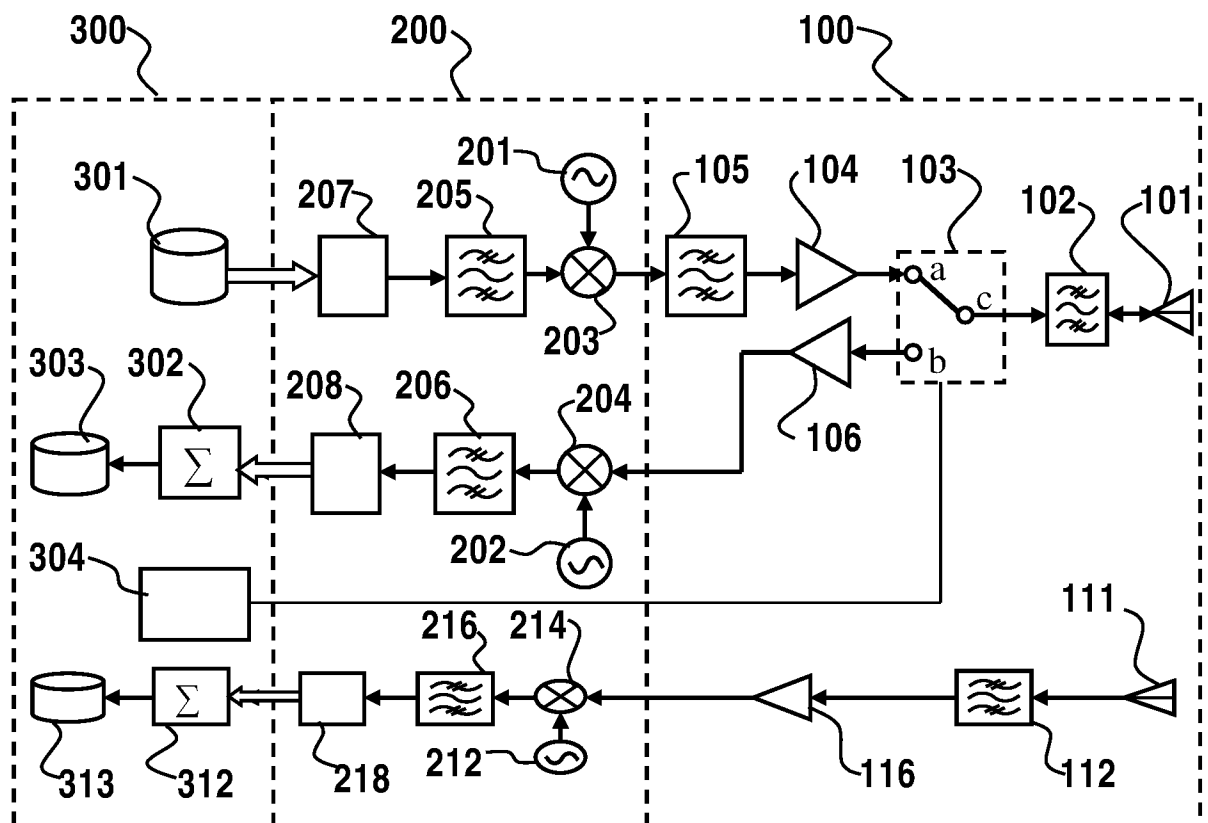
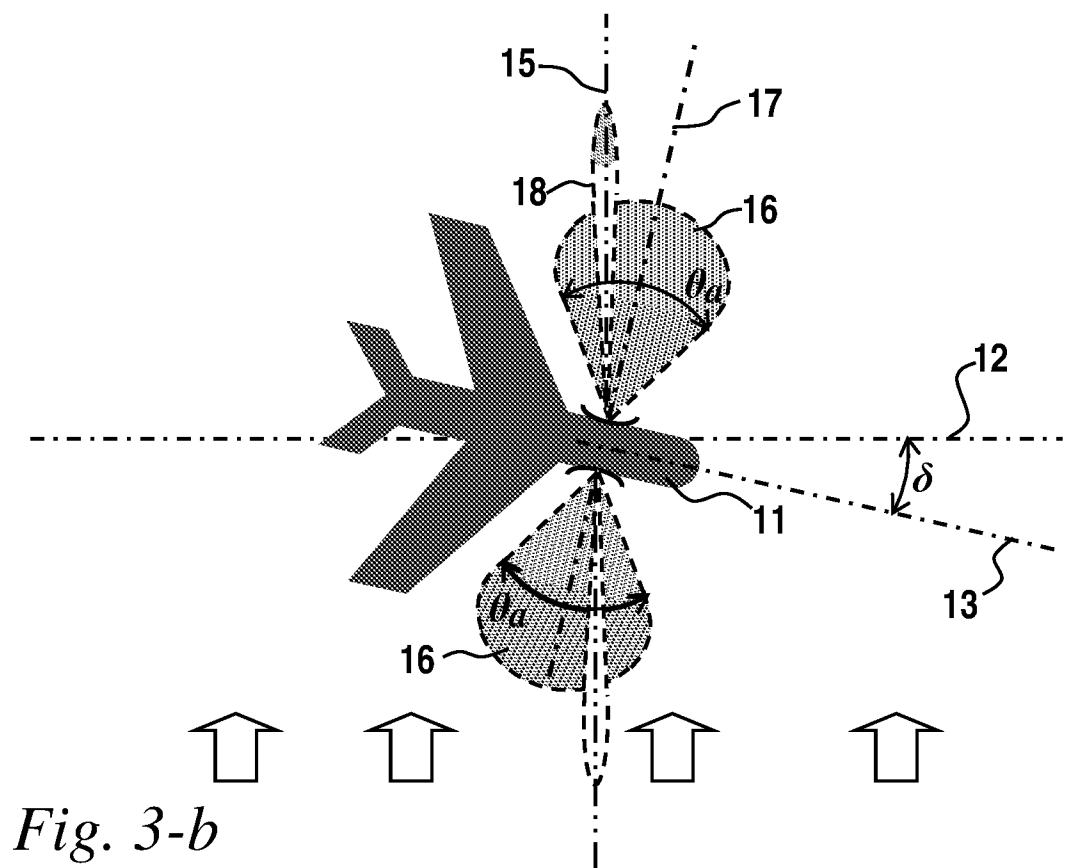
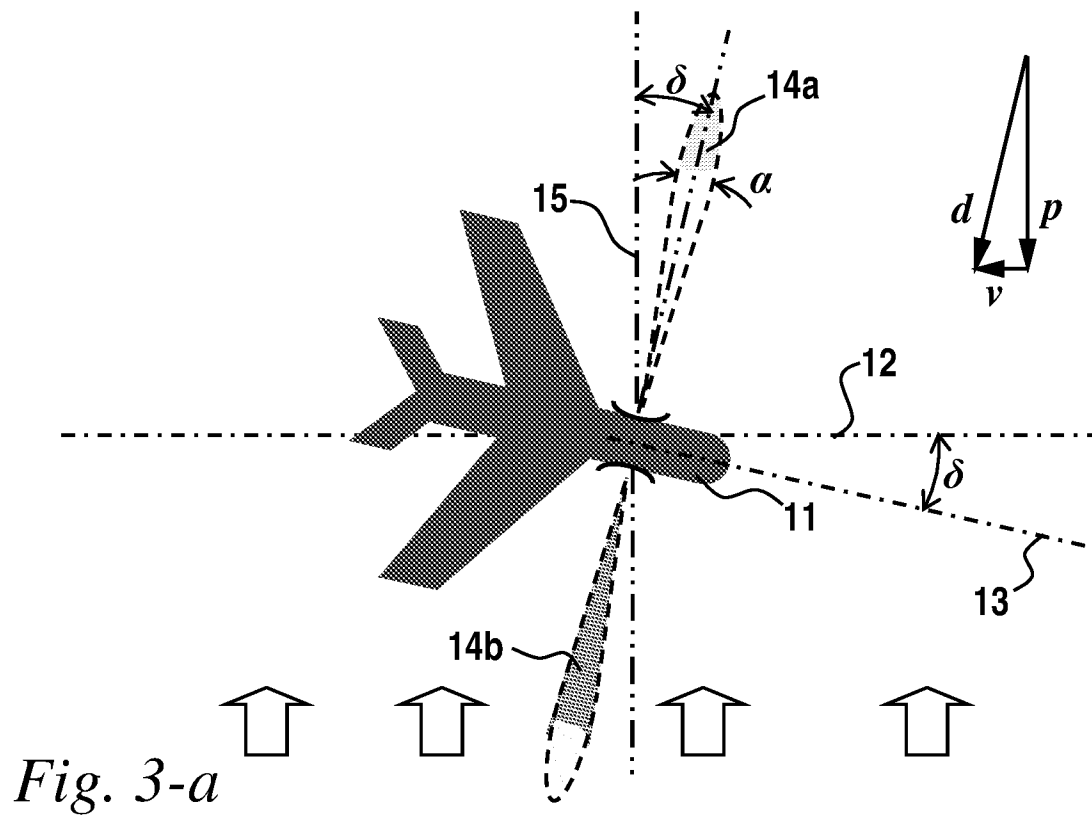


Fig. 2



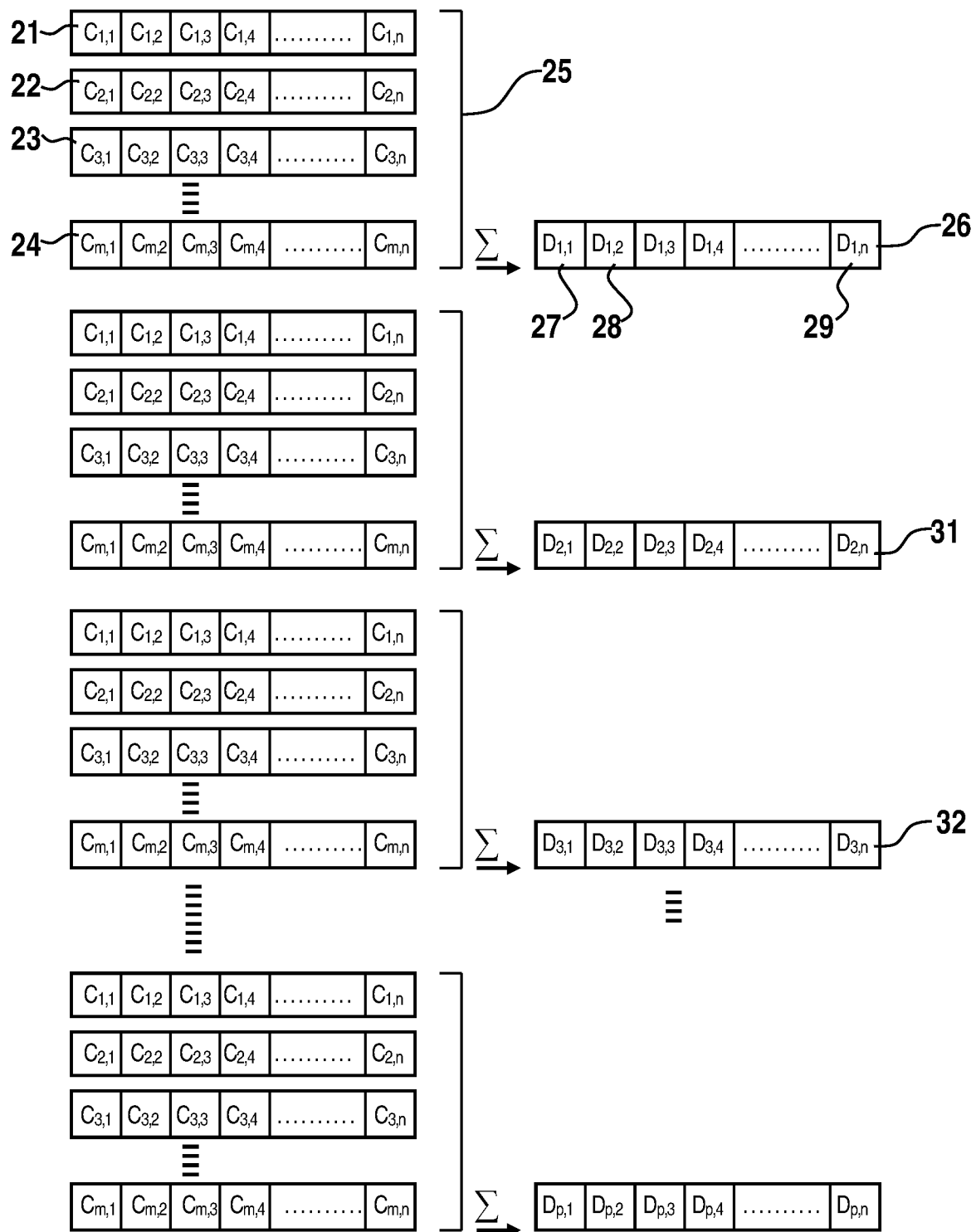


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/BR2018/050491

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC: G01S 13/90 (2006.01)**CPC: G01S 13/9023**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

SINPI - Base de Patentes do INPI-BR

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

Derwent

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y, A	CN 104991250 A (SUZHOU TUSHI ELECTRONIC TECHNOLOGY CO LTD) 21 October 2015 (2015-10-21) abstract, paragraphs [0021] to [0056]	1 a 3, 5 to 12 4,
Y, A	CN 102147462 A (CHINESE ACAD INST ELECTRONICS) 10 August 2011 (2011-08-10) abstract, paragraphs [0002] to [0022]	1 a 3, 5 to 12 4,
Y, A	JP H1078481 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 24 March 1998 (1998-03-24) abstract, paragraphs [0011], [0013], [0014], [0016]	1 to 3, 5, 6 4, 7-12
Y, A	BRPI0105049 B1 (BRADAR INDÚSTRIA S/A) 21 November 2017 (2017-11-21) (paragraphs [021], [029], [030], [034], claim [1])	11, 12 1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 August 2019

Date of mailing of the international search report

11 September 2019

Name and mailing address of the ISA/

INSTITUTO NACIONAL DA
 PROPRIEDADE INDUSTRIAL
 Rua Mayrink Velga nº 9, 6º andar
 cep: 20090-910, Centro - Rio de Janeiro/RJ

Facsimile No.

Authorized officer

Manoel Carlos Vieira de Moraes Junior

Telephone No.

+55 21 3037-3493/3742

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/BR2018/050491

CN 104991250 A	2015-10-21	NONE	
CN 102147462 A	2011-08-10	NONE	
JP H1078481 A	1998-03-24	NONE	
BRPI0105049 B1	2017-11-21	NONE	

A. CLASSIFICAÇÃO DO OBJETO

IPC: G01S 13/90 (2006.01)

CPC: G01S 13/9023

De acordo com a Classificação Internacional de Patentes (IPC) ou conforme a classificação nacional e IPC

B. DOMÍNIOS ABRANGIDOS PELA PESQUISA

Documentação mínima pesquisada (sistema de classificação seguido pelo símbolo da classificação)

G01S

Documentação adicional pesquisada, além da mínima, na medida em que tais documentos estão incluídos nos domínios pesquisados

SINPI - Base de Patentes do INPI-BR

Base de dados eletrônica consultada durante a pesquisa internacional (nome da base de dados e, se necessário, termos usados na pesquisa)

Derwent

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoria*	Documentos citados, com indicação de partes relevantes, se apropriado	Relevante para as reivindicações Nº
Y, A	CN 104991250 A (SUZHOU TUSHI ELECTRONIC TECHNOLOGY CO LTD) 21 outubro 2015 (2015-10-21) (resumo, parágrafos [0021] a [0056])	1 a 3, 5 a 12 4,
Y, A	CN 102147462 A (CHINESE ACAD INST ELECTRONICS) 10 agosto 2011 (2011-08-10) (resumo, parágrafos [0002] a [0022])	1 a 3, 5 a 12 4,
Y, A	JP H1078481 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 24 março 1998 (1998-03-24) (resumo, parágrafos [0011], [0013], [0014], [0016])	1 a 3,5,6 4,7-12
Y, A	BRPI0105049 B1 (BRADAR INDÚSTRIA S/A) 21 novembro 2017 (2017-11-21) (parágrafos [021], [029], [030], [034], reivindicação [1])	11,12 1-10

☐ Documentos adicionais estão listados na continuação do quadro C☒ Ver o anexo de famílias das patentes

* Categorias especiais dos documentos citados:

“A” documento que define o estado geral da técnica, mas não é considerado de particular relevância.

“E” pedido ou patente anterior, mas publicada após ou na data do depósito internacional

“L” documento que pode lançar dúvida na(s) reivindicação(ões) de prioridade ou na qual é citado para determinar a data de outra citação ou por outra razão especial

“O” documento referente a uma divulgação oral, uso, exibição ou por outros meios.

“P” documento publicado antes do depósito internacional, porém posterior a data de prioridade reivindicada.

“T” documento publicado depois da data de depósito internacional, ou de prioridade e que não conflita como depósito, porém citado para entender o princípio ou teoria na qual se baseia a invenção.

“X” documento de particular relevância; a invenção reivindicada não pode ser considerada nova e não pode ser considerada envolver uma atividade inventiva quando o documento é considerado isoladamente.

“Y” documento de particular relevância; a invenção reivindicada não pode ser considerada envolver atividade inventiva quando o documento é combinado com outro documento ou mais de um, tal combinação sendo óbvia para um técnico no assunto.

“&” documento membro da mesma família de patentes.

Data da conclusão da pesquisa internacional

16/08/2019

Data do envio do relatório de pesquisa internacional:

11/09/2019

Nome e endereço postal da ISA/BR



INSTITUTO NACIONAL DA
PROPRIEDADE INDUSTRIAL
Rua Mayrink Veiga nº 9, 6º andar
cep: 20090-910, Centro - Rio de Janeiro/RJ

Nº de fax: +55 21 3037-3663

Funcionário autorizado

Manoel Carlos Vieira de Moraes Junior

Nº de telefone: +55 21 3037-3493/3742

Informação relativa a membros da família da patentes

PCT/BR2018/050491

Formulário PCT/ISA/210 (anexo da família de patentes) (Julho 2009)