

- (11) Patent numeris: **6622** (51) Int. Cl. (2019.01): **H01Q 1/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2017 517**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2017-06-30**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2019-01-10**
- (45) Patent paskelbimo data: **2019-05-10**
- (62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —
- (85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —
- (30) Prioritetas: —
- (72) Išradėjas:
Saulius RUDYS, LT
Domantas BRUČAS, LT
Tomas RUDYS, LT
- (73) Patent savininkas:
Vilniaus Universitetas, Universiteto g. 3, LT-01513 Vilnius, LT
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
**Otilija KLIMAITIENĖ, AAA Law, A. Goštauto g. 40B, Verslo centras "Dvyniai",
LT-03163 Vilnius, LT**

- (54) Pavadinimas:
Trimačio skenavimo radaras ir objektų buvimo aukščio nustatymo būdas

- (57) Referatas:

Išradimas skirtas gauti objekto padėties atstumo ir aukščio duomenis trimatėje erdvėje naudojant įprastinio radaro aparatinės priemonės, apimančias bent anteną, siųstuva, imtuvą ir kitus prietaisus bei įrenginius, būtinus įprastinių radarų veikimui, taip pat papildomą įrenginį, skirtą gautos radaru informacijos apdorojimui ir pateikimui.

Technikos sritis

Išradimas yra susijęs su trijų matavimų radarų sistemų veikimu, o tiksliau su objektų buvimo padėties nustatymo horizontalioje ir vertikalioje plokštumoje būdu, atliekant skenavimą aplink vienos krypties ašį.

Technikos lygis

Įprastiniai radarai, aprūpinti siųstuvu ir imtuvu, antena ir kita būtina įprastinė įranga, skleidžia elektromagnetines bangas ir jas priima joms atsispindėjus nuo objektų. Šiam tikslui įprastai naudojamas radaras su apie vertikalią ašį besisukančia kryptine antena, kurios kryptingumo diagrama yra siaura horizontalioje ir plati vertikalioje plokštumoje (1 pav.).

Norint nustatyti objekto aukštį radaro atžvilgiu kartu su objekto aptikimo ir atstumo nustatymo radaru yra naudojamas aukštimalis, radaras, turintis apie horizontalią ašį svyruojančią antena. Apie horizontalią ašį svyruojanti radaro antena gali skenuoti tik siaurą sritį, todėl tokios sistemos veikimo greitis yra iš esmės apribotas tik tuo metu aptiktų objektų buvimo kryptimi. Taip pat sistema apima bent du nepriklausomus radarus, dėl ko ji tampa sudėtinga eksploatuoti ir brangu įrengti.

Siekiant atpiginti anteną, gali būti naudojamos antenos, kurių spindulio elevacija priklauso nuo dažnio (kaip aprašyta JAV patentinėje paraiškoje nr. US 13/299,986). Keičiant signalo dažnį galima nustatyti aukštį, tačiau radaro sistema, dėl antenos ir signalo apdorojimo specifikos, tampa sudėtingesnė.

Krypties nustatymui gali būti naudojamos monopulsinės antenos (kaip aprašyta JAV patentinėje paraiškoje nr. US 13/976,550). Jas galime interpretuoti, kaip fazuotos gardelės ribinį atvejį. Jų krypties nustatymo tikslumas yra nedidelis ir jos tinkamos esant tik vienam taikiniui.

Gali būti naudojamos antenų sistemos, turinčios 2 vienas virš kito esančius spindulius (kaip aprašyta JAV patentinėje paraiškoje nr. US 13/976,550). Aukštis nustatomas pagal signalų, patenkančių į skirtingus spindulius amplitudes ar fazes. Šio metodo aukščio nustatymo tikslumas nedidelis.

Pagrindinis analogas yra aprašytas JAV patentinėje paraiškoje Nr. US 14/125,358. Atskleista trimačio stebėjimo radarų sistema apimanti įprastinę radarų aparatinę įrangą. Azimutui nustatyti yra naudojami bent du radarai, kurie skenuoja

skirtingais azimutų kampais ir yra sukami apie vertikalią bendrą ašį. Aukščiui nustatyti yra naudojamas atskiras radaras, kuris yra sukamas apie vertikalią ašį. Aptikus objektą vienu iš azimuto radarų, aukščio nustatymo radaras yra pozicionuojamas taip, kad skenuotų to azimuto radaro apžvalgos sritį ir nustatytų objekto aukštį. Šios sistemos ir būdo pagrindiniai trūkumai yra keleto atskirų radarų naudojimas, siaura aukščio nustatymo sritis, lėtas veikimas, ribota objekto aukščio nustatymo sritis, ši sistema reikalauja sukimo mechanizmo dviem ašimis.

Išradimas neturi dalies įprastiniams trimačio skenavimo radarams būdingų trūkumų, ir gali būti taikomas radaruose, sonaruose ar lidaruose priimant nuo objektų atspindėtas bangas, naudojant bangų spinduliavimo šaltinius su skirtingu spinduliavimo paskleidimu (su skirtingomis kryptingumo diagramomis) skirtingose plokštumose, naudojant skirtingą spinduliavimo šaltinių orientaciją dviejų statmenų ašių atžvilgiu, esant skirtingiems pokrypio kampams.

Trumpas išradimo aprašymas

Radarą sudaro bent viena išilginio tipo antena (kurios vienas apertūros matmuo yra didesnis už kitą matmenį), siųstuvas, imtuvas ir kitos aparatinės priemonės. Antenos kryptingumo diagrama yra siaura vienoje ir plati antroje, statmenoje pirmajai plokštumai plokštumoje. Toje plokštumoje, kur antenos apertūros matmenys yra didesni – kryptingumo diagrama yra siauresnė. Viena antena, arba pirmoje vienos antenos padėtyje, antena yra pasukta vienu kampu apie posvyrio ašį, sutampančia su pagrindine signalo sklidimo kryptimi. Skenavimo (skenavimas - signalų siuntimas ir atsako priėmimas kiekvieną kartą skirtinga kryptimi) metu antena ar antenos sukasi apie pokrypio ašį. Bent viena kita antena arba viena antena antroje vienos antenos padėtyje yra pasukta antru kampu apie posvyrio ašį, sutampančia su pagrindine signalo sklidimo kryptimi. Skenavimo metu antena sukasi apie pokrypio ašį. Erdvė skenuojama bent vieną kartą, esant bent dviem skirtingiems radaro antenos posvyrio padėties kampams. Dėl skirtingų antenų arba vienos antenos kryptingumo diagramų posvyrio, tas pats objektas bus aptinkamas esant skirtingiems pokrypio kampams. Žinant šį pokrypio kampų skirtumą, atstumą iki aptikto objekto ir antenos pasvirimo kampą – galima apskaičiuoti taikinio aukštį.

Trumpas brėžinių aprašymas

Kiti išradimo požymiai ir privalumai yra aprašomi detaliame išradimo aprašyme su nuoroda į žemiau pateiktus brėžinius:

1 pav. yra pavaizduotas įprastinio radaro kryptingumo diagrama su viena antena.

2 pav. yra pavaizduotas įprastinio radaro kryptingumo diagrama su dviem antenomis pasvirusiomis žemės paviršiaus plokštumos atžvilgiu.

3 pav. yra pavaizduotos orlaivio judėjimo ašys skrydžio metu.

4 pav. yra pavaizduotas kampų, naudojamų aukščio skaičiavimui, išdėstymas bent vienos antenos posvyrio kampų atžvilgiu.

5 pav. yra pavaizduotas kampų, naudojamų aukščio skaičiavimui, išdėstymas dviejų antenų posvyrio kampų atžvilgiu.

6. pav. pavaizduota taikinio aptikimo azimuto kampai, esant skirtingiems posvyrio kampams.

7 pav. pavaizduota antenų vieta orlaiviuose.

8 pav. yra pavaizduotas radaro taikymas orlaiviuose.

Prieš pateikiant detalų išradimo aprašymą su nuoroda į išradimo įgyvendinimo pavyzdžių brėžinius, atkreipiame dėmesį, kad identiški elementai yra pažymėti tokiais pačiais skaitmenimis visuose brėžiniuose.

Išsamus išradimo aprašymas

Radaras, apimantis bent vieną į šonus pakreipiamą anteną (1), kurios spindulių ruožas (S) (kryptingumo diagrama kaip 1 pav.) ortogonaliose plokštumose yra skirtingo pločio, arba dvi tokias antenas (1', 1''), kurios yra išdėstytos vienoje plokštumoje arba lygiagrečiose plokštumose, nelygiagrečiai viena kitos atžvilgiu, ir kurių spindulių ruožai (S', S'') (kryptingumo diagrama kaip 2 pav.) ortogonaliose plokštumose yra skirtingo pločio. Radaras taip pat apima ir kitą standartinę radarų aparatinę įrangą (brėžiniuose neparodyta), kaip pavyzdžiui bent vieną siųstuvą ir bent vieną imtuvą, radarų signalų siuntimą, gavimą, apdorojimą ir išvedimą užtikrinančią įrangą, taip pat ir specialią įrangą, skirtą apdoroti radaro teikiamiems duomenims, apskaičiuoti ir atvaizduoti taikinių vietai ir parametrus.

Būdas nustatyti objekto, kuris yra tam tikru atstumu R nuo radaro (kaip pavaizduota 4 pav. ir 5 pav), tam tikru azimuto kampui α ir tam tikrame aukštyje H , aukštį, naudojant radarą, apimančią bent vieną į šonus pakreipiamą anteną (1), kurios spindulių ruožas (S) ortogonaliose plokštumose yra skirtingo pločio, arba dvi tokias antenas ($1'$, $1''$), kurios yra išdėstytos vienoje plokštumoje arba lygiagrečiose plokštumose, nelygiagrečiai viena kitos atžvilgiu, ir kurių spindulių ruožai (S' , S'') ortogonaliose plokštumose yra skirtingo pločio; taip pat apimančią ir kitą standartinę radarų aparatinę įrangą, kaip pavyzdžiui bent vieną siųstuvą ir bent vieną imtuvą, radarų signalų siuntimą, gavimą, apdorojimą ir išvedimą užtikrinančią įrangą, taip pat ir specialią įrangą, skirtą apdoroti radaro teikiamiems duomenims, apskaičiuoti ir atvaizduoti taikinių vietas ir parametrus, apima erdvės, kurioje yra ieškoma objekto, apima skenavimą nesimetrišku radaro spindulių ruožu (S , S' , S''), tokiu, kurio aukštis yra didesnis negu plotis arba plotis didesnis negu aukštis, kada antena (1 , $1'$) yra pakreipta pirmu posvyrio kampui φ' žemės paviršiaus plokštumos (P) atžvilgiu ir kada antena (1 , $1''$) yra pakreipta antru posvyrio kampui φ'' į žemės paviršiaus plokštumos (P) atžvilgiu. Posvyrio kampai φ' ir φ'' yra kampai tarp statmens į anteną ir žemės paviršiaus plokštumos, kaip parodyta 6 pav. Kada posvyrio kampai φ' ir φ'' yra vienodi skaitine reikšme bet pakrypę priešingomis kryptimis, tada α yra pusė kampo tarp taikinių krypčių pagal azimutą, gautų naudojant pirmu kampui φ' ir antru kampui φ'' pasvirusias antenų kryptingumo diagramas ($|\varphi''| = |\varphi'| = \varphi$). Tokiu atveju, aptikto objekto aukštis H yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$H = \frac{R \tan \varphi \sin \alpha}{\sqrt{(\tan \varphi \sin \alpha)^2 + 1}} \quad 1)$$

Jeigu vienas iš kampų φ' ir φ'' yra 90° kampas, tuomet antras kampas, kurį pažymėsime φ , gali būti bet koks kitas, nelygus 0 laipsnių, kampas. Tokiu atveju, aptikto objekto aukštis H taip pat yra apskaičiuojamas pagal formulę 1). α yra kampas tarp taikinių krypčių pagal azimutą, gautų naudojant nepasvirusią (esančią 90° kampu) ir antru kampui φ pasvirusią antenų kryptingumo diagramas.

Kampo φ kitimo ribos yra ± 90 laipsnių.

Aukštį galima apskaičiuoti ir kai posvyrio kampai $|\varphi''|$ ir $|\varphi'|$ nėra lygūs arba nei vienas iš jų nėra 90 laipsnių kampas. Tada aukštį H galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$H = \frac{R \tan \varphi' \tan \varphi'' \sin \gamma}{\sqrt{\tan^2 \varphi' + \tan^2 \varphi'' + 2 \tan \varphi' \tan \varphi'' \cos \gamma + (\tan \varphi' \tan \varphi'' \sin \gamma)^2}} \quad 2)$$

kur γ yra kampas tarp taikinių krypčių pagal azimutą, gautų naudojant pirmu kampu φ' ir antru kampu φ'' pakrypusias antenas (1, 1', 1''), o tiksliau antenų (1, 1', 1'') kryptingumo diagramas (kaip parodyta 4 pav. ir 5 pav). Kampą BOC ar BOD (kaip pavaizduota 5 pav.) ,kuris reikalingas, norint nustatyti taikinio azimutą, žinodami H, galime apskaičiuoti ir naudojant formulę 1). Tada kampas BOC būtų lygus kampui α , o $\varphi'=\varphi$, arba kampas BOD būtų lygus kampui α , o $\varphi''=\varphi$.

Pagal pirmą išradimo aspektą, radaras apima vieną anteną (1), kurios spindulio ruožas (S) nėra simetriškas spindulio sklidimo kryptimi, ir priemonę (2', 2''), skirtą ją pakreipti kampu į vieną arba į kitą pusę. Tokia priemonė gali būti valdomai pasukamas stovas (2'), kuris vienu metu suka minėtą anteną (1) aplink vertikalią ašį (3) keičiant pokrypio kampą nuo φ' iki φ'' . Suformuojamas skenuojantis antenos (1) spindulio ruožas (S) aplinkos skenavimui bent vienu pirmu antenos posvyrio į žemės paviršiaus plokštumą (P) kampu φ' ir bent vienu antru antenos (1) posvyrio į žemės paviršiaus plokštumą (P) kampu φ'' (kaip parodyta 4 pav. ir 5 pav.).

Minėta vienos antenos (1) pakreipimo kampu į vieną arba į kitą šoną priemonė gali būti orlaivis (2''), kuriame lygiagrečiai sparnams arba juose yra sumontuojama viena antena (1) arba keletas, kurių kryptingumo diagrama yra siaura vienoje ir plati antroje, statmenoje pirmajai plokštumai plokštumoje. Orlaiviui (2'') skrendant jo pakrypimas vertikaliaja (pokrypio) ašimi ir/arba išilgine (posvyrio) ašimi, keičia lygiagrečiai sparnams sumontuotų antenų (1) signalų sklidimo erdvės (antenos kryptingumo diagramos) pasvyrimo kampą nuo φ' iki φ'' . Ir skrendant sudaro galimybę skenuoti bent dviem posvyrio kampais φ' ir φ'' taip nustatant atstumą R iki objekto ir jo pakilimo aukštį H, orlaivyje 2'' sumontuoto radaro atžvilgiu.

Pagal antrą išradimo aspektą, radaras apima dvi antenas (1', 1''), kurių kiekvienos spindulio ruožas (S', S'') yra siauras vienoje ir platus antroje, statmenoje pirmajai plokštumai plokštumoje, ir kurios yra išdėstytos vienoje plokštumoje arba lygiagrečiose viena kitai plokštumose, ir vienos antenos kryptingumo diagramos posvyrio kampas φ' ir kitos antenos posvyrio kryptingumo diagramos kampas φ'' į žemės paviršiaus plokštumą OCB (P), pagal 5 pav., skiriasi arba yra tokios pačios skaitinės vertės. Radaras taip pat apima ir jos sukimo apie bendrą antenų (1', 1'') ašį

(z) vieną arba į kitą kryptį priemonę ($2'$, $2''$). Tokia priemonė gali būti valdomai pasukamas stovas ($2'$), kuris vienu metu suka minėtas antenas ($1'$, $1''$) aplink vieną bendrą ašį (z) (kaip pavaizduota 2 pav.). Tokiu būdu yra suformuojami du skenuojantys spindulių ruožai (S' , S'') aplinkos skenavimui bent dviem antenų pasvirimo į žemės paviršiaus plokštumą (P) kampais φ' ir φ'' , kurie gali skirtis arba būti tokios pačios vertės.

Dviejų antenų ($1'$, $1''$), sudarančių X, arba V formą, pasukimo į vieną arba į kitą kryptį priemonė gali būti orlaivis ($2''$), kuriame lygiagrečiai sparnams arba juose yra sumontuojamas minėtas dviejų antenų ($1'$, $1''$) X, arba V formos derinys (7 pav.), kurių kiekvienos spindulio ruožas (S' , S'') yra siauras vienoje ir platus antroje, statmenoje pirmajai plokštumai plokštumoje. Orlaiviui ($2''$) skrendant ir keičiant skridimo kryptį bet kaip orientuotos ašies atžvilgiu, panaudojus išradimo būdą, sudaroma galimybė skenuoti erdvės sektorių, taip nustatant atstumą R iki objekto ir jo pakilimo aukštį H orlaivyje $2''$ sumontuoto radaro atžvilgiu, arba azimuto ir elevacijos kampas.

Pagal naudojamų imtuvų/siųstuvų skaičių gali būti naudojamas vienas siųstuvai/imtuvai (šiuo atveju reikia atlikti bent du skenavimus, arba perjunginėti antenas), arba daugiau nei vienas siųstuvai/imtuvai (galima nenaudoti antenų perjungimo).

Pagal siųstuvų naudojimo laiką – siųstuvai gali siųsti vienu metu, ar pakaitomis.

Pagal spinduliavimo kryptį – antenos gali būti nukreiptos ta pačia kryptimi, arba priešingomis kryptimis.

Pagal skenavimo metodą – skenuojama keičiant antenos kryptį, arba(ir) keičiant antenos kryptingumo diagramos kryptį antenos atžvilgiu naudojant žinomus metodus, pvz.: signalų fazės postūmį antenos elementuose.

Galimai pats paprasčiausias radaro, naudojant išradimą realizavimas būtų kai naudojamas vienas siųstuvai/imtuvai kartu su dviem perjungiamomis antenomis, kurios išdėstytos X, ar V raidės pavidalu.

Pirmas būdo naudojimo pavyzdys

Tarkime aptikti numatytas objektas yra atstumu R, aukštyje H šiaurės

kryptimi (taškas A) nuo radaro (kaip pavaizduota 4 pav.). Radaro antena vienu atveju yra a) horizontalioje padėtyje (spindulio energija didžiausia plokštumoje OAB), kitu atveju yra b), c) pakreipta kampu φ , žemės paviršiaus plokštumos OCB (P) atžvilgiu (spindulio energija didžiausia plokštumoje OAC, kur plokštuma OAB yra statmena plokštumai OBC, plokštuma OAC yra pasvirusi kampu φ plokštumos OBC atžvilgiu, kaip nurodyta 4 pav. ir 6 pav.

Atlikus skenavimą (signalą siuntimą ir atspindžio priėmimą įvairiomis kryptimis) atveju a), (kaip pavaizduota 6 pav.) anteną (1) sukant apie vertikalią ašį taikiny bus aptinkamas šiaurės kryptimi, ir bus nustatomas atstumas iki aptikto objekto.

Atlikus skenavimą atveju b), arba c) – objektas bus aptinkamas skenavimo spinduliui skenuojant erdvę kitokiu kampu negu atveju a) – t.y. kampu α .

Žinant atstumą iki taikinio R, gautą po skenavimo atveju a), b), ar c), antenos pasvirimo kampą φ , ir kampą α – galima apskaičiuoti taikinio aukštį H, ir elevaciją (kampą tarp krypties į taikinį ir horizontalios plokštumos) β (kaip pavaizduota 4 pav.).

Naudojant dvi antenas (1', 1''), kurios yra vienodai pasvirusios priešingomis kryptimis, centrinės vertikalaus antenų pasukimo (posvyrio) ašies atžvilgiu (z), yra atliekamas bent vienas skenavimas nekeičiant antenų posvyrio į žemės paviršiaus plokštumą (P) kampų. Tokiu atveju, atlikus bent vieną skenavimą šiaurėje esančio taikinio vaizdai radaro ekrane (4), gaunami kiekvienos antenos atžvilgiu, būtų išsidėstę simetriškai šiaurės krypties atžvilgiu, o kampas tarp jų būtų 2α , kaip pavaizduota 6 pav..

Naudojant dvi antenas (1', 1''), kurių viena yra apsvirusi 90° kampu, o kita bet koku kitu kampu, kuris nėra lygus 0° , centrinės vertikalaus antenų pasukimo (posvyrio) ašies atžvilgiu (z'), yra atliekamas bent vienas skenavimas nekeičiant antenų posvyrio į žemės paviršiaus plokštumą (P) kampų. Tokiu atveju, atlikus bent vieną skenavimą šiaurėje esančio taikinio vaizdai, gaunami nepasvirusios antenos atžvilgiu, būtų išsidėstę α kampu į šiaurės krypties atžvilgiu.

Naudojant šią metodiką galima vienu metu nustatyti keleto taikinių aukščius ar elevacijos kampus radarui ištiesai skenuojant erdvę antenas sukant aplink vertikalią radaro ašį.

Jei dalis taikinių vaizdų persidengtų (tai įmanoma, kai taikiniai yra vienodu atstumu iki radaro, bet skirtinguose aukščiuose ir/arba skirtingomis kryptimis nuo radaro) – šią problemą galime išspręsti atlikę papildomą skenavimą pakeitus antenos pasvirimo kampą φ apie posvyrio ašį.

Antras būdo naudojimo pavyzdys

Vienos antenos (1) radaras gali būti realizuotas patalpinant radaro anteną (1) į lėktuvo (2'') sparno priekinę dalį (kaip pavaizduota 7 pav.). Antenos (1, 1', 1'') gali būti išskirstytos ir po skirtingus sparnus. Tai galėtų būti naudinga FMCW radaro atveju, kai yra įprasta naudoti atskiras antenas siuntimui ir priėmimui. Skenavimas vykėtų keičiant lėktuvo skridimo kryptį (K). Darant posūkį skrendant – lėktuvas natūraliai pasvyra. Skrendant vingiuota trajektorija (VT), būtų skenuojamas erdvės sektorius. Darant posūkį laikrodžio rodyklės kryptimi, lėktuvas būtų pasviręs į vieną pusę – sukantis prieš laikrodžio rodyklę, lėktuvas būtų pasviręs į kitą pusę (kaip pavaizduota 8 pav.).

Taigi, atlikus vingį, sektorius būtų nuskenuotas du kartus, esant skirtingiems antenos (1, 1', 1'') posvyriams horizontalios plokštumos atžvilgiu. Taip radaro ekrane (4) būtų gaunami taikinio vaizdai (5, 5') kiekvienos antenos atžvilgiu, būtų išsidėstę simetriškai šiaurės krypties atžvilgiu, o kampas tarp jų būtų 2α . Jei kokio nors taikinio negalima išskirti iš kitų – lengvai galime pakeisti lėktuvo ir, atitinkamai, antenos (1, 1', 1'') posvyrio kampą φ' arba φ'' apie posvyrio ašį.

Tokiu būdu, būtų realizuotas taikinio aukščio (ar elevacijos kampo) nustatymas (realizuotas 3D radaras) naudojant paprasto 2D apžvalginio radaro aparatinę įrangą.

Šis techninis sprendimas gerai tinkamas bepiločiams orlaiviams, kadangi antenos integracija į sparną ir antenos sukimo mechanizmo nebuvimas mažina radaro masę, o skenavimas vingiuojant, nevargina ekipažo, kadangi jo bepiločiame orlaivyje nėra.

Pagrindinis taikymas yra antžeminių ar orlaivių radarų srityje, tačiau gali būti taikomas ir sonarams ar lidarams.

Nors išradimo aprašyme buvo išvardinta daugybė charakteristikų ir privalumų, kartu su išradimo struktūrinėmis detalėmis ir požymiais, aprašymas yra pateikiamas kaip pavyzdinis išradimo išpildymas. Gali būti atlikti pakeitimai detalėse,

ypatingai medžiagų formoje, dydyje ir išdėstyme nenutolstant nuo išradimo principų, vadovaujantis plačiausiai suprantamomis apibrėžties punktuose naudojamų sąvokų reikšmėmis.

Išradimo apibrėžtis

1. Trimačio skenavimo radaras, apimantis įprastinio dvimačio skenavimo radaro aparatinę įrangą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima bent du radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampus (φ', φ'') į žemės paviršiaus plokštumą (P) ir tokių kampų formavimo priemonę ($2', 2''$).

2. Radaras pagal 1 punktą, kur iš minėtų bent dviejų radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampų (φ', φ''), tik vienas radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampas (φ') į žemės paviršiaus plokštumą (P) yra 90° .

3. Radaras pagal 1 punktą, kur iš minėtų bent dviejų radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampų (φ', φ''), du radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampai (φ', φ'') į žemės paviršiaus plokštumą (P) yra vienodi skaitine reikšme bet pakrypę priešingomis kryptimis.

4. Radaras pagal 1 punktą, kur iš minėtų bent dviejų radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampų (φ', φ''), du radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampai (φ', φ'') į žemės paviršiaus plokštumą (P) yra skirtingi skaitine reikšme.

5. Radaras pagal bet kurį ankstesnį punktą, kur radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampų (φ', φ'') į žemės paviršiaus plokštumą (P) formavimo priemonė yra valdomai pasukamas stovas ($2'$).

6. Radaras pagal bet kurį 1-4 punktą, kur radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampų (φ', φ'') į žemės paviršiaus plokštumą (P) formavimo priemonė yra orlaivis ($2''$).

7. Radaras pagal bet 6 punktą, kur radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') antenos ($1, 1', 1''$) yra sumontuotos orlaivio ($2''$) bent viename sparne.

8. Būdas skenuoti aplinką dvimačio skenavimo radaru trimačiam skenavimui, naudojant radarą pagal bet kurį ankstesnį punktą, kur objektui aptikti yra naudojamas radaras pagal bet kurį ankstesnį punktą, apima aplinkos skenavimą skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') bent dviem posvyrio kampais (φ', φ'') į žemės paviršiaus plokštumą (P).

9. Būdas pagal 8 punktą, kur iš minėtų bent dviejų radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampų (φ' , φ''), tik vienas radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampas (φ') į žemės paviršiaus plokštumą (P) yra 90° .

10. Būdas pagal 8 punktą, kur iš minėtų bent dviejų radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampų (φ' , φ''), du radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampai (φ' , φ'') į žemės paviršiaus plokštumą (P) yra vienodi skaitine reikšme bet pakrypę priešingomis kryptimis.

11. Būdas pagal 8 punktą, kur iš minėtų bent dviejų radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampų (φ' , φ''), du radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampai (φ' , φ'') į žemės paviršiaus plokštumą (P) yra skirtingi skaitine reikšme.

12. Būdas pagal bet kurį 8-11 punktą, kur radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampai (φ' , φ'') į žemės paviršiaus plokštumą (P) yra formuojami valdomai pasukamu stovu (2').

13. Būdas pagal bet kurį 8-11 punktą, kur radaro skenuojančių spindulių ruožo (S, S', S'') posvyrio kampai (φ' , φ'') į žemės paviršiaus plokštumą (P) yra formuojami orlaivio (2'') skridimo trajektorija.

14. Būdas pagal 9 arba 10 punktą, kur aptikto objekto aukštis H yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$H = \frac{R \tan \varphi \sin \alpha}{\sqrt{(\tan \varphi \sin \alpha)^2 + 1}}$$

kur pagal 10 punktą, α yra pusė kampo tarp taikinių krypčių pagal azimutą, gautų naudojant pirmu kampu φ' ir antru kampu φ'' pasvirusias antenų kryptingumo diagramas ir $|\varphi''| = |\varphi'| = \varphi$;

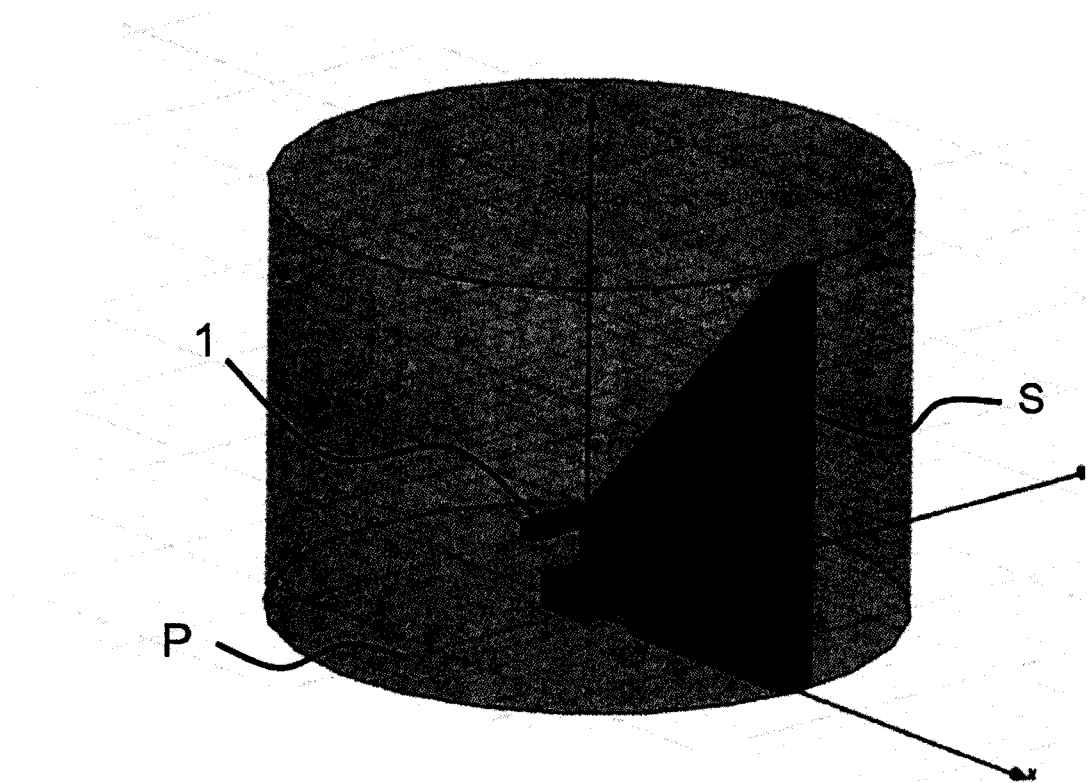
kur pagal 9 punktą, α yra kampas tarp taikinių krypčių pagal azimutą, gautų naudojant nepasvirusią (esančią 90° kampu) ir antru kampu φ pasvirusią antenų kryptingumo diagramas; o kampo φ kitimo ribos yra ± 90 laipsnių.

15. Būdas pagal 11 punktą, kur aptikto objekto aukštis H yra apskaičiuojamas pagal formulę:

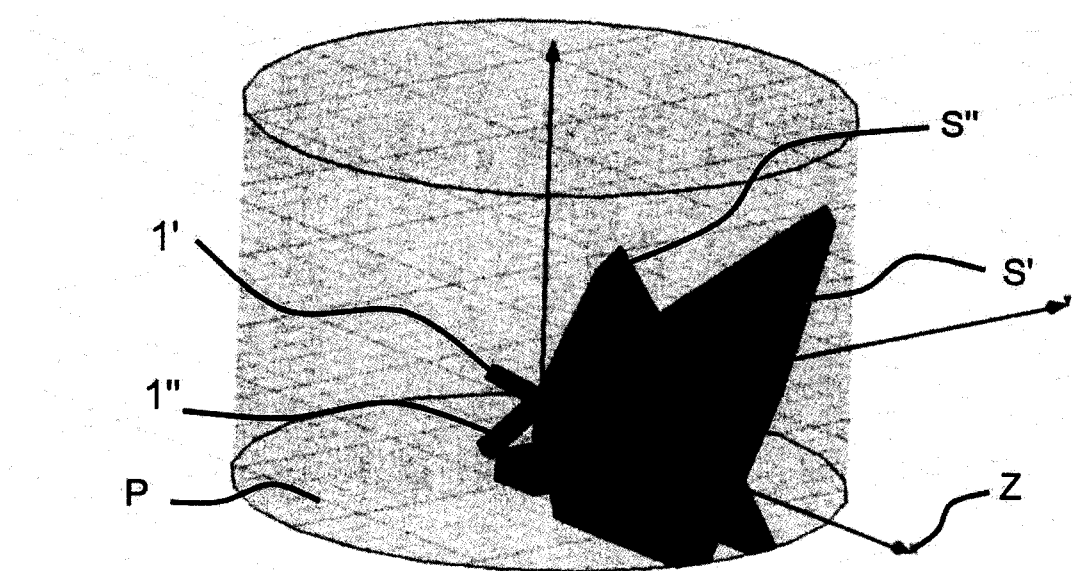
$$H = \frac{R \tan \varphi' \tan \varphi'' \sin \gamma}{\sqrt{\tan^2 \varphi' + \tan^2 \varphi'' + 2 \tan \varphi' \tan \varphi'' \cos \gamma + (\tan \varphi' \tan \varphi'' \sin \gamma)^2}}$$

kur γ yra kampas tarp taikinių krypčių pagal azimutą; o

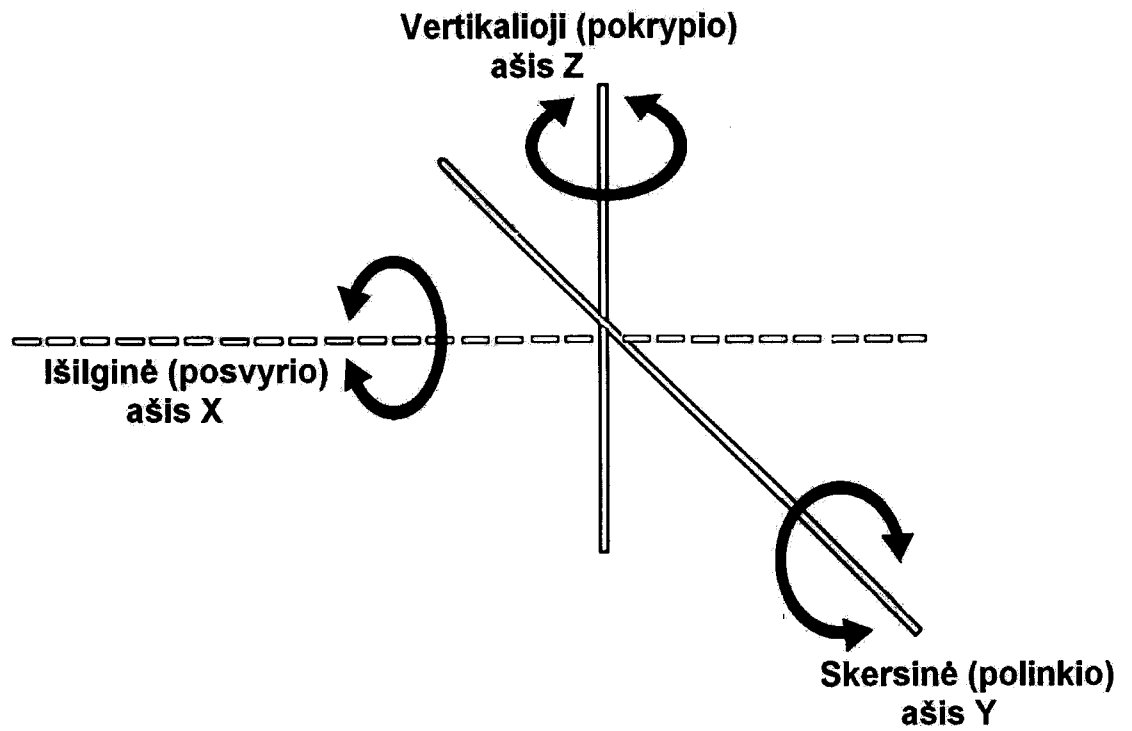
kampų φ' ir φ'' kitimo ribos yra ± 90 laipsnių.



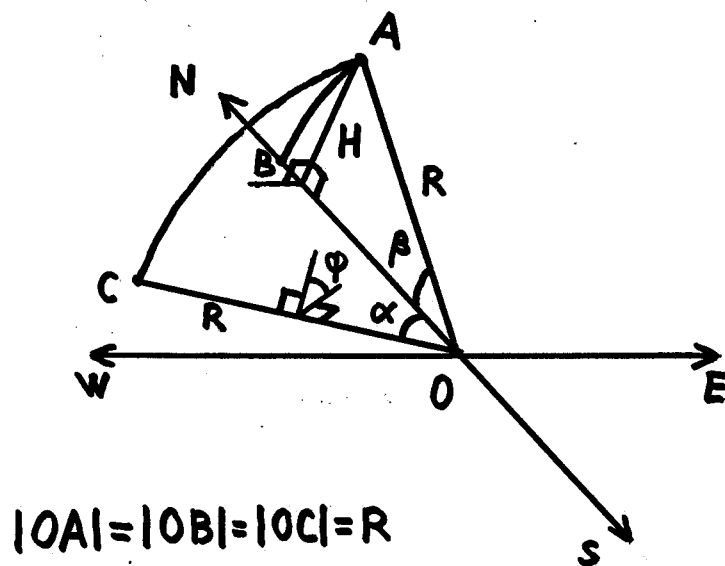
1 pav.



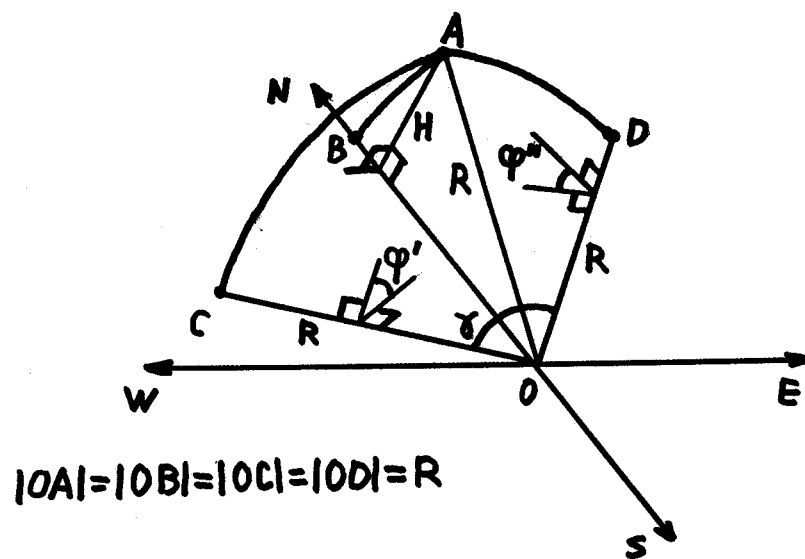
2 pav.



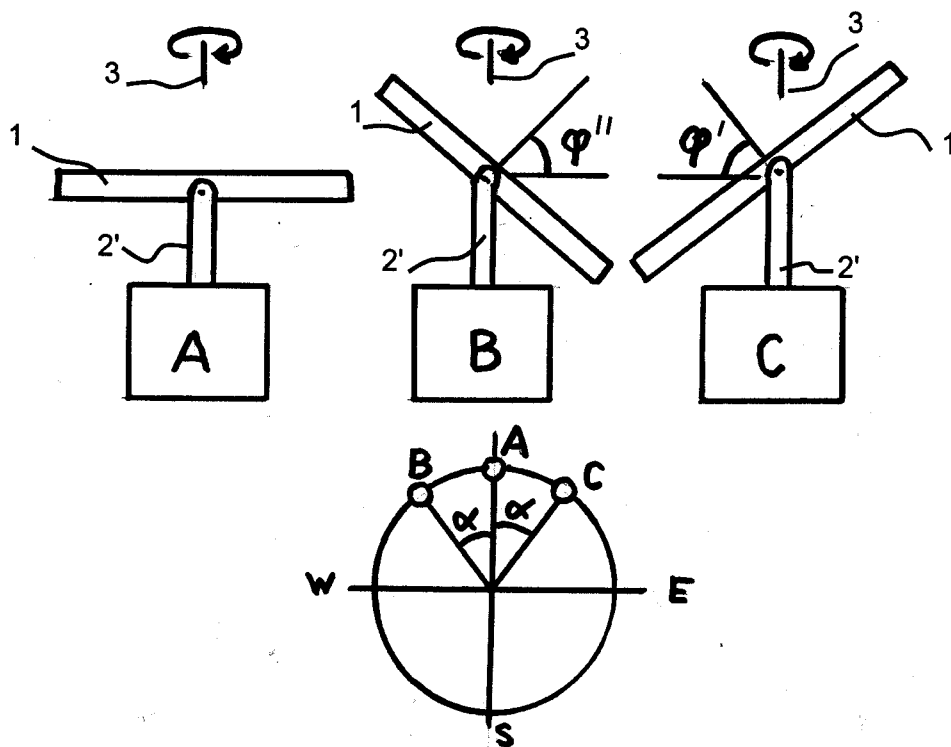
3 pav.



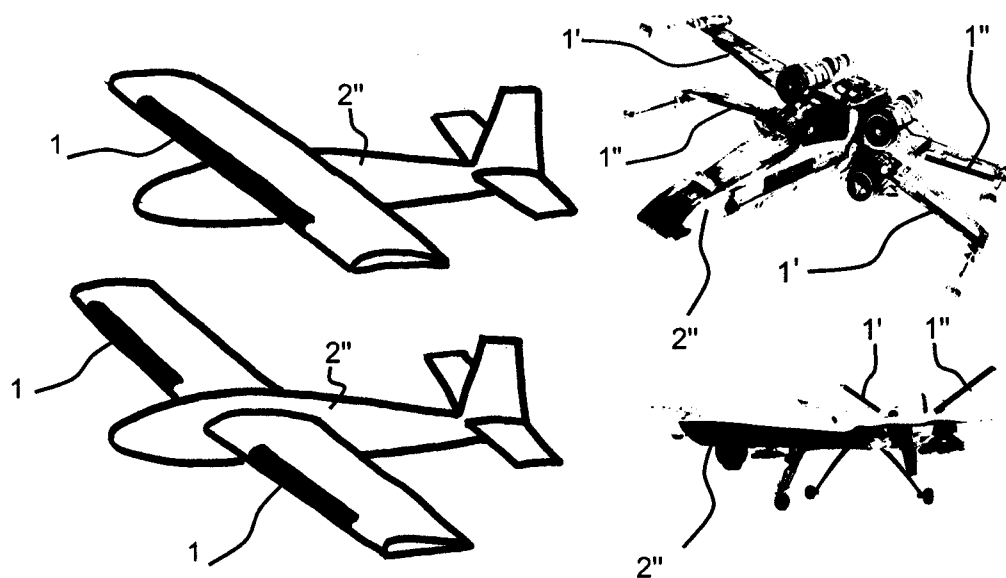
4 pav.



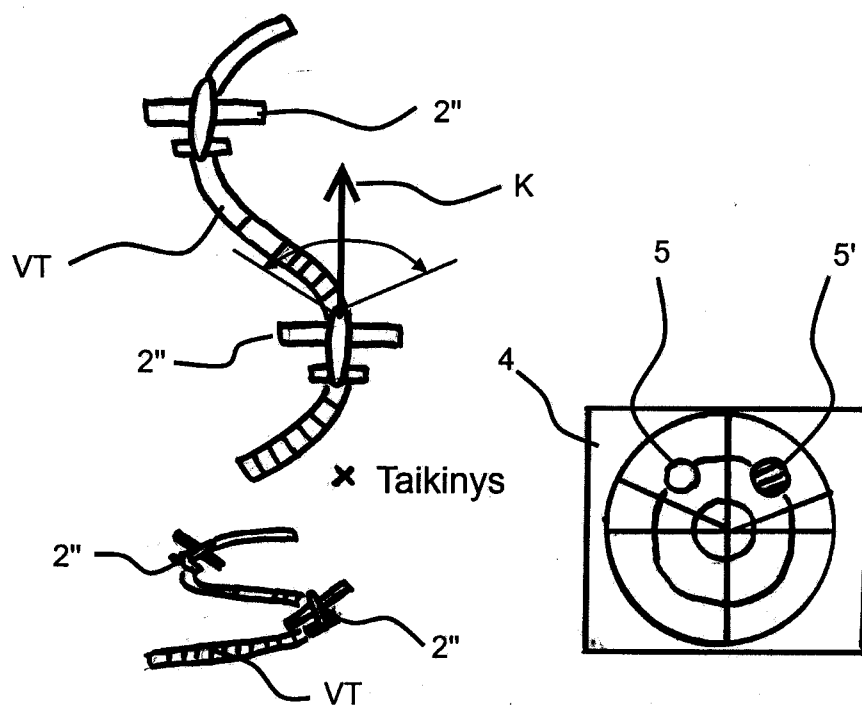
5 pav.



6 pav.



7 pav.



8 pav.