



SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(12) PATENTTIJULKAISU
PATENTSKRIFT



F1000117653B

(10) FI 117653 B

(45) Patenti myönnetty - Patent beviljats

29.12.2006

(51) Kv.lk. - Int.kl.

G01S 13/524 (2006.01)

(21) Patentihakemus - Patentansökning

20050205

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag

21.02.2005

(24) Alkupäivä - Löpdag

21.02.2005

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig

22.08.2006

(73) Haltija - Innehavare

1 •Eigenor Oy, Sodankylä, Kuusisaarenpolku 5 B, 00340 Helsinki, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 •Lehtinen, Markku Sakari, Tähteläntie 48 as. 21, 99600 Sodankylä, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Berggren Oy Ab
Annankatu 42 C, 00100 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

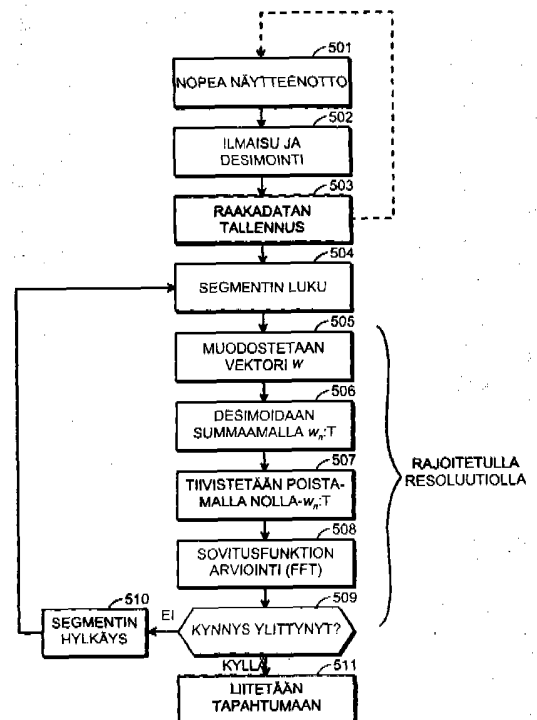
Menetelmä ja laitteisto liikkuvien kohteiden havaitsemiseksi tutkalla
Förfarande och arrangemang för att förmärka rörande föremål med en radar

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

EP 0547686 A1, US 3588898 A, US 2004/0066331 A1, US 6297764 B1

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Liikkuvia kohteita havaitaan tutkalla keräämällä näytteitä vastaanotetusta signaalista integrointiaikana. Sovitusfunktion termit sisältävät tulon, jonka tekijöinä ovat mainitun vastaanotetun signaalin näyte ja lähetteen ajallisesti viivästetty, Doppler-siirtnyt kopio, ja riippuvat lähetteen heijastuksen aiheuttanutta kohdetta kuvaavista parametreista. Parametrien todennäköisimmät arvot etsitään maksimoimalla sovituskuntio Fourier-muuntamalla sovituskuntion termeistä koostuva vektori. Mainituista tuloista ne, joissa mainitun ajallisesti viivästetyn, Doppler-siirtnyeen lähetekopion osuus on nolasta poikkeava, laske-taan, ja muut mainituista tuloista ovat nolliä. Vain ne tulojen nollasta poikkeavat lohkot, joilla on nollasta poikkeava arvo, lasketaan Fourier-muunnettavan vektorin lopullisiksi termeiksi, ja välissä olevat nollian arvoiset lohkot jätetään pois. Parametrien todennäköisimpiä arvoja ovat ne arvot, jotka syntyvät lopulliset termit käsittävän vektorin Fourier-muunnoksessa.



117653

Rörliga objekt detekteras med en radare genom att uppsamla prover av en mottagen signal under en integreringsperiod. Anpassningsfunktionens termer innehåller en produkt, vars faktorer är nämnda mottagna signalprov och sändningens tidsfördröjda, dopplerförskjutna kopia, och beror på parametrar som beskriver ett objekt som förorsakade en sändningsreflektion. Parametrarnas mest sannolika värden söks genom att maximera en anpassningsfunktion genom att Fouriertransformera en vektor som består av anpassningsfunktionens termer. De av nämnda produkter beräknas vars andel av nämnda tidsfördröjda, dopplerförskjutna sändningskopia avviker från noll och resten av nämnda produkter är noll. Endast segment med produkter som avviker från noll räknas som slutliga termer för vektorn som skall Fouriertransformeras, medan mellanliggande segment med nollvärde lämnas bort. De mest sannolika parametervärdena är de värden, som uppstår vid Fouriertransformationen av vektorn innehållande de slutliga termerna.

Menetelmä ja laitteisto liikkuvien kohteiden havaitsemiseksi tutkalla – Förfarande och arrangemang för att förmärka rörande föremål med en radar

Tekninen ala

- 5 Keksintö liittyy tutkamittausten alaan. Erityisesti keksintö liittyy ongelmaan, miten prosessoida digitaalisesti näytteistetyistä tutkamittauksista saatava raakadata liikkuvia kohteita kuvaaviksi merkityksellisiksi tiedoiksi kohtuullisella laskennallisella vaivalla. Kohdetta sanotaan liikkuvaksi, jos se on liikkeessä sen havaitsemiseen käytettyyn tutkasäteeseen nähden; termi "liikkuvat kohteet" kattaa siten myös koh-
- 10 teet, jotka ovat paikallaan pysyviä jossain inertiakoordinaatistossa mutta joita havaitaan liikkuvalla tutkasäteellä.

Keksinnön taustaa

- Tutkaa hyödynnetään tietojen saamiseksi etäisistä liikkuvista kohteista monissa eri tapauksissa, mm. sotilaallisessa valvonnassa, kaupallisessa lentoliikenteessä ja
- 15 merenkulussa sekä tieteellisessä tutkimuksessa. Tässä patenttihakemuksessa käytetään esimerkkinä avaruusromun havaitsemista. Samoja periaatteita voidaan kuitenkin soveltaa muunkinlaisiin tutkamittauksiin.

- Avaruusromu on yleisnimitys kaikenlaisille ihmisen valmistamille maata kiertäville kohteille, joilla ei enää ole hyödyllistä käyttöä. Suurilla (>10 cm) kohteilla on tunnetut kiertoradat, ja Yhdysvaltain avaruusvalvontaverkosto (Space Surveillance Net-
- 20 work, SSN) tarkkailee niitä säännöllisesti, mutta tiedot pienemmistä kohteista ovat hajanaisia ja pääasiassa tilastollisia. Kiertoradalla pysyäkseen kohteella on oltava nopeus, joka on useita kilometrejä sekunnissa maapallon koordinaatistossa, jolloin mikä tahansa tällainen kappale on potentiaalisesti vaarallinen satelliiteille, miehite-
- 25 tyille avaruusaluksille ja muille avaruudessa liikkuville kulkuvälineille. Tarkat tiedot avaruusromuista auttaisivat avaruuslentojen suunnittelussa niin, että avaruusromujen aiheuttamat riskit voitaisiin minimoida.

- On olemassa ionosfääritutkia, kuten EISCAT-tutkajärjestelmä (European Incoherent SCATter), jotka säännönmukaisesti suorittavat tutkamittauksia korkeuksilla,
- 30 jotka olisivat kiinnostavia myös avaruusromututkimuksen kannalta. Nämä järjestelmät on kuitenkin optimoitu "pehmeiden" ionosfääriheijastusten käsittelyyn, eivätkä ne siten sovellu kovin hyvin kaikujen mittaamiseen kovista kohteista. Tyypillisellä ionosfääriheijastuksella on esimerkiksi alle millisekunnin pituinen vaihekohe-

renssiaika, mikä on paljon lyhyempi kuin pulssitutkajärjestelmässä kahden peräkkäin lähetetyn pulssin välinen aika (joka esimerkiksi EISCATissa on tyypillisesti 3-10 ms). Siksi yksittäisiltä pulsseilta saadut ionosfäärikaiut ovat korreloimattomia ja niitä voidaan laskea yhteen vain tehoalueella. Kovan kohteen, kuten avaruusromun kappaleen, kaiulla on sen sijaan hyvin pitkä vaihekoherenssiaika, useiden satojen millisekuntien luokkaa.

Eräs lähestymistapa, joka tunnetaan tieteellisestä raportista J. Markkanen, M. Lehtinen, A. Huuskonen, A. Väänänen: "Measurements of Small-Size Debris with Backscatter of Radio Waves", Final Report, ESOC Contract No. 13945/99/D/CD, March 2002, on käyttää ionosfääripulssitutkan lähetteitä, mutta rakentaa erillisen vastaanotto- ja analysointijärjestelmä, joka on optimoitu kovista kohteista saatavien kaikujen käsittelyyn. Kuva 1 esittää tutkajärjestelmää tietojen keräämiseksi avaruusromusta mainitussa raportissa ehdotettua mallia noudattaen.

Tutkalähetteet muodostetaan lähetintietokoneessa 101, vahvistetaan vahvistinjärjestelyssä 102 ja lähetetään antennin 103 kautta. Monostaattisessa tutkassa sama antenni 103 myös vastaanottaa heijastuneet signaalit. Tunnetaan myös bi- ja multistaattisia tutkia, joissa vastaanotto tapahtuu eri antenn(e)illa kuin lähetys. Radioaajuisessa vastaanotinosassa 104 esivahvistin 105 vahvistaa vastaanotetun signaalin ja sekoitin 106 muuttaa sen alemmalle taajuudelle. Ilmaisinosaan 107 kuuluu AD-muunnin 108, ilmaisin 109 ja puskuri 110, josta puskuroitu data kirjoitetaan tilapäiseen datamuistiin 111. Analysointitietokoneeseen 112 kuuluu skanneri 113 ja analysaattori 114, josta analysoitu data siirretään lopulliseen muistiin 115. Mittaustulosten aikaleimauksen mahdollistamiseksi järjestelmän lähetin- ja vastaanotinhaarat toimivat esim. GPS-vastaanottimelta (Global Positioning System) saadussa yhteisessä aikakannassa. Lähettävä haara voi antaa ohjaustietoja, kuten lähetteen aaltomuotokuvauksia, vastaanottavalle haaralle.

Oletetaan että avaruusromukohde 120 etenee kiertoradalla 121. Osa 122 mainitusta kiertoradasta sattuu kulkemaan tutkan antennikeilan 123 halki. Kiinnostavia parametreja, jotka tutkajärjestelmän tulisi antaa mittaustuloksina, ovat pääasiassa etäisyys (antennin 103 ja kohteen 120 välimatka), kohteen 120 säteisnopeus ja säteiskiiktyvyys sekä kohteen 120 aiheuttaman heijastuksen signaalivoimakkuus (tai signaalin kokonaisenergia). Viimemainittua voitaisiin optimitalauksissa käyttää kohteen koon estimointiin. Yllä mainitussa tieteellisessä raportissa esitetään, että nämä voitaisiin saada tilastolliseen inversioon perustuvan matemaattisen menetelmän avulla.

Edellä kuvatun kaltaisissa mittauksissa on ollut ongelmana tarvittavan laskennan ja datamuistin suuri määrä, mikäli mittaukset halutaan tehdä ja tulokset analysoida kohtuullisessa tai jopa reaaliajassa. Eräillä perusoletuksilla - koherentti integrointi 300 millisekunnin yli, näyteväli 0,5 mikrosekuntia - saadaan 600 000 pistettä sisältävä datavektori, jonka FFT (Fast Fourier Transform; nopea Fourier-muunnos) vaatii noin 60 miljoonaa liukulukuoperaatiota. Arvioidulla 1000 km:n etäisyysvaatimuksella ja kohtuullisella range gate -arvolla $1000 / 0,075 \approx 13\,000$ tämä merkitsee noin 800 miljardia liukulukuoperaatiota. Tämän selityksen kirjoittamishetkellä sopivilla ohjelmisto- ja laitteistovälineillä varustettu edistynyt työasema pystyy suorittamaan noin miljardi liukulukuoperaatiota sekunnissa (1 Gflops) tämänpituisille FFT-muunnoksille, mikä tarkoittaa, että 0,3 sekunnin mittausdatan analysointi vaatii noin 800 sekunnin pituisen laskennan.

Keksinnön yhteenveto

Esillä olevan keksinnön tavoitteena on toteuttaa menetelmä ja tekniset välineet etäisten liikkuvien kohteiden tutkamittausten ja analysoinnin suorittamiseksi kohtuullisessa ajassa ja kohtuullisella laskentatyöllä. Lisäksi keksinnön tavoitteena on, että avaruusromumittauksiin sovellettuna menetelmä voisi käyttää hyväkseen olemassa olevia ionosfääritutkia.

Keksinnön tavoitteet saavutetaan vähentämällä käsiteltävien näytteiden määrää perustuen siihen, että huomioon tarvitsee ottaa vain rajoitettu Doppler-nopeusalue, ja rajaamalla FFT-laskenta vain datavektorien nollasta poikkeaviin osiin.

Keksinnön mukaiselle menetelmälle on tunnusomaista se, mitä on esitetty itsenäisen menetelmään kohdistuvan patenttivaatimuksen tunnusmerkkiosassa.

Keksintö koskee myös signaalinkäsittelylaitetta tutkajärjestelmässä vastaanotettujen signaalien käsittelemiseksi. Keksinnön mukaiselle signaalinkäsittelylaitteelle on tunnusomaista se, mitä on esitetty itsenäisen signaalinkäsittelylaitteeseen kohdistuvan patenttivaatimuksen tunnusmerkkiosassa.

Keksintö koskee myös tutkajärjestelmää liikkuvien kohteiden havaitsemiseksi. Keksinnön mukaiselle tutkajärjestelmälle on tunnusomaista se, mitä on esitetty itsenäisen tutkajärjestelmään kohdistuvan patenttivaatimuksen tunnusmerkkiosassa.

Lisäksi keksintö koskee tietokoneohjelmatuotetta. Keksinnön mukaiselle tietokoneohjelmatuotteelle on tunnusomaista se, mitä on esitetty tietokoneohjelmatuotteeseen kohdistuvan itsenäisen patenttivaatimuksen tunnusmerkkiosassa.

Eräs tärkeä ero ionosfääritutkamittausten ja kovien kohteiden havaitsemisen välillä liittyy taajuuksien käyttöön. Ionosfäärimittausvastaanotin tyypillisesti käyttää rinnakkaisia taajuuskanavia alasmuunnoksen jälkeen niin, että kullekin taajuuskanavalle syntyy itsenäinen datavuo. Kovan kohteen tutkassa on kuitenkin edullisempaa näytteistää vastaanotettu ja alasmuunnettu signaali riittävän nopeasti alasmuunnetun signaalin kaikkien merkittävien osien saamiseksi mukaan yhteen digitaaliseen datavuohon. Tämä on johtanut siihen, että on valittu näytetaajuus, joka voi mahdollistaa jopa noin ± 160 km/s suuruisten kohdenopeuksien yksikäsitteisen ratkaisemisen, kun kohtuudella voidaan olettaa, että ainakin lähes pystysuorassa suuntauksessa (avaruusromumittauksissa) ± 5 km/s säteisnopeusväli olisi enemmän kuin riittävä. Ilmakehätutkamittauksissa, kuten sotilaallisissa valvontasoveluksissa, kyseeseen tuleva nopeusväli on vielä kapeampi. Näin ollen vektorin FFT-muunnettavien pisteiden määrää voidaan turvallisesti vähentää desimoimalla. Vaikka näin tulee suoritettavaksi ylimääräinen desimointilaskenta, siitä saatava hyöty FFT-laskennassa on kuitenkin paljon merkittävämpi. Desimoinnissa voidaan olettaa, että kiihtyvyydestä riippuva tekijä on lähes vakio alkuperäisten datavektoripisteiden pienellä alueella, jolloin se voidaan poistaa desimointisummasta, mikä vähentää liukulukuoperaatioiden määrää entisestään.

Toinen huomioon otettava tärkeä seikka on tutkalähetyksen luonnostaan pieni pulssisuhde (engl. duty cycle), mikä merkitsee, että useimmat FFT-muunnettavat datavektorien pisteet ovat nolliä, jotka sijaitsevat säännöllisesti esiintyvissä lohkoissa. Esillä olevan keksinnön mukaisesti "nollalohkot" voidaan leikata pois datavektoreista ennen FFT:n laskemista, mikä voi lyhentää datavektorin pituutta jopa 90 %. Tämä puolestaan johtaa vähintään samanlaiseen suhteelliseen säästöön tarvittavassa laskentatyössä. Haittapuolena on tietynasteinen tarkkuushäviö ja tulosten jonkin suuruinen vinouma, mutta nämä voidaan kuitata osittain luottamalla niiden deterministiseen luonteeseen, joka mahdollistaa järjestelmällisen kompensoinnin, ja osittain sillä havainnolla, että tietty kohde yleensä esiintyy mittausdatassa useiden kymmenien integrointijaksojen ajan, jona aikana sen säteisnopeus muuttuu riittävästi ohjataksaan approksimoivaa laskentaa todellisen, oikean tuloksen suuntaan.

Tässä patenttihakemuksessa esimerkkeinä esitettyjen suoritusmuotojen ei pidä tulkita asettavan rajoituksia oheisten patenttivaatimusten sovellettavuudelle. Ver-

biä "käsittää" on käytetty tässä patenttihakemuksessa avoimena rajoitteena, joka ei sulje pois tässä mainitsemattomia ominaisuuksia. Epäitsenäisissä patenttivaatimuksissa mainittuja ominaisuuksia voidaan vapaasti yhdistellä, ellei nimenomaan toisin ole mainittu.

- 5 Keksinnölle tunnusomaisina pidetyt uudet ominaisuudet on esitetty yksityiskohtaisesti oheisissa patenttivaatimuksissa. Keksintöä itseään, sen rakennetta ja toimintaperiaatetta, sekä sen lisätavoitteita ja -etuja on kuitenkin selostettu seuraavassa eräiden suoritusmuotojen avulla ja viitaten oheisiin piirustuksiin.

Piirustusten lyhyt kuvaus

- 10 Kuva 1 esittää tunnettua tutkajärjestelmää,
kuva 2 esittää kohteen säteisetäisyyttä ajan funktiona,
kuva 3 esittää Fourier-muunnettavan vektorin desimointia ja tiivistämistä,
kuva 4 esittää keksinnön erään suoritusmuodon mukaista laitetta,
kuva 5 esittää keksinnön erään suoritusmuodon mukaisen menetelmän ja tietokoneohjelmatuotteen osaa,
15 kuva 6 esittää keksinnön erään suoritusmuodon mukaisen toisen menetelmän ja tietokoneohjelmatuotteen osaa, ja
kuva 7 esittää keksinnön erään suoritusmuodon mukaisen menetelmän ja tietokoneohjelmatuotteen erästä yksityiskohtaa.

20

Keksinnön yksityiskohtainen sellitys

Matemaattinen kehittäminen

- 25 Tehtävää etäisen liikkuvan kohteen havaitsemiseksi tutkimittauksen avulla voidaan kuvata yksinkertaisesti siten, että lähetetään tunnettu signaali $x(t)$ ja etsitään kovan kohteen kaikusignaalin $s(t)$ sopivat parametrit (niiden paras estimaatti) gaussisen kohinan $\gamma(t)$ läsnäollessa. Vastaanotettu signaali $z(t)$ on summa

$$z(t) = s(t) + \gamma(t) \quad (1)$$

ja kaikkia mainittuja suureita voidaan käsitellä kompleksiarvoisina (havaittuina) aaltomuotoina.

- 30 Tilastollisen inversion käyttö tarkoittaa, että käytetään parametrisoitua mallia signaalille $s(t)$ ja etsitään todennäköisin signaali joukosta mallisignaaleja, kun tunnetaan mitattu signaali $z(t)$.

Ennen kuin tehdään lisäoletuksia mallisignaaleista, oletetaan vain, että mallisignaali riippuu lineaarisesti kompleksisesta amplitudista b ja epälineaarisesti joistakin muista parametreista, joita merkitään kollektiivisesti θ . Toisin sanoen oletuksemme oikeasta kohinattomasta kohteen kaikusignaalista on muotoa

$$5 \quad s(t) = b \cdot \chi(\theta; t) . \quad (2)$$

Otetaan näytteitä vastaanotetusta signaalista $z(t)$ käyttäen näyteväliä τ ja saadaan N_c näytettä aikavälillä T_c , jota nimitetään integrointiajaksi. N_c näytteen joukko muodostaa "mittauksen".

10 Intuitiivisesti on järkeenkäypää, että jotkin mallifunktioista, so. jotkin mahdollisista parametrijoukoista (b, θ) , ovat todennäköisempiä kuin toiset selittämään tiettyä mitausta, vastaanotetusta signaalista $z(t)$ riippuvalla tavalla. Tilastollinen inversio tarkoittaa, että parametrien todennäköisin arvo etsitään systemaattisella tavalla. Voidaan osoittaa, että tässä tehtävässä on kyse niiden estimaattien $(\hat{b}, \hat{\theta})$ löytämisestä, jotka minimoivat pienimmän neliösumman menetelmän normin

$$15 \quad (\hat{b}, \hat{\theta}) = \underset{b, \theta}{\operatorname{argmin}} \|z - b \cdot \chi(\theta)\| . \quad (3)$$

20 Geometrisesti voidaan ajatella, että kaikkien mahdollisten mallivektorien $b\chi(\theta)$ joukko muodostaa alijoukon kompleksisessa vektoriavaruudessa, jolla on yhtä monta ulottuvuutta kuin on parametreja θ ssa. Sopivin mallifunktio on se, jolle vastaava mallivektori on lähinnä vastaanotettua signaalivektoria z , so. yhdensuuntaisin sen kanssa. Voidaan määritellä sovitusfunktio MF seuraavasti:

$$MF(\theta) = \frac{\langle z, \chi(\theta) \rangle}{\|\chi(\theta)\|} . \quad (4)$$

Paras parametrien θ joukko, so. paras estimaatti $\hat{\theta}$, on se, joka maksimoi sovitusfunktion MF :

$$\hat{\theta} = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} MF(\theta) . \quad (5)$$

25 Kompleksiarvoisen signaalin energia saadaan kertomalla signaalin neliöity normin näytevälillä. Estimoidun signaalin energia on sovitusfunktion maksimin neliö. Parametriestimoinnin sovitusfunktio menetelmä voidaan siten tiivistää kahteen kohtaan:

- epälineaariset parametrit θ saadaan sijoittamalla MF -maksimin kohta parametri-aliavaruuteen

- signaalienergia saadaan MF -maksimin arvon neliönä.

- 5 Seuraavaksi määritellään, että epälineaariset parametrit θ ovat säteisetäisyys R , säteisnopeus v ja säteiskiivtyvyys a . Oletetaan, että hetkellä $t = 0$ kiinteä kohde, jolla on vakiona pysyvä tutkapaikkileikkaus, sijaitsee antennikeilassa etäisyydellä R_0 monostaattisen tutkan antennista ja liikkuu säteisnopeudella v_0 ja vakiona pysyvällä säteiskiivtyvyydellä a_0 . Kuvassa 2 on graafinen esitys kohteen säteisetäisyydestä.

- 10 Olettaen että tutkasignaalin etenemisnopeus on c , niin mille tahansa kohteen säteisliikkeelle $r(t)$ saadaan pistemäisen kohteen heijastusviive seuraavasti:

$$t - t' = \frac{2r\left(\frac{t' + t}{2}\right)}{c} . \quad (6)$$

Vakiona pysyvällä säteiskiivtyvyydellä säteisetäisyys r on

$$r = r(R_0, v_0, a_0; t) = R_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2 . \quad (7)$$

- 15 Kaavan (2) liikkeelle yhtälö (1) on neliöllinen t' :n suhteen. Yhtälön ratkaisu pulssin etenemisajalle $t - t'$, neliöjuuren etumerkin sopivalla valinnalla, on

$$t - t' = \frac{2c}{a_0} \left\{ 1 + \frac{v_0}{c} + \frac{a_0}{c} t - \left[1 + \frac{2v_0}{c} + \left(\frac{v_0}{c}\right)^2 + \frac{2a_0}{c} \left(t - \frac{R_0}{c}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\} . \quad (8)$$

- 20 Yhtälöä (3) voidaan yksinkertaistaa kehittämällä neliöjuuri potenssisarjaksi. On oltava huolellinen siinä, mitkä termit voidaan pudottaa kehitelmästä. Jos jälleen ajatellaan avaruusromuesimerkkiä ja lähes pystysuoralle EISCAT UHF-mittaukselle tyypillisiä parametriarvoja,

$$\begin{aligned} R_0 &\approx 10^6 \text{ m}, \\ v_0 &\approx 10^3 \text{ ms}^{-1}, \\ a_0 &\approx 10^2 \text{ ms}^{-2}, \\ \omega_1 &\approx 6 \cdot 10^9 \text{ Hz}, \end{aligned}$$

- 25 missä ω_1 on tutkasignaalin kanta-aaltotaajuus, kaikki yhtälön (3) termit hakasulku-
jen sisällä olevan "1":n jäljessä ovat hyvin pieniä ykköseen verrattuna. Alan am-

mattihenkilö voi helposti suorittaa vastaavan approksimoinnin systeemeille, joissa perusparametrit ovat erilaiset.

- 5 Se mikä varsinaisesti ratkaisee, mitkä termit X on säilytettävä, on vaatimus siitä, että heijastuneen aallon vastaavalla vaihekulmalla $\phi_X = \omega_1 2cX / a_0$, missä ω_1 on tutkalähetteen taajuus, on oltava mahdollisuus muuttua huomattavasti integrointi-aikana. Jos otetaan $[1+(\dots)]^{1/2}$ potenssisarjakehitelmän ensimmäiset kolme alimman asteen termiä ja jätetään huomiotta oleellisesti vakiona pysyvät yksittäiset termit - esimerkiksi kaikki termit, joille ϕ_X jää pienemmäksi kuin 0,1 rad, kun integrointiaika on vähemmän kuin yksi sekunti - niin saadaan

$$10 \quad t - t' \approx \frac{2}{c} \left[R_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2 - (v_0 + a_0 t) \frac{R_0}{c} \right] \quad (9)$$

$$= \frac{2}{c} \left[R_0 + v_0 \left(t - \frac{R_0}{c} \right) + \frac{1}{2} a_0 \left(t - \frac{R_0}{c} \right)^2 \right] \quad (10)$$

$$= \frac{2}{c} r \left(R_0, v_0, a_0; t - \frac{R_0}{c} \right) \quad (11)$$

- 15 Jos ajatellaan keksinnön yleistä sovellettavuutta kaikenlaisten liikkuvien kohteiden etähavaitsemiseen, niin tarkastelu siitä, mitkä termit tulee säilyttää, tulisi tehdä erikseen ottaen huomioon kulloisetkin fyysiset olosuhteet. Yhtälö (10) yllä on itse asiassa Taylor-kehitelemä, joka kuvaa kohteen liikettä tietyillä, avaruusromun havaitsemista koskevalle esimerkkitapaukselle tyypillisillä oletuksilla. Mikäli voidaan tehdä muita oletuksia etäisyydestä, nopeudesta, kiihtyvyydestä ja/tai kohteen liikkeen jostakin muusta parametrilla, voi hyvin olla niin, että laskentaan on otettava 20 mukaan vastaavan Taylor-sarjan eri ja/tai lisätermejä.

- Keksinnön kannalta ei ole välttämätöntä johtaa Taylor-sarjaa juuri siten kuin edellä on esimerkinomaisesti selostettu. Alan ammattihenkilö osaa tehdä ja soveltaa muita oletuksia, jotka voisivat päteä erilaisessa fyysisessä tilanteessa, ja johtaa vastaavan Taylor-sarjan. Johdonmukaisuuden vuoksi ja ymmärtämisen helpottamiseksi 25 jatketaan kuitenkin seuraavassa käyttäen edellä tehtyjä esimerkkioletuksia.

- Termi $-R_0/c$ on luonnollinen ensimmäisen asteen korjaus pulssiheijasteen ajanhetkeen; ainoa ei-triviaali aspekti on, että tämä korjaus on jo riittävä (tyypillisille mittauskokoonpanoillamme). Hyvänä approksimointina voidaan siten esittää MF-laskennassa (ks. yhtälö (4)) käytettävät mallifunktiot $\chi(R, v, a; t)$ lähetenäytesignaalin $x(t)$ termein seuraavasti: 30

$$\chi(R, v, a, t) = x\left(t - \frac{2}{c}r\left(R, v, a, t - \frac{R}{c}\right)\right) \quad (12)$$

Toistaiseksi ei tässä kehittämissä ole läheteestä oletettu mitään. Periaatteessa, niin kauan kuin lähetettä voidaan tarkasti mitata lähetteen näytesignaalin avulla (ks. esimerkiksi ohjauskenttä kuvassa 1), ei ole edes tarvetta tietää, mitä lähettää on käytetty; MF-koneisto sisällyttää lähetteen itseensä läpinäkyvästi. Tämä on etu ajatellen automatisoituja "piggyback"-mittauksia, esimerkiksi jos keksintöä käytetään avaruusromun tarkkailuun ionosfääritulkajärjestelmien, kuten EISCATin, lisäominaisuutena.

Seikka, joka kuitenkin on otettava huomioon, on se, että tutkan kohinaympäristö on usein heikosti approksimoitavissa millään sellaisella oletuksella, että se koostuisi vain stationäärisestä gaussisesta kohinasta. Käytännössä tapahtuu kaikenlaisia vääristymiä, joista yksi on se, että ionosfääri näkyy välkkeenä datassa. Näiden ongelmien ratkaisemiseen on käytetty enemmän tai vähemmän improvisoituja, manuaalisia, tapauskohtaisia ratkaisuja. Lisäksi antennin suuntaus voi muuttua mittauksen aikana; esimerkiksi monissa EISCAT-mittauksissa käytetään syklisiä antennisuuntausjärjestelyjä.

Seuraavaksi oletetaan, että lähete $x(t)$ voidaan esittää

$$x(t) = \varepsilon(t) \exp(i\omega_1 t) \quad (13)$$

missä ω_1 on kantoaaltotaajuus ja lähetteen verhoaaltoikäyrä $\varepsilon(t)$ on hitaasti muuttuva funktio, joka kuvaa esimerkiksi binaarivaihemodulaatiota, kuten on usein asian laita ionosfääritulkamittauksissa, joita voidaan käyttää "kantajina" avaruusromututkimuksille, esimerkiksi EISCATissa. Tämä kuvaus kelpaa yhden taajuuskanavan läheteelle. Jätetään huomiotta korjaus $-R/c$ pulssin heijastusaikaan yhtälössä (12) ja käytetään yhtälön (13) erikoismuotoa ja kirjoitetaan mallifunktio

$$\chi(t) \approx \varepsilon\left(t - \frac{2}{c}r(t)\right) \exp\left[i\omega_1\left(t - \frac{2}{c}r(t)\right)\right] \quad (14)$$

Hitaasti muuttuvan läheteverhoikäyrän sisällä voidaan olettaa, että $r(t)$ pysyy yhtä suurena kuin vakioarvo R integrointiaikana. Tällöin, yhtälöistä (14) ja (13),

$$\chi(t) \approx \varepsilon\left(t - \frac{2R}{c}\right) \exp\left[i\omega_1\left(t - \frac{2}{c}R\right)\right] \exp\left[i\left(-\omega_1 \frac{2}{c}v\right)t + i\left(-\omega_1 \frac{a}{c}\right)t^2\right]$$

$$= x\left(t - \frac{2R}{c}\right) \exp[i(\omega_D t + \alpha_D t^2)] , \quad (15)$$

missä $\omega_D = -\omega_1 \frac{2v}{c}$ ja $\alpha_D = -\omega_1 \frac{a}{c}$ ovat Doppler-taajuus ja Doppler-taajuuden muutosnopeus (= "Doppler-ryömintä"). Yhtälön (15) approksimaatiota käytetään usein kirjallisuudessa (jopa ilman ryömintätermiä), ja se selitetään esittämällä, että vastaanotettu signaali on lähetteen ajallisesti viivästynyt, Doppler-siirtynyt kopio. Tällä mallilla yhtälön (4) sovituskäsitelmä voidaan laajentaa jatkuva-aikaisiin signaaleihin seuraavasti:

$$MF(R, v, a) = \frac{\left| \int_a^b z(t) \bar{x}\left(t - \frac{2R}{c}\right) \exp[-i(\omega_D t + \alpha_D t^2)] dt \right|}{\sqrt{W_x}} , \quad (16)$$

jossa $W_x = \int |x(t)|^2 dt$ on lähetteen näytesignaalin energia ja viiva x:n yläpuolella tarkoittaa kompleksikonjugaatin ottamista.

Signaalivektoreille on otettava huomioon, että lähetenytykset ovat käytettävissä vain hetkillä $n\tau_s$, missä n on positiivinen kokonaisluku. Tämä jo vaatii diskretisoimaan etäisyysmuuttujan. Kun

$$R_j = j \frac{c\tau_s}{2} \quad (17)$$

niin sovituskäsitelmästä tulee

$$MF(R, v, a) = \frac{\left| \sum_{n=0}^{N-1} z_n \bar{x}_{n-j} \exp[-i(\omega_D n + \alpha_D n^2)] \right|}{\|x\|} \quad (18)$$

jossa normalisoitu Doppler-siirtymä ja normalisoitu Doppler-ryömintä ovat

$$\omega_d = -\omega_1 \tau_s \frac{2v}{c} , \quad (19)$$

$$\alpha_d = -\omega_1 \tau_s \frac{a}{c} \quad (20)$$

vastaavasti. Kohdissa

$$v_k = k \frac{c}{\omega_1 \tau_s} \quad (21)$$

yhtälö (18) voidaan kirjoittaa

$$MF(R_j, v_k, a) = \frac{\left| \sum_{n=0}^{N-1} (z_n \bar{x}_{n-j} \exp(-i\alpha_d n^2)) \exp\left(-i \frac{kn}{N}\right) \right|}{\|x\|} \quad (22)$$

5 mikä osoittaa, että näissä kohdissa MF on arvioitavissa FFT:n avulla. Nimittäjä $\|x\|$ on lähetenyhteen energian neliöjuuri, ja se on tietenkin riippumaton parametreista R , v ja a .

Yleisesti ottaen säteiskiihtyvyyden a on tuntematon. Erityistapauksissa, kuten avaruusromututkimuksissa, voidaan kuitenkin käyttää hyväksi sitä tosiasiaa, että avaruusromun kappaleet kiertävät maata, jolloin säteiskiihtyvyys riippuu kiertoradan muodosta ja korkeudesta sekä antennin suuntauksesta. Oletetaan pystysuora antenni suuntaus ja ympyrämäiset kiertoradat, jolloin

$$a = g_0 \frac{R_E}{h} \left(\frac{R_E}{R_E + h} \right)^2, \quad (23)$$

missä R_E on maapallon säde (6360 km), g_0 on painovoimakiihtyvyys nollakorkeudella ($9,8 \text{ m/s}^2$) ja h on kohteen korkeus. Kokeilu datalla on osoittanut, että herkkyydestä ei käytännössä menetetä paljonkaan, vaikka kiihtyvyys ei vaihtelisikaan.

15 Rutiinianalyyseissä riittää siksi, että etsitään MF -maksimia vain (R_j, v_k) -hilan yli. Mikäli kiihtyvyys pitää selvittää erikseen, se voidaan sisällyttää lisäparametrina MF -maksimointitehtävään, mikä luonnollisesti jonkin verran lisää optimointilaskennan monimutkaisuutta.

Matemaattisissa analyyseissä on tähän mennessä kuvattu oleellisesti tunnettuja seikkoja tilastollisen inversion soveltamisesta etäisten liikkuvien kohteiden havaitsemiseen tutkalla. Ellei lisääpprosimaatioita tehdä, edellä selostettuja menetelmiä käyttävä tekniikan tason mukainen analysointitietokone joutuisi vaikeuksiin vaadittavan laskentatyön vuoksi, kuten tekniikan tason selostuksessa kuvattiin. Seuraavassa esitetään nopea (joskin approksimoiva) tapa sovituskäytännön arvioimiseksi.

25 Nimitetään seuraavaa prosessia nopeaksi sovituskäytännön algoritmiksi (FMF).

Ensiksi voidaan todeta, että tavoite kaikkien hyödyllisten taajuuksien kattamiseen yhdellä AD-muunnoksella ja riittävän tiheällä näytteenottotaajuuksella johtaa itse asiassa paljon korkeampaan näytteenottotaajuuteen kuin mitä tarvitaan fyysisesti mahdollisen säteisnopeusalueen yksikäsitteiseen ratkaisemiseen. Esimerkiksi, yleisesti käytetylle 930 MHz:n tutkataajuukselle (joka vastaa 0,32 m aallonpituutta)

30

2 MHz:n näytteenottotaajuus antaa yksikäsitteiset nopeudet välillä $\pm(f_s/2) \cdot (\lambda/2) = \pm 160$ km/s, kun lähes pystysuorassa antennisuuntauksessa on enemmän kuin riittävää, että tarkkaillaan vain nopeusväliä ± 5 km/s. Siksi voidaan yhtälön (22) Fourier-muunnettavan vektorin w

$$5 \quad w_n = z_n \bar{x}_{n-j} \exp(-i\alpha_d n^2) \quad (24)$$

näytteenottotaajuutta alentaa (desimoida) jopa arvolla $M_{dec} = 160/5 = 32$. Tyypillisesti käytetään arvoa $M_{dec} = 15$ ja muodostetaan desimoitu vektori w' lisäämällä peräkkäisiä w_n -arvoja M_{dec} :n lohkoissa. Samalla käytetään hyväksi tietoa, että sellaisessa lohossa kiihtyvyyserroin $\exp(-i\alpha_d n^2)$ on lähes vakio. Poistetaan se desimointisummasta laskettavien kertolaskujen ja kompleksisten eksponentiaalien määrän vähentämiseksi.

Toiseksi hyödynnetään tietoa, että useimmat w_n -arvoista ovat nollia. Pulssitutkan lähetyksen pulssisuhde ei ole 100 % vaan vähemmän, esimerkiksi 10 prosentin luokkaa EISCAT UHF -tutkakokeissa. Siksi noin 90 % lähetenäytteistä x_n on nollia (eivät sisällä lähetettä) säännöllisesti sijaitsevissa lohkoissa. Kukin w_n on tulo (ks. yhtälö (24)), jolloin se tarvitsee laskea ja desimoida vain nollasta poikkeaville x_n :lle. Kuva 3 esittää tätä kaavamaisesti ja siten, että vektorialkioiden määriä on kuvassa selvyuden vuoksi merkittävästi vähennetty. Ylin lohkorivi vastaa vektoria w , missä vain rastiattamattomat vektorialkiot 301-308 ovat nollasta poikkeavia ja tarvitsee siis laskea. Desimointi arvolla $M_{dec} = 4$ tuottaa vektorin w' nollasta poikkeavin alkiolohkoin paikoissa 311, 312, 313 ja 314, missä desimointisumma sisälsi myös muita kuin vain nolla-alkioita vektorista w'' .

Ratkaiseva aikaa säästävää askel on jättää huomiotta nollat myös silloin, kun kerätään desimoituja tuloja lopulliseen FFT-syötevektoriin w'' . Nollasta poikkeavat lohkot vain ketjutetaan peräkkäin, lisäämättä väliin nollalohkoja, kuvan 3 alimman rivin esittämällä tavalla. FMF-kaava on seuraava:

$$25 \quad FMF(R_j, v_k, a) = \frac{\left| \sum_{n=0}^{N''-1} w''_n \exp\left(-i \frac{kn}{N}\right) \right|}{\|x\|} \quad (25)$$

Vektori w'' on tyypillisesti kaksi kertaluokkaa lyhyempi kuin w . Edellä selostetussa tapauksessa w'' :n pituus $N'' = (1/15) \cdot 0,1 \cdot 600\,000 = 4000$. Paljon lyhyemmän FFT-syötevektorin ansiosta, vaikka ottaisimme huomioon desimoinnin aiheuttaman lisä-

työn, *FMF* on tyypillisissä tapauksissa 100-300 kertaa nopeampi kuin tavallinen *MF*.

Ei siis ole epäilystä siitä, että *FMF*-algoritmi lisää nopeutta. Mutta millä hinnalla? Desimointi, algoritmin ensimmäinen vaihe, aiheuttaa vain vähän tietohäviötä. Pohjimmiltaan kyse on vain siitä, että palaamme takaisin alkuperäisestä "ylinäytteistyksestä". Voimme palata takaisinpäin tässä vaiheessa, mutta emme aikaisemmin, koska vektori w on lähellä nollataajuutta, kun taas raakadatavektori z , monitaajuuslähetteen tapauksessa, ei ole. Yhtälössä (24) z :n kukin taajuuskanava kerrotaan vastaavan lähetteen kompleksikonjugaatilla, jolloin (suunnilleen) kaikkien taajuuskanavien kantoaallot kumoutuvat samanaikaisesti. Hyvin lähellä *MF*-maksimia myös mahdollinen vaihemodulaatio kumoutuu. Näin ollen w :n näytteenottovaatimus määräytyy vain odotetun suurimman Doppler-siirtymän koon perusteella.

Tarkastellaan nyt toista vaihetta. Miten nollalohkojen poisto vaikuttaa Fouriermuunnoksen tulokseen? Jätetään tässä kohdin huomiotta jokseenkin triviaali desimointiaskel. Sovitusfunktiota tarvitaan vain lähellä maksimiaan, joten oletetaan, että oikea etäisyys ja kiihtyvyyden on löydetty ja vastaavat vaihetekijät poistettu vektorista (w_n) ja jäljellä on enää vain Doppler-termi $\exp(i\omega_0 n)$, missä ω_0 on kohteen normalisoitu Doppler-siirtymä. Myös kohina jätetään huomiotta, joten olemme itse asiassa laskemassa jotakin, jota voisimme käsitteistön johdonmukaisuuden nimissä kutsua nopeaksi ambiguuteettifunktioksi, *FAF*.

Oletetaan yksitaajuuslähete, joka koostuu M pulssista, joissa kussakin on L näytettä, ja jota lähetetään P näytteen pituisin pulssiväleillä. Silloin, lähellä maksimia, w koostuu M pulssista, joiden amplitudi esimerkiksi on yksi ja joista kukin käsittää L näytettä, Doppler-siirrettyinä arvolla ω_0 , ja $P - L$ nollaa kunkin pulssiparin välissä. w :n nollassa poikkeavat osat koostuvat M lohkokosta, ja m :nessä lohkokossa w_n saa arvot

$$w_n^{(m)} = \exp[i\omega_0(n + mP)], \quad n = 0, \dots, L-1. \quad (26)$$

FAF(ω):n laskemiseksi lohkot $\{w_n^{(m)}\}$ ketjutetaan ensin ja sitten kerrotaan tekijällä $\exp(-i\omega n)$. m :s lohko kerrotaan seuraavasti:

$$u_n^{(m)} = \exp[-i\omega(n + mL)], \quad n = 0, \dots, L-1. \quad (27)$$

m :nnen lohkon osuus $I^{(m)}$ yhtälön (25) nimittäjän sisätuloon on

$$I^{(m)} = \sum_{n=0}^{L-1} w_n^{(m)} \cdot u_n^{(m)}. \quad (28)$$

Yhtälön (25) nimittäjän sisältämä normi $\|x\|$ on M kertaa L termien, jotka kaikki ovat suuruudeltaan yksi, summa, jolloin saadaan yhtälöistä (25) ja (28)-(26)

$$FAF(\omega) = \frac{1}{ML} \left| \sum_{m=0}^{M-1} I^{(m)} \right| \quad (29)$$

$$= \frac{1}{ML} \left| \sum_m \sum_n \exp[i\omega_0(n+mP)] \exp[-i\omega(n+mL)] \right| \quad (30)$$

$$5 \quad = \frac{1}{L} \left| \sum_{n=0}^{L-1} \exp[i(\omega_0 - \omega)n] \right| \cdot \frac{1}{M} \left| \sum_{m=0}^{M-1} \exp[i(\omega_0 P - \omega L)m] \right| \quad (31)$$

$$= \text{diric}(\omega_0 - \omega, L) \cdot \text{diric}(\omega_0 P - \omega L, M) \quad (32)$$

missä Dirichlet'n ydin "diric" on määritelty

$$\text{diric}(x, M) = \frac{|\sin(xM/2)|}{M|\sin(x/2)|} \quad (33)$$

10 Lausekkeen (32) ensimmäinen tekijä koodaa yksittäiseltä pulssilta saatavan Doppler-nopeustiedon. Tekijällä on absoluuttinen maksimi kohteen Doppler-taajuudella ω_0 , ja maksimia lähimpänä olevat nollat ovat taajuudella $\omega_{\pm} = \omega_0 \pm 2\pi L$. Lausekkeen (32) toinen tekijä aiheutuu pulssitoistosta. Sillä on maksimit, jotka kaikki ovat suuruudeltaan yksi, kohdissa

$$\omega_n = \frac{P}{L} \omega_0 + n \frac{2\pi}{L} \quad (34)$$

15 Yleisesti ottaen mikään maksimeista ω_n ei ole yhtenevä ω_0 :n kanssa. Siksi $FAF(\omega)$:n maksimi ei sijaitse odotetussa paikassa ω_0 . Tämä merkitsee, että estimoitu nopeus on vääristynyt. Tämä ei ole vakavaa, koska vääristymä on melko pieni, alle 0,2 km/s normaaleissa mittausmoodeissa, joita käytetään sovellettaessa keksintöä EISCAT-tutkilla tehtäviin avaruusromututkimuksiin.

20 Potentiaalisesti ongelmallisempaa kohteen havaitsemisen kannalta on FMF -maksimiarvon pieneneminen MF -maksimiarvoon verrattuna. Jonkin verran häviötä voidaan odottaa integroidun signaalin amplitudiin, sillä FMF ei ole enää optimiratkaisu estimointiongelmaan. Pienenemisen määrä riippuu kohteen nopeudesta. Pieneneminen häviää joillakin kohteen nopeuksilla, mutta vielä hyödyllisempi ominaisuus on, että pienenemisellä on yläraja, joka on kohtuullisen alhainen. FAF :n maksimiarvo osuu lähelle sitä ω_n :ta, joka on lähinnä ω_0 :ta. Tällainen ω_n , yhtälön (34) mukaisesti, ei koskaan ole kauempana ω_0 :sta kuin puolet ω_n :n välistä $2\pi L$.

Siksi *FAF*:n maksimiarvo huonoimmassa tapauksessa on noin $\text{diric}(\pi/L, L)$, eli 64 % ihannearvosta. Tämä tulos koskee yhden taajuuden tapausta. Hieman monimutkaisemmalle monitaajuustapaukselle on myös olemassa yläraja, joka voidaan johtaa samalla tavalla.

- 5 Usein kohdetta voidaan tarkkailla muutaman sekunnin ajan sen kulkiessa keilan halki, ja tuona aikana sen nopeus tyypillisesti vaihtelee niin paljon, että jollekin integroinnille se on lähellä "hyvää" arvoa, missä *FMF*-maksimi on lähellä *MF*-maksimia. Tämä selittää miksi käytännössä näyttää mahdolliselta saavuttaa lähes sama havaitsemisherkkyys *FMF*:llä kuin *MF*:llä. Suurimpana erona on, että havaitseminen *FMF*:llä etenee yli sata kertaa nopeammin.

Mittaus- ja analysointilaitte

- 15 Kuva 4 esittää keksinnön erään suoritusmuodon mukaista mittaus- ja analysointilaitetta. Mittausdatan tallennus- ja analysointitehtävä on jaettu kahdelle tietokoneelle, jotka ovat mittautietokone 401 ja analysointitietokone 402. Kuvassa 4 esitettyjä laitteen muita osia ovat kytkin 403 tietoliikenteen järjestämiseen sekä muistijärjestely 404 (kiintolevy). Laite on järjestetty suorittamaan kuvien 5 ja 6 mukaista menetelmää, mikä voidaan tulkita myös niin, että laite käsittää koneluettavalle välineelle tallennetun tietokoneohjelmatuotteen, joka, kun se suoritetaan kuvan 4 ohjelmoitavissa välineissä, aiheuttaa mainitun menetelmän vaiheiden suorituksen.

- 20 Analoginen välitaajuussignaali tulee tutkan vastaanottohaarasta mittautietokoneen AD-muuntimelle 411 muunnettavaksi digitaaliseen esitysmuotoon. Olettaen, että laitetta käytetään avaruusromututkimukseen EISCAT-järjestelmän yhteydessä, voidaan todeta, että välitaajuussignaali sisältää myös aikakanavoidusti lähetteen näytesignaalin. EISCAT-järjestelmässä aikakanavoitinta ohjataan tutkaohjaimen mikroprosessorin muodostamalla ns. TX-bitillä. Kuten kuvassa 4 esitetään, TX-bitti tallennetaan myös mittautietokoneessa lähetyslohkojen merkitsemiseksi. Eräs esimerkinomainen tapa TX-bitin tallentamiseksi on tallentaa se 16+16-bittisten kompleksisten kokonaislukudatasanojen imaginaariosan vähiten merkitsevänä bittinä. Tällä järjestelyllä lähetteen näytesignaalin näytteenottotaajuus on automaattisesti sama kuin varsinaisessa vastaanotossa. Itse asiassa suurempi näytteenottotaajuus olisi edullisempi, joten järjestelmän jatkokehittely voisi sisältää järjestelyn lähetteen näytesignaalin näytteenottotaajuuden nostamiseksi.

Kuvan 4 mukaisessa esimerkijärjestelmässä AD-muunnin 411 ottaa näytteitä tulevast välitaajuussignaalista 40 MHz:n taajuudella, mitä kuvassa 5 vastaa vaihe

501. Syntyvä reaaliarvoinen näytevuoto käsitellään ohjelmoitavassa logiikkapiirissä 412 kvadratuuri-ilmaisun suorittamiseksi oleellisesti suorittamalla Hilbert-muunnos. Muunnoksen tuloksena on kompleksiarvoinen 10 MHz:n näytevuoto, joka edustaa analogisen syötteen spektrisisällön negatiivista taajuusosaa. Sen jälkeen ohjelmoi-
- 5 tavata logiikkapiiri 412 desimoi 10 MHz:n vuon lopulliseen näytteenottotaajuuteen. Tyypillinen desimointikerroin M on 20, joka antaa 500 kHz:n lopullisen näytetaajuuden. Desimointi tehdään lisäämällä näytteitä M:n lohkoina; tällä varmistetaan, että suodatus on oikein sovitettu lopulliseen näytetaajuuteen. Ilmaisuu ja desimointi on esitetty vaiheena 502 kuvassa 5.
- 10 Voidaan huomauttaa, että tässä järjestelyssä ei tehdä erillistä kertomista (sekoittamista) kantataajuuteen. Sen sijaan tavanomainen kantataajuinen taajuuskomponentti muodostetaan alinäytteistyksestä. Kun raaka näytteenottotaajuus on 40 MHz, järjestely edellyttää kaistarajoitetun analogisen tulon keskittyvän 10 MHz:iin. Vaikka on mahdollista saada AD-muunnin 411 toimimaan muilla näytteenottotaajuuksilla, 40 MHz on sopivin valinta. Jos jälleen ajatellaan avaruusromututkimusesimerkkiä, niin etuna on se, että kaksi eniten käytettyä EISCAT-taajuutta ovat olleet 10,1 MHz ja 9,8 MHz, jotka kuvautuvat niin lähelle nollataajuutta kuin voidaan toivoa tässä prosessointijärjestelyssä. Enemmän joustavuutta taajuuksien suhteen tarjoava vaihtoehto olisi varustaa mittaustietokone 401 kompleksisella sekoittajalla.
- 15
- 20
- 25
- DDS-lohkoon 413 (Direct Digital Synthesis) saapuu taajuusreferenssi oikeiden taajuuksien ylläpitämiseksi näytteenotto- ja desimointiprosesseissa. Tässä esimerkkisuoritusmuodossa AD-muunnin 411, ohjelmoitava logiikkapiiri 412, DDS-lohko 413 ja lähtöpuskuri 414 sijaitsevat kaikki järjestelmäkohtaisella piirilevyllä 415, joka on kytketty mittaustietokoneeseen 401 sisäiseen väylään.
- 30
- Mittaustietokone 401 ja analysointitietokone on liitetty toisiinsa gigabit-Ethernet-yhteydellä. Edullisimmin järjestelyltä on myös yhteys isäntäjärjestelmän lähiverkkoon Ethernet-yhteyttä ohjaavan kytkimen 403 kautta. Mittaustietokoneen 401 tallennusohjelma 421 lukee näytteet puskurista 414 ja kirjoittaa ne kiintolevymuistiin 404; ks. kuvan 5 vaihe 503. Tyypillisessä mittauksessa dataa kerääntyy kiintolevylle 404 7-30 gigatavua tunnissa näytteenottotaajuudesta riippuen. Lähiverkkoyhteys on hyödyllinen esimerkiksi mittaus- ja analysointitietokoneiden paikallisen ajan tahdistukseen käytettävän aikakannan järjestämiseksi. Tarkkaa ajoitusta tarvitaan esimerkiksi havaittujen tapahtumien aikaleimaamiseksi.

Datan analysointi tehdään analysointitietokoneella 402, missä tulo- ja lähtödatan käsittelyrutiini 421 reitittää dataa tarpeen mukaan. Ensin skanneri 422 lukee raakadatasegmentin (tyypillisesti 300 ms) muistista 404 ja etsii segmentistä kovia kohteita käyttäen kynnyksilmaisua sovitusfunktioimenetelmän puitteissa. Segmentin luku vastaa vaihetta 504, ja sovitusfunktioimenetelmän suoritukseen kuuluu mm. vektorin w muodostus vaiheessa 505, sen desimointi vaiheessa 506 ja desimoidun tuloksen tiivistys vaiheessa 507 poistamalla nolla-arvoiset vektorialkiot. Varsinaisen sovitusfunktion arviointi tapahtuu vaiheessa 508. Syntyville estimoiduille parametriarvoille suoritetaan kynnyksilmaisua vaiheessa 509. Kynnyksen ylittymättömyys tarkoittaa, että analysoitu tutkasignaali ei sisältänyt tunnistettavia kovien kohteiden kaikuja, ja segmentti hylätään vaiheessa 510.

Kynnyksen ylittyessä sanotaan osuman löytyneen. Skanneri 422 tallentaa osuman kuvauksen tiedostoon ja etenee seuraavaan datasegmenttiin. Toinen ohjelma, tapahtumien arkistointi 423, tutkii osumien luetteloa ja liittää tiettyyn tapahtumaan ne osumat, jotka vastaavat tutkasäteen poikki kulkevaa yksittäistä kohdetta (kuvan 5 vaihe 511). Kun arkistointiohjelma 423 on määrittänyt tapahtuman aikarajat, se kopioi tapahtumaan kuuluvan raakadatan erilliseen hakemistoon ja jatkaa tapahtumien etsimistä. Lopuksi analysoija 424 poimii tapahtumia tapahtumahakemistoista ja päättelee ja tallentaa tapahtumaparametrit.

Selvästi aikaa vievin vaihe datan analysoinnissa on skannaus. Keksinnön eräässä edullisessa suoritusmuodossa skannaus tehdään c-kielisellä ohjelmalla, joka hyödyntää analysointitietokoneessa olevaa vektoriprosessoria kutsumalla DSP-kirjaston (Digital Signal Processing; digitaalinen signaalinkäsittely) rutiineja, erityisesti FFT-rutiinia.

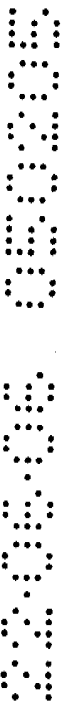
Tapahtumien arkistointiohjelma 423 on edullisimmin c-kielinen ohjelma, mutta suorituskyvyn kannalta se ei ole ratkaisevaa. Suurin osa sen ajasta kuluu datan kopiointiin, joten nopeutta rajoittaa pääasiassa muistin 404 levynopeus. Rutiinimittauksissa tallennetaan enintään tapahtumien raakadata. Koemittauksissa havaituilla tapahtumatiheyksillä kaikkien tapahtumien tallentaminen esimerkiksi 400 tunnin avaruusromumittauksista vaatisi (vain) teratavun suuruusluokkaa olevan muistikapasiteetin vuodessa.

Analysoijan 424 tehtävänä on laskea lopulliset kohdeparametrit. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi pyytämällä skanneria 422 skannaamaan data uudelleen sen jälkeen, kun tapahtuma on luettu vaiheessa 601. Vaiheissa 602-605 tehdään oleellisesti samat laskelmat kuin kuvan 5 vaiheissa 505-508, mutta maksimaalisella ai-

ka- ja etäisyysresoluutiolla kapean etäisyysvälin yli. Näin saadaan joukko parametristimaatteja, joista kukin on peräisin tallennetun tapahtuman yhdestä osumasta ja jotka yhdessä muodostavat aikasarjan tapahtuman aikarajojen sisällä. Vaihe 606 vastaa lineaaristen tai neliöllisten sovitusten tekemistä etäisyys- ja Dopplernopeus -aikasarjaan, ja vaihe 607 vastaa lopullisten arvojen tallentamista. Esimerkinomaisessa kokoonpanossa analysoija 424 on Matlab-ohjelma, mutta se voidaan toteuttaa myös koneenläheisemmällä ohjelmointikielillä, kuten c-kielillä.

Kuvassa 7 on kaavamaisesti esitetty laskentatyön säästämistä desimointivaiheessa 506 tai 603 poistamalla yhteinen kiihtyvyystekijä vaiheessa 701, summaamalla tulot $z_n \bar{x}_{n-j}$ vaiheessa 702 ja kertomalla koko summa yhteisellä kiihtyvyystekijällä vaiheessa 703.

Kuvassa 4 esitetyn kaltaisen esimerkinomaisen kokoonpanon kokonaisprosessointinopeus on sellainen, että 2 MHz:n näytteenottotaajuudella otetulle datalle yhden tunnin raakadatan skannaus, arkistointi ja analysointi kestää 40-45 minuuttia, kun samaan aikaan pidetään raakadatan saanti käynnissä. Tätä samanaikaista raakadatan saantirutiinin suorittamista kuvaa katkonuolisilmukka kuvassa 5.



Patenttivaatimukset

1. Menetelmä liikkuvien kohteiden (120) havaitsemiseksi tutkalla, jossa:
- vastaanotetaan (501, 502) pulssitutkalähetteen heijastuksia, jotka muodostavat vastaanotetun signaalin,
- 5 - kerätään (503, 504) näytteitä vastaanotetusta signaalista integrointiaikana,
- muodostetaan (505, 602) sovitusfunktio, jonka termit sisältävät tulon, jonka tekijöinä ovat mainitun vastaanotetun signaalin näyte ja lähetteen ajallisesti viivästetty, Doppler-siirtynyt kopio, ja riippuvat lähetteen heijastuksen aiheuttanutta kohdetta kuvaavista parametreista, ja
- 10 - etsitään parametrien todennäköisimmät arvot maksimoimalla sovitusfunktio Fourier-muuntamalla sovitusfunktion termeistä koostuva vektori;
- tunnettu** siitä, että Fourier-muunnettavan vektorin muodostamiseksi siinä:
- lasketaan mainituista tuloista ne (301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308), joissa mainitun ajallisesti viivästetyn, Doppler-siirtyneen lähetekopion osuus on nollassa
- 15 poikkeava, ja annetaan muiden mainituista tuloista olla nolliä, jolloin muodostetaan Fourier-muunnettavan vektorin alustavat termit,
- muodostetaan (506, 603) mainituista alustavista termeistä lohkoja,
 - otetaan (507, 604) mainituista lohkoista lopullisiksi termeiksi Fourier-muunnettavaan vektoriin ne (311, 312, 313, 314), joilla on nollassa poikkeava arvo, säilyttämällä mainittujen nollassa poikkeavien lohkojen keskinäinen järjestys mutta jättämällä pois välistä lohkot, joilla on nolla-arvo, ja
- 20 - tulostetaan (511, 606, 607) mainittuina todennäköisimpinä parametrien arvoina ne arvot, jotka syntyvät mainitut lopulliset termit käsittävän vektorin Fourier-muunnoksessa.
- 25 2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainitussa alustavista termeistä koostuvien lohkojen muodostamisessa (506, 603) desimoidaan mainituista alustavista termeistä koostuva vektori summaamalla yhteen peräkkäisten alustavien termien ryhmiä.
3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että siinä:
- 30 - oletetaan (701) alustavien termien ryhmän kiihtyvyystekijä vakioksi mainitun alustavien termien ryhmän sisällä,
- summataan (702) mainitun alustavien termien ryhmän ei-vakiot osat, ja
 - kerrotaan (703) mainitun alustavien termien ryhmän summatut ei-vakiot osat mainitulla kiihtyvyystekijällä.

4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että siinä vastaanotetaan pulssitutkalähetteen mainittujen heijastusten kanssa aikakanavoitu lähetteen näytesignaali ja käytetään mainittua lähetteen näytesignaalia edustamaan mainittua ajallisesti viivästettyä, Doppler-siirtynyttä lähetteen kopiota.
5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että siinä vastaanotetaan muuhun tutkimittaukseen kuin mainittuun liikkuvien kohteiden havaitsemiseen käytetyn pulssitutkalähetteen heijastuksia, jolloin liikkuvien kohteiden havaitseminen tapahtuu mainitun muun tutkimittauksen tarjoamalla "kyydillä".
6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että siinä havaitaan avaruusromukohteita (120) vastaanottamalla maapallon ionosfäärin tieteelliseen tutkimiseen käytettävien pulssitutkalähetteidien heijastuksia.
7. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että siinä maksiroidaan sovituskfunktio

$$MF(R_j, v_k, a) = \frac{\left| \sum_{n=0}^{N-1} (z_n \bar{x}_{n-j} \exp(-i\alpha_d n^2)) \exp\left(-i \frac{kn}{N}\right) \right|}{\|x\|}$$

- 15 Fourier-muuntamalla vektori w , joka on saatu vektorista

$$w_n = z_n \bar{x}_{n-j} \exp(-i\alpha_d n^2)$$

desimoimalla ja säilyttämällä mainitun desimoinnin tuloksista vain nolasta poikkeavat lohkot;

- missä
- 20 R_j on j :s säteisetaisyysluokka,
 v_k on k :s säteisoisuusluokka,
 a on heijastavan kohteen säteiskiihtyvyyys,
 z_n on vastaanotetun signaalin z n :s näyte,
 \bar{x}_{n-j} on lähetesignaalin x $n-j$:nnen näytteen kompleksikonjugaatti,
- 25 i on imaginääriyksikkö,
 α_d on säteiskiihtyvyydellä liikkuvan heijastavan kohteen aiheuttama normalisoitu Doppler-siirtymä,
 n on summausindeksi,
 k on nopeusindeksi,
 N on vastaanotetusta signaalista integrointiaikana otettujen näytteiden määrä ja
- 30

$\|x\|$ on lähetenyhteen energian neliöjuuri.

8. Signaalinkäsittelylaite tutkajärjestelmässä vastaanotettujen signaalien käsittelemiseksi, johon kuuluu:

- tulo (421), joka on järjestetty vastaanottamaan vastaanotetusta signaalista integrointiaikana kerättyjä näytteitä, ja

5

- skanneri (402, 422), joka on järjestetty muodostamaan (505, 602) sovituskäyttö, jonka termit sisältävät tulon, jonka tekijöinä ovat mainitun vastaanotetun signaalin näyte ja lähetteen ajallisesti viivästetty, Doppler-siirtynyt kopio, ja riippuvat lähetteen heijastuksen aiheuttanutta kohdetta (120) kuvaavista parametreista, joka skanneri (422) on lisäksi järjestetty etsimään todennäköisimmät parametriaivot maksimoimalla sovituskäyttö Fourier-muuntamalla sovituskäytön termit käsittävän vektorin;

10

tunnettu siitä, että:

- skanneri (402, 422) on järjestetty laskemaan mainituista tuloista ne (301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308), joissa mainitun ajallisesti viivästetyn, Doppler-siirtyneen lähetekopion osuus on nolasta poikkeava, ja antamaan muiden mainituista tuloista olla nolliä, Fourier-muunnettavan vektorin alustavien termien muodostamiseksi,

15

- skanneri (402, 422) on järjestetty muodostamaan (506) mainituista alustavista termeistä lohkoja,

20

- skanneri (402, 422) on järjestetty tiivistämään mainituista lohkoista koostuva vektori säilyttämällä mainittujen nolasta poikkeavien lohkojen (311, 312, 313, 314) keskinäinen järjestys mutta jättämällä pois välistä lohkoja, joilla on nolli-arvo, tiivistetyn vektorin muodostamiseksi, ja

25

- skanneri (402, 422) on järjestetty tulostamaan (511) mainittuina todennäköisimpinä parametrien arvoina ne arvot, jotka syntyvät tiivistetyn vektorin Fourier-muunnoksessa (508).

9. Patenttivaatimuksen 8 mukainen signaalinkäsittelylaite, **tunnettu** siitä, että skanneri (402, 422) on järjestetty vertaamaan (509) mainittuja todennäköisimpiä parametrien arvoja kynnyksiarvoon ja tallentamaan (511) osuina sellaiset tulostetut todennäköisimmät arvot, jotka ylittävät mainitun kynnyksiarvon.

30

10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen signaalinkäsittelylaite, **tunnettu** siitä, että siihen kuuluu tapahtumien arkistoija (423), joka on järjestetty liittämään (511) tiettyyn tapahtumaan ne osumat, jotka näyttävät vastaavan tutkakeilan (123) läpi kulkevaa yksittäistä kohdetta (120).

35

11. Patenttivaatimuksen 10 mukainen signaalinkäsittelylaite, **tunnettu** siitä, että siihen kuuluu analysoija (424), joka on järjestetty laskemaan (603, 605, 606, 607) lopulliset kohdeparametrit pyytämällä skanneria (422) uudelleen skannaamaan ta-
5 pahtuman (601) data suurimmalla aika- ja etäisyysresoluutiolla ja suorittamalla so-
vituksia sellaisesta uudelleen skannauksesta syntyvien parametriarvojen aikasar-
jaan.

12. Tutkajärjestelmä etäisten liikkuvien kohteiden havaitsemiseksi, johon kuuluu:
- tutkavastaanotin (104), joka on järjestetty vastaanottamaan pulssitutkalähetteen
heijastuksia ja muodostamaan vastaanotettu signaali,

10 - näytteistin ja näytteiden kerääjä (107, 401), joka on järjestetty keräämään näyt-
teitä vastaanotetusta signaalista integrointiaikana,

- prosessointiyksikkö (112, 402), joka on järjestetty muodostamaan (505, 602) so-
vitusfunktio, jonka termit sisältävät tulon, jonka tekijöinä ovat mainitun vastaanote-
tun signaalin näyte ja lähetteen ajallisesti viivästetty, Doppler-siirtynyt kopio, ja

15 riippuvat lähetteen heijastuman aiheuttanutta kohdetta kuvaavista parametreista,
ja järjestetty etsimään todennäköisimmät parametriarvot maksimoimalla sovitus-
funktio Fourier-muuntamalla sovitusfunktion termit käsittävän vektorin;

tunnettu siitä, että:

- prosessointiyksikkö (112, 402) on järjestetty laskemaan mainituista tuloista ne
20 (301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308), joissa mainitun ajallisesti viivästetyn,
Doppler-siirtyneen lähetekopion osuus on nollasta poikkeava, ja antamaan muiden
mainituista tuloista olla nolliä, Fourier-muunnettavan vektorin alustavien termien
muodostamiseksi,

25 - prosessointiyksikkö (112, 402) on järjestetty muodostamaan (506) mainituista
alustavista termeistä lohkoja,

- prosessointiyksikkö (112, 402) on järjestetty ottamaan mainituista lohkoista lopul-
lisiksi termeiksi Fourier-muunnettavaan vektoriin ne (311, 312, 313, 314), joilla on
nollasta poikkeava arvo, säilyttämällä mainittujen nollasta poikkeavien lohkojen
keskinäinen järjestys mutta jättämällä pois välistä lohkot, joilla on nolla-arvo, ja

30 - tutkajärjestelmään kuuluu lähtö (421, 404), joka on järjestetty tulostamaan mainit-
tuina todennäköisimpinä parametrien arvoina ne arvot, jotka syntyvät mainitut lo-
pulliset termit käsittävän vektorin Fourier-muunnoksessa.

13. Patenttivaatimuksen 12 mukainen tutkajärjestelmä, **tunnettu** siitä, että siihen
kuuluu tutkalähetin (101, 102), joka on järjestetty lähettämään mainittuja pulssitut-
35 kalähetteitä.

14. Tietokoneohjelmatuote, johon kuuluu koneluettavia käskyjä, jotka tietokoneessa suoritettuna toteuttavat patenttivaatimuksen 1 mukaisen menetelmän.

Patentkrav

- 5 1. Förfarande för att detektera rörliga objekt (120) med en radar, varvid:
- reflektioner från en pulsradarsändning mottas (501, 502), vilka bildar en mottagen signal,
 - prov uppsamlas (503, 504) av den mottagna signalen under en integreringsperiod,
- 10 - en anpassningsfunktion bildas (505, 602), vars termer innehåller en produkt, vars faktorer är nämnda mottagna signalprov och en tidsfördröjd dopplerförskjuten kopia av sändningen, och är beroende av parametrar som beskriver objektet vilket orsakat en sändningsreflektion, och
- parametrarnas mest sannolika värden söks genom att maximera anpassnings-
- 15 funktionen genom att Fouriertransformera en vektor bestående av anpassningsfunktionens termer;
- kännetecknat** av att för att bilda vektorn som skall Fouriertransformeras:
- beräknas de (301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308) av nämnda produkter, i vilka andelen av nämnda tidsfördröjda dopplerförskjutna sändningskopia avviker från
- 20 noll, och får återstående av nämnda produkter vara noll, varvid de preliminära termerna av vektorn som skall Fouriertransformeras bildas,
- segment bildas (506, 603) av nämnda preliminära termer,
 - de (311, 312, 313, 314) av nämnda segment tas (507, 604) som slutliga termer för vektorn som skall Fouriertransformeras, som har ett värde som avviker från
- 25 noll, genom att bibehålla den inbördes ordningen mellan nämnda segment vilka avviker från noll men genom att lämna bort mellanliggande segment med nollvärde, och
- utskrivs (511, 606, 607) som nämnda mest sannolika parametervärden de värden som uppstår vid Fouriertransformationen av vektorn den som innehåller
- 30 nämnda slutgiltiga termer.
2. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att vid nämnda bildande (506, 603) av segmenten som består av preliminära termer decimeras en vektor bestående av nämnda preliminära termer genom att summera ihop grupper av
- 35 successiva preliminära termer.

3. Förfarande enligt patentkrav 2, **kännetecknat** av att det innefattar att:

- accelerationsfaktorn för en grupp av preliminära termer antas (701) vara konstant inom nämnda grupp av preliminära termer,

5 - de icke-konstanta delarna av nämnda grupp av preliminära termer summeras (702), och

- de summerade icke-konstanta delarna av nämnda grupp av preliminära termer multipliceras (703) med nämnda accelerationsfaktor.

10 4. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att sändningens provsignal mottas tidsmultiplexerat med nämnda reflektioner av en pulsradersändning och nämnda sändnings provsignal används för att representera nämnda tidsfördröjda, dopplerförskjutna kopia av en sändning.

15 5. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att reflektioner av en pulsradersändning mottas, vilka används till annan radarmätning än nämnda detektion av rörliga objekt, varvid detektionen av rörliga objekt utnyttjas för nämnda övriga radarmätning.

20 6. Förfarande enligt patentkrav 5, **kännetecknat** av att rymdavfallsobjekt (120) detekteras genom att motta reflektioner av pulsradersändningar som används vid vetenskaplig undersökning av jordens jonsfär.

25 7. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att man maximerar anpassningsfunktionen

$$MF(R_j, v_k, a) = \frac{\left| \sum_{n=0}^{N-1} (z_n \bar{x}_{n-j} \exp(-i\alpha_d n^2)) \exp\left(-i \frac{kn}{N}\right) \right|}{\|x\|}$$

genom att Fouriertransformera vektorn w'' , vilken erhållits från vektorn

30 $w_n = z_n \bar{x}_{n-j} \exp(-i\alpha_d n^2)$

genom att decimera och bevara endast de segment som avviker från noll bland resultaten av nämnda decimering;

- varvid R_j är en j . strålningsavståndsklass,
 v_k är en k . strålningshastighetsklass,
 a är den radiala accelerationen hos det reflekterande objektet,
 z_n är det z . provet av den mottagna signalen z ,
5 x_{n-j} är komplexkonjugatet av den x $n-j$. sändarsignalens prov,
 i är en imaginär enhet,
 α_d är en normaliserad dopplarförskjutning som förorsakas av det reflekterande objektet som rör sig med radial acceleration,
 n är ett summeringsindex,
10 k är ett hastighetsindex,
 N är mängden prov tagna från den mottagna signalen under en integreringsperiod och
 $\|x\|$ är kvadratroten av sändningsprovets energi.
- 15 8. Signalbearbetningsanordning för att bearbeta signaler mottagna i ett radar-system, innefattande:
- en ingång (421) anordnad att motta prover uppsamlade under en integreringsperiod av en mottagen signal, och
- en scanner (402, 422), anordnad att bilda (505, 602) en anpassningsfunktion,
20 vars termer innehåller en produkt, vars faktorer är nämnda mottagna signalprov och sändningens tidsfördröjda dopplarförskjutna kopia, och är beroende av parametrar som beskriver objektet (120) som förorsakar en sändningsreflektion, vilken scanner (422) dessutom är anordnad att söka de sannolikaste parametervärdena genom att maximera anpassningsfunktionen genom att Fouriertransformera en vektor innehållande anpassningsfunktionens termer;
25 **kännetecknad** av att:
- scannern (402, 422) är anordnad att beräkna de (301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308) av nämnda produkter i vilka andelen av nämnda tidsfördröjda dopplarförskjutna sändningskopia avviker från noll, och att låta resten av nämnda produkter vara noll, för att bilda de preliminära termerna av vektorn som skall Fouriertransformeras,
30 - scannern (402, 422) är anordnad att bilda (506) segment av nämnda preliminära termer,
- scannern (402, 422) är anordnad att komprimera en vektor bestående av nämnda segment genom att bevara den inbördes ordningen mellan nämnda segment (311, 312, 313, 314) som avviker från noll men genom att lämna bort mellanliggande segment med nollvärde för att bilda en komprimerad vektor, och
35

- scannern (402, 422) är anordnad att utskriva (511) som nämnda mest sannolika parametervärden de värden som uppstår vid Fouriertransformationen (508) av den komprimerade vektorn.

- 5 9. Signalbearbetningsanordning enligt patentkrav 8, **kännetecknad** av att scannern (402, 422) är anordnad att jämföra (509) nämnda mest sannolika parametervärden med ett tröskelvärde och lagra (511) som träffar sådana utskrivna mest sannolika värden som överskrider nämnda tröskelvärde.
- 10 10. Signalbearbetningsanordning enligt patentkrav 9, **kännetecknad** av att den innefattar en arkiverare (423) av händelser, anordnad att ansluta (511) till en given händelse de träffar som ser ut att motsvara ett enskilt objekt (120) som passerar genom en radarstråle (123).
- 15 11. Signalbearbetningsanordning enligt patentkrav 10, **kännetecknad** av att den innefattar en analyserare (424), anordnad att beräkna (603, 605, 606, 607) de slutgiltiga objektparametrarna genom att be scannern (422) att på nytt scanna händelsens (601) data med den högsta tids- och avståndsresolutionen och genom att utföra tillämpningar i en tidsserie för parametervärden som uppstår av dylik på-
20 nyttscanning.
12. Radarsystem för att detektera avlägsna rörliga objekt innefattande:
- en radarmottagare (104), anordnad att motta reflektioner av en pulsradersändning och bilda en mottagen signal,
 - 25 - en provtagare och en provuppsamlare (107, 401), anordnad att samla prover av den mottagna signalen under en integreringsperiod,
 - en processorenhet (112, 402), anordnad att bilda (505, 602) en anpassningsfunktion, vars termer innehåller en produkt, vars faktorer är nämnda mottagna signalprov och en tidsfördröjd dopplerförskjuten kopia av en sändning, och är beroende av parametrar som beskriver objektet som förorsakat en sändningsreflektion, och är anordnad att söka efter de mest sannolika parametervärdena genom att maximera anpassningsfunktionen genom att Fouriertransformera vektorn innefattande anpassningsfunktionens termer;
 - 30 **kännetecknat** av att:
 - 35 - processorenheten (112, 402) är anordnad att beräkna de (301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308) av nämnda produkter, i vilka andelen av nämnda tidsfördröjda dopplerförskjutna sändningskopior avviker från noll, och låta resten av nämnda

produkter vara noll, för att bilda preliminära termer för vektorn som skall Fouriertransformeras,

- processorenheten (112, 402) är anordnad att bilda (506) segment av nämnda preliminära termer,
 - 5 - processorenheten (112, 402) är anordnad att ta de (311, 312, 313, 314) av nämnda segment som slutliga termer för vektorn som skall Fouriertransformeras som har ett värde som avviker från noll, genom att bibehålla den inbördes ordningen mellan nämnda segment vilka avviker från noll men genom att lämna bort mellanliggande segment med nollvärde, och
 - 10 - radarsystemet innefattar en utgång (421, 404) som är anordnad att skriva ut som nämnda mest sannolika parametervärden de värden som uppstår vid Fouriertransformationen av vektorn som innefattar nämnda slutgiltiga termer.
13. Radarsystem enligt patentkrav 12, **kännetecknat** av att det innefattar en radarsändare (101, 102) anordnad att sända nämnda pulsradersändningar.
- 15
14. Dataprogramprodukt, innefattande maskinläsbara kommandon, vilka tillämpar förfarandet enligt patentkrav 1 då de utförs i en dator.



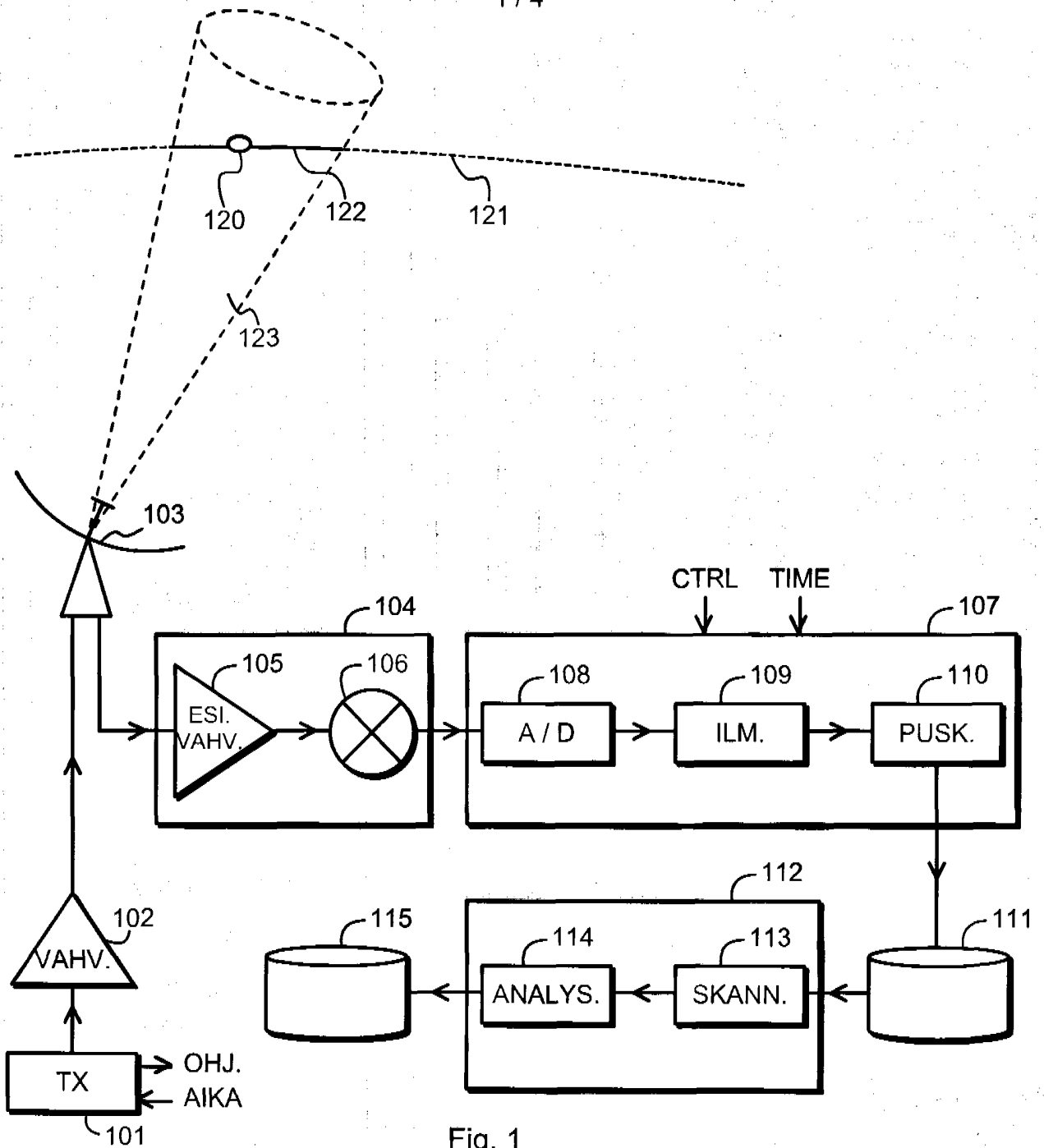


Fig. 1

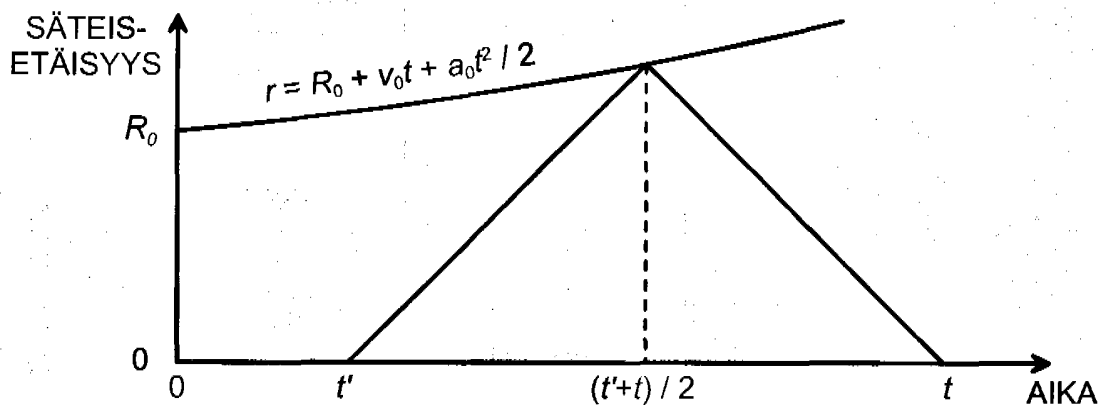


Fig. 2

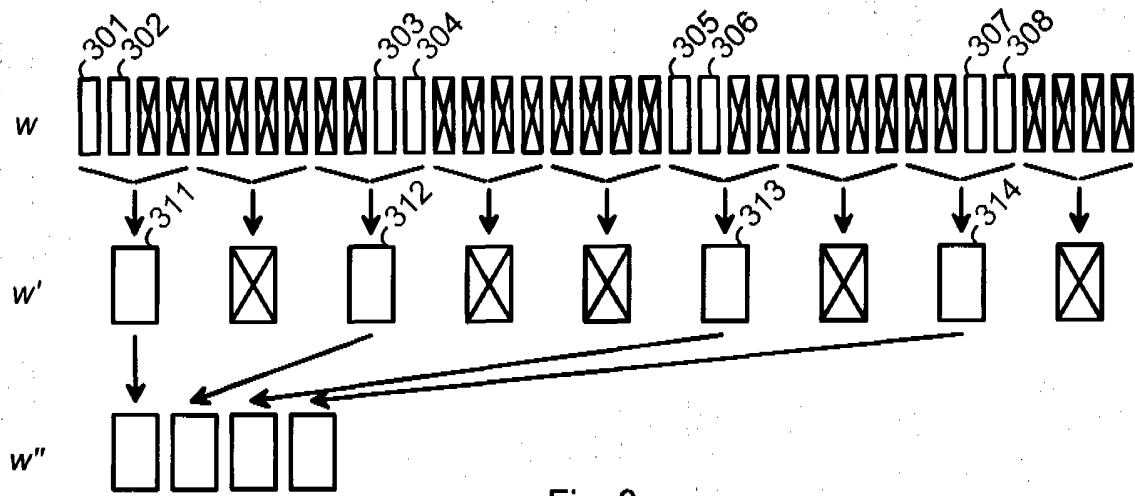


Fig. 3

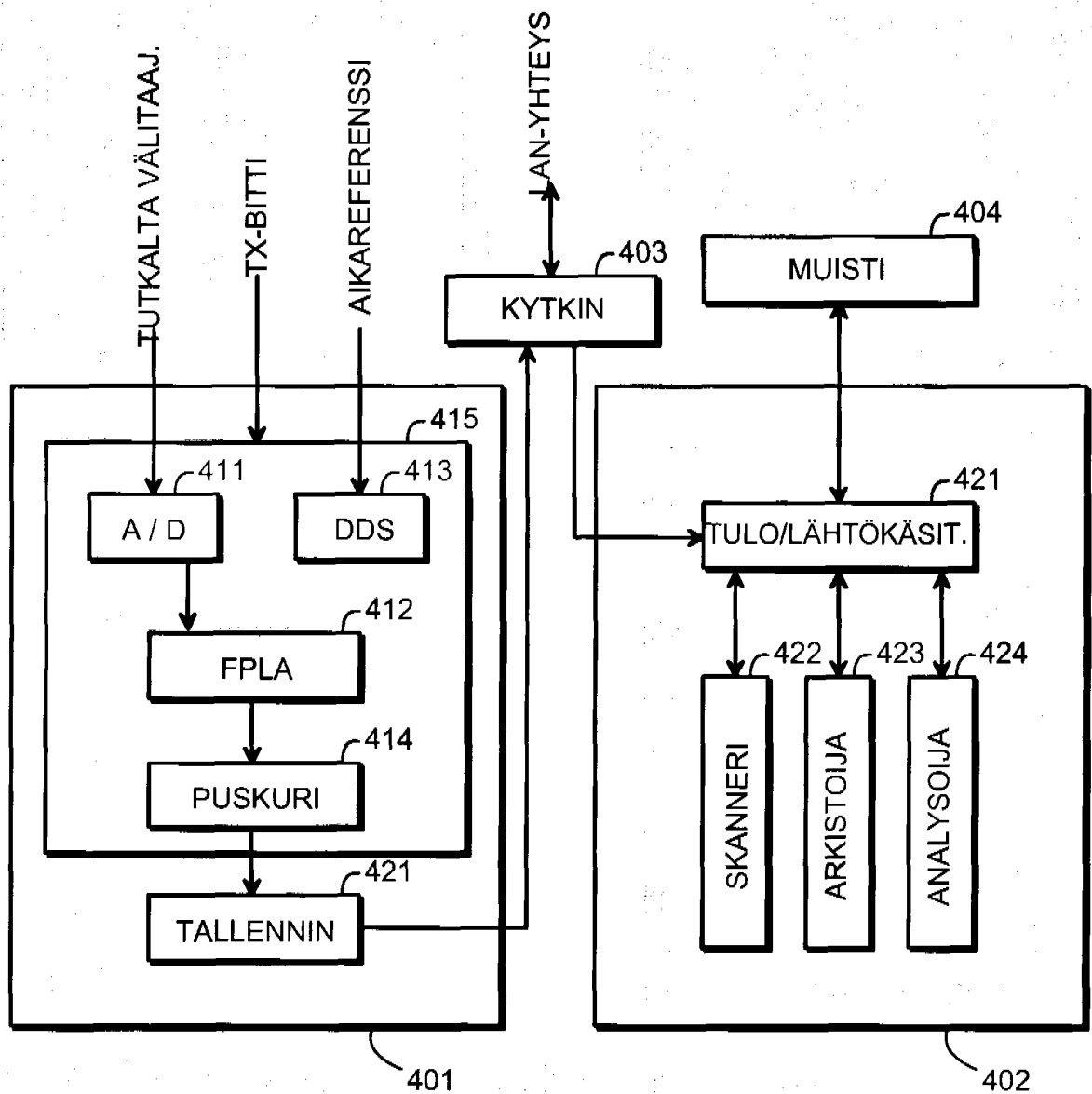


Fig. 4

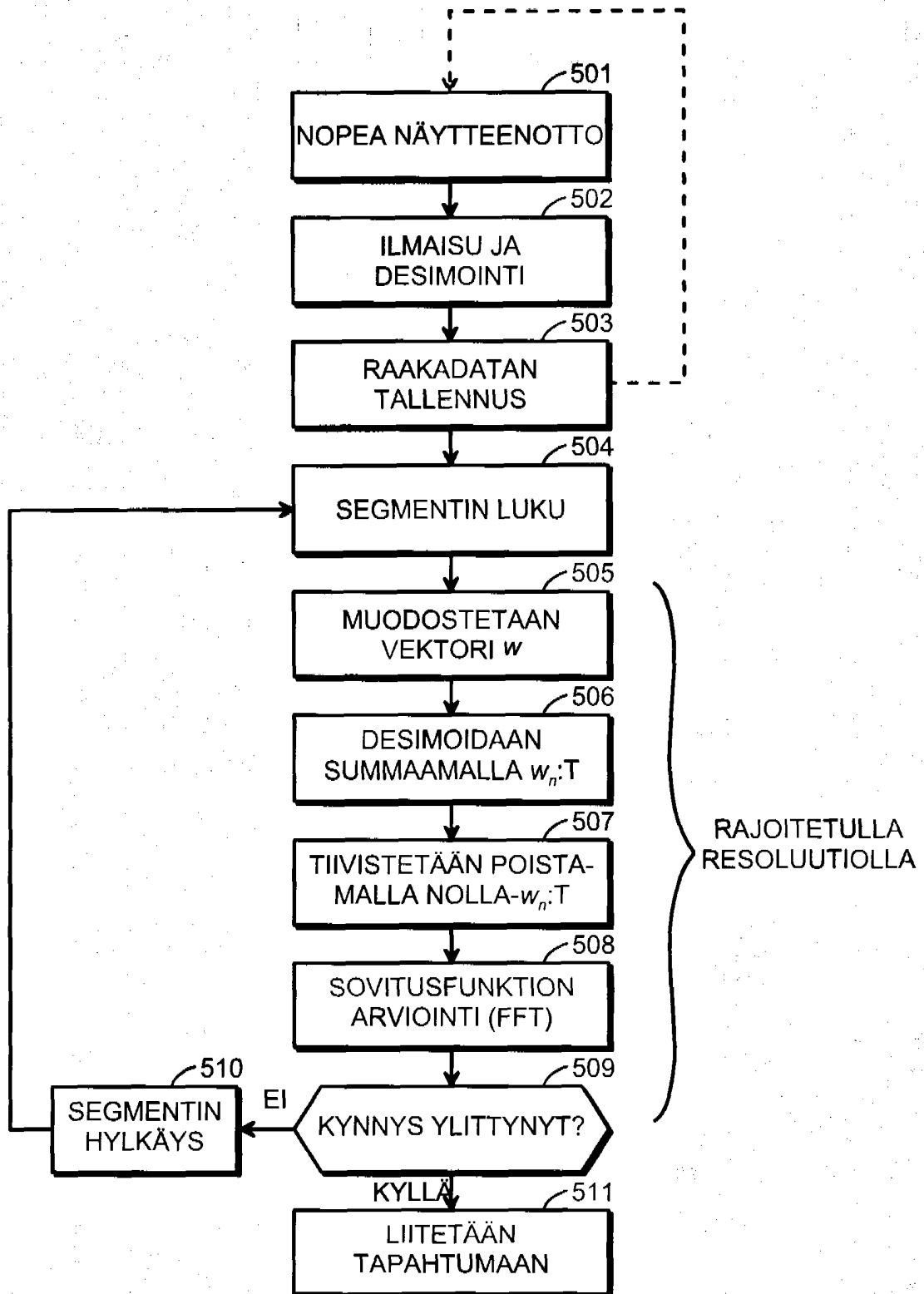


Fig. 5

(TAPAHTUMIEN ARKISTOINNILTA)

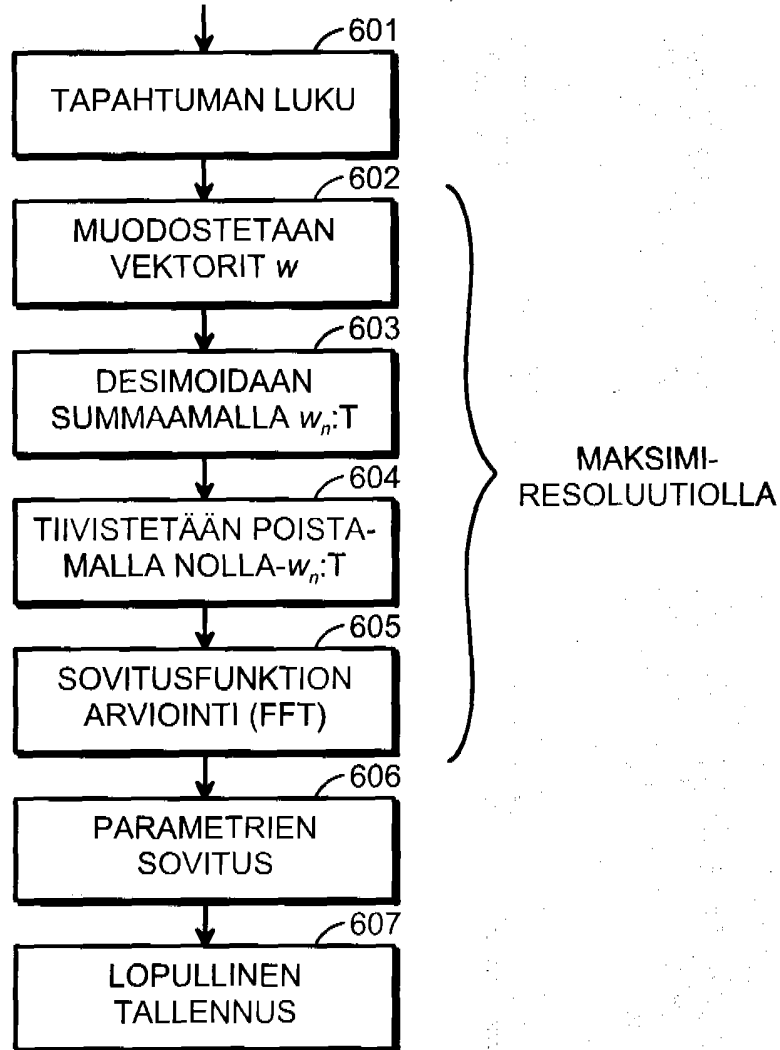


Fig. 6

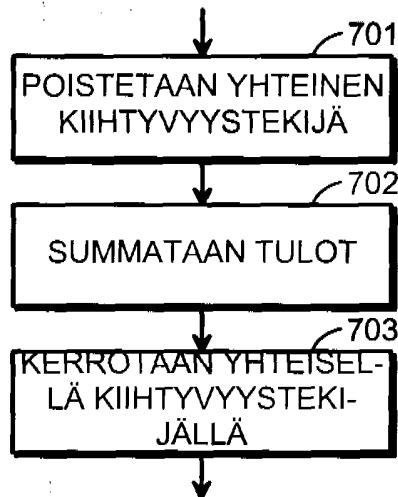


Fig. 7