



F 1000110455B



SUOMI – FINLAND (FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(12) PATENTTIJULKAISU PATENTSKRIFT

(10) FI 110455 B

(45) Patentti myönnetty - Patent beviljats

31.01.2003

(51) Kv.Ik.7 - Int.kl.7

G01S 5/14

(21) Patentihakemus - Patentansökning

20011828

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag

17.09.2001

(24) Alkupäivä - Löpdag

17.09.2001

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig

31.01.2003

(73) Haltija - Innehavare

1 •Nokia Corporation, Helsinki, Keilalahdentie 4, 02150 Espoo, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 •Sirola,Niilo, Orivedenkatu 8 C 51, 33720 Tampere, SUOMI - FINLAND, (FI)

2 •Syrjärinne,Jari, Yliopistonkatu 45 K 115, 33500 Tampere, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Tampereen Patenttitoimisto Oy
Hermiankatu 12 B, 33720 Tampere

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

**Menetelmä sijainninmäärittäksen suorittamiseksi ja elektroniikkalaitte
Förfarande för att utföra positionsbestämning och elektronikanordning**

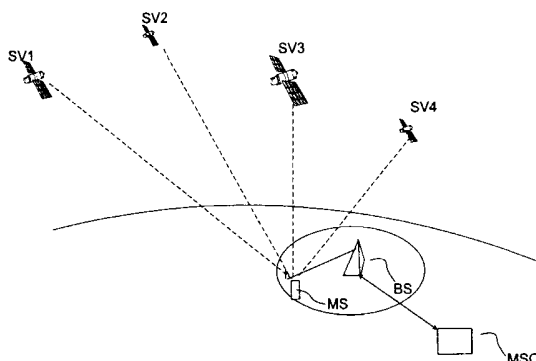
(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

EP A 1014103 (G 01S 5/10), US A 5491645 (G 01S 13/72), US A 5548293 (G 01S 5/02), US A 6181274 (H 04B 7/185)

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksintö kohdistuu menetelmään sijainninmäärittäksen suorittamiseksi, jossa vastaanotetaan satelliittien (SV1-SV4) lähettämää toistokoodilla hajaspektrimoduloitua signaalia. Menetelmässä suoritetaan tahdistuminen vastaanotettuun hajaspektrimoduloituun signaaliin, mitataan vastaanotetun hajaspektrimoduloidun signaalin koodivaihetta, ja vastaanotetaan satelliittien rataparametreja, joita käytetään sijainninmäärittäksessä. Menetelmässä suoritetaan optimointivaihe kustannusfunktion minimoimiseksi. Kustannusfunktiona käytetään katkaisuooperaattoria, jonka argumenttina käytetään ainakin yhtä jäännösvirhettä.

Uppfinningen avser ett förfarande för utföring av positionering, i vilket mottags en med en upprepningskod ströspektrummodulerad signal från satelliter (SV1-SV4). I förfarandet utförs synkronisering med den mottagna ströspektrummodulerade signalen, mäts kodfasen av den mottagna ströspektrummodulerade signalen, och mottags satelliternas kretsbanparametrar, vilka används vid positionering. I förfarandet utförs ett optimeringsskede för minimering av en kostnadsfunktion. Som kostnadsfunktionen används en brytoperator, för vilken används som en argument åtminstone ett kvarstående fel.



Menetelmä sijainninmäärityksen suorittamiseksi ja elektroniikkalaite

Nyt esillä oleva keksintö kohdistuu menetelmään sijainninmäärityksen suorittamiseksi, jossa vastaanotetaan satelliittien lähettämää toistokoodilla hajaspektrimoduloitua signaalia, suoritetaan tahdistuminen vastaanotettuun hajaspektrimoduloituun signaaliin, mitataan vastaanotetun hajaspektrimoduloidun signaalin koodivaihetta, vastaanotetaan satelliittien rataparametreja, joita käytetään sijainninmäärityksessä, määritetään kustannusfunktio, ja suoritetaan optimointivaihe kustannusfunktion minimoimiseksi. Keksintö kohdistuu lisäksi elektroniikkalaitteeseen, joka käsittää välineet sijainninmäärityksen suorittamiseksi, joka käsittää välineet satelliittien lähettämän toistokoodilla hajaspektrimoduloidun signaalin vastaanottamiseksi, välineet vastaanotettuun hajaspektrimoduloituun signaaliin tahdistumiseksi, välineet vastaanotetun hajaspektrimoduloidun signaalin koodivaiheen mittaamiseksi, välineet sijainninmäärityksessä käytettävien satelliittien rataparametrien vastaanottamiseksi, välineet kustannusfunktion määrittämiseksi, ja välineet kustannusfunktion minimoimiseksi.

20 Satelliittipaikannukseen perustuvissa sijainninmääritysjärjestelmissä sijainninmääritysvastaanotin pyrkii vastaanottamaan vähintään neljän satelliitin signaalia, jotta sijainninmääritysvastaanottimen sijainti sekä aikatieto voidaan selvittää. Eräs esimerkki tällaisesta satelliittipaikannusjärjestelmästä on GPS-järjestelmä (Global Positioning System), jossa on lukuisa määrä satelliitteja, jotka kiertävät maapalloa ennalta määrättyjen ratojen mukaan. Nämä satelliitit lähettävät ratatietoa, jonka perusteella satelliitin sijainti kullakin ajanhetkellä voidaan määrittää, mikäli satelliittipaikannusjärjestelmässä käytetty aikatieto on tarkasti selvillä sijainninmääritysvastaanottimessa. GPS-järjestelmän satelliitit lähettävät hajaspektrimoduloitua signaalia, jota moduloidaan kullekin satelliitille yksilöllisellä koodilla. Tällöin sijainninmääritysvastaanotin pystyy erottamaan eri satelliittien lähettämät signaalit toisistaan käyttämällä sijainninmääritysvastaanottimessa paikallisesti generoitua satelliitin koodia vastaavaa vertailukoodia.

35 Jokainen GPS-järjestelmän toimiva satelliitti lähettää ns. L1-signaalia 1575,42 MHz:n kantoaaltotaajuudella. Tätä taajuutta merkitään myös

154 f_0 , missä $f_0=10,23$ MHz. Lisäksi satelliitit lähettävät L2-signaalia 1227,6 MHz:n kanta-aaltotaajuudella, eli 120 f_0 . Satelliitissa suoritetaan näiden signaalien modulointi ainakin yhdellä valesatunnaissekvenssillä. Kullakin satelliitilla tämä valesatunnaissekvenssi on erilainen. Moduloinnin tuloksena muodostuu koodimoduloitu laajakaistasignaali. Käytetty modulointitekniikka mahdollistaa sen, että vastaanottimessa pystytään erottamaan eri satelliittien lähettämät signaalit, vaikka lähe-
5 tyksessä käytettävät kanta-aaltotaajuudet ovat olennaisesti samat. Tästä modulointitekniikasta käytetään nimitystä koodijako-monikäyttö-
10 tekniikka (CDMA, Code Division Multiple Access). Kussakin satelliitissa L1-signaalin moduloinnissa käytetään valesatunnaissekvenssinä mm. ns. C/A-koodia (Coarse/Acquisition code), jona käytetään Gold-koodia. Jokainen GPS-satelliitti lähettää signaalia käyttämällä yksilöllistä C/A-koodia. Koodit muodostetaan kahden 1023-bittisen binäärisekvenssin
15 modulo-2 summana. Ensimmäinen binäärisekvenssi G1 on muodostettu polynomilla $X^{10}+X^3+1$ ja toinen binäärisekvenssi G2 on muodostettu viivästämällä polynomia $X^{10}+X^9+X^8+X^6+X^3+X^2+1$ siten, että kullakin satelliitilla viive on erilainen. Tämä järjestely mahdollistaa sen, että eri C/A-koodit voidaan muodostaa samanlaisella koodigeneraattorilla.
20 C/A-koodit ovat siis binäärikoodeja, joiden kellotusnopeus (Chipping rate) GPS-järjestelmässä on 1,023 MHz. C/A-koodi käsittää 1023 alibittiä (Chip), jolloin koodin toisto-aika (koodijakso, epoch) on 1 ms. L1-signaalin kanta-aaltoa moduloidaan vielä navigointi-informaatiolla 50 bit/s bittinopeudella. Navigointi-informaatio käsittää tietoa satelliitin "terveydentilasta" (health), radasta, aikatietoa jne.
25

Satelliittien signaalien havaitsemiseksi ja satelliittien tunnistamiseksi on vastaanottimen suoritettava tahdistus, jossa vastaanotin etsii kulloinkin
30 kunkin satelliitin signaalin ja pyrkii tahdistumaan tähän signaaliin, jotta signaalin mukana lähetettävä informaatio voidaan vastaanottaa ja demoduloida.

Sijainninmääritysjärjestelylle on kaksi pääasiallista tehtävää:

- 35 1. vastaanottimen pseudo-etäisyyden laskenta eri GPS-satelliitteihin, ja

2. vastaanottimen sijainnin määrittäminen, jossa käytetään laskettuja pseudo-etäisyyksiä sekä satelliittien sijaintitietoa. Satelliittien kulloinenkin sijaintitieto voidaan laskea satelliiteista vastaanotettujen ephemeris- ja aikakorjaustietojen perusteella.

Etäisyyksiä satelliitteihin nimitetään pseudo-etäisyyksiksi, koska aika ei vastaanottimessa ole tarkasti tiedossa. Tällöin sijainnin ja ajan määrittästä toistetaan, kunnes on saavutettu riittävä tarkkuus ajan ja sijainnin suhteen. Koska aikaa ei tiedetä absoluuttisen tarkasti, on paikka ja aika selvitettävä esimerkiksi linearisoimalla yhtälöryhmä jokaista uutta iteraatiota varten.

Pseudo-etäisyyden laskenta voidaan suorittaa esimerkiksi mittaamalla satelliittien signaalien koodivaiheet vastaanottimessa.

Edellä mainittu tahdistus ja taajuudensäättöprosessi on suoritettava kullekin sellaisen satelliitin signaalille, jota vastaanottimessa vastaanotetaan. Joissakin vastaanottimissa voi olla useampia vastaanottokanavia, jolloin kullakin vastaanottokanavalla pyritään tahdistumaan kulloinkin yhden satelliitin signaaliin.

Sijainninmäärittäsvastaanotin vastaanottaa satelliittien lähettämää informaatiota ja suorittaa vastaanotetun informaation perusteella sijainninmäärittäksen. Sijainninmäärittäksen suorittamiseksi on vastaanottimen vastaanotettava vähintään neljän eri satelliitin lähettämä signaali, jotta x-, y-, z-koordinaatit sekä aikatieto voidaan selvittää. Vastaanotettua navigointi-informaatiota tallennetaan muistiin, jolloin tätä tallennettua informaatiota voidaan käyttää mm. satelliittien ratatietojen selvittämiseen.

Kuvassa 1 on esitetty periaatekaaviona sijainnin määrittästä neljän satelliitin SV1, SV2, SV3, SV4 lähettämän signaalin avulla langattomassa viestintälaitteessa MS, joka käsittää sijainninmäärittäsvastaanottimen. GPS-järjestelmässä satelliitit lähettävät ratatietoa sekä aikatietoa, joiden perusteella sijainninmäärittäsvastaanottimessa voidaan suorittaa laskentaa satelliitin kulloisenkin sijainnin määrittämiseksi. Tämän rata-

tiedon ja aikatiedon lähettäminen suoritetaan kehyksissä (ei esitetty oheisissa kuvissa), jotka on vielä jaettu alikehyksiin. GPS-järjestelmässä kukin kehys käsittää 1500 bittiä, jotka on jaettu viiteen 300 bittiä käsittävään alikehykseen. Koska yhden bitin lähetys kestää 20 ms, kun-

5 kin alikehysten lähetys kestää tällöin 6 s, ja koko kehys lähetetään 30 sekunnissa. Alikehykset on numeroitu 1—5. Kussakin alikehyksessä 1 lähetetään mm. aikatietoa, joka ilmoittaa alikehysten lähetyshetken sekä tietoa satelliitin kellon poikkeamasta GPS-järjestelmän kellonaikaan nähden.

10

Alikehyksiä 2 ja 3 käytetään ratatiedon lähetykseen. Alikehys 4 sisältää muuta järjestelmäinformaatiota, kuten yleisen aikatiedon (UTC, Universal Time, Coordinated). Alikehys 5 on tarkoitettu kaikkien satelliittien almanakkatietojen lähetykseen. Näiden alikehysten ja kehysten muodostama kokonaisuus nimitetään GPS-navigointisanomaksi (GPS navigation message), joka käsittää 25 kehystä eli 125 alikehystä. Navigointisanoman pituus on tällöin 12 min 30 s.

15

20

GPS-järjestelmässä aikaa mitataan sekunteina viikon alusta. GPS-järjestelmässä viikon alkuhetki on lauantain ja sunnuntain välinen keskiyö. Kussakin alikehyksessä lähetetään tieto siitä, minä GPS-viikon ajanhetkenä kyseinen alikehys on lähetetty. Tällöin aikatieto ilmaisee tietyn bitin lähetyshetken, eli GPS-järjestelmässä kyseisen alikehysten viimeisen bitin lähetyshetken. Aikaa satelliiteissa mitataan erittäin tark-

25 kojen atomikellojen avulla. Tästä huolimatta GPS-järjestelmän ohjauskeskuksessa (ei esitetty) valvotaan kunkin satelliitin toimintaa ja suoritetaan mm. aikavertailu satelliittien kellovirheiden havaitsemiseksi ja tämän tiedon välittämiseksi satelliittiin.

25

30

Nyt esillä olevan keksinnön eräänä tarkoituksena on saada aikaan uusi menetelmä sijainninmäärittämisen suorittamiseen. Keksintö perustuu siihen ajatukseen, että muodostetaan uusi kustannusfunktio, ja etsitään tämän kustannusfunktion minimi. Täsmällisemmin ilmaistuna nyt esillä olevan keksinnön mukaiselle menetelmälle on pääasiassa tunnus-

35 omaista se, että kustannusfunktiona käytetään katkaisuoperaattoria, jonka argumenttina käytetään ainakin yhtä jäännösvirhettä.

35

Nyt esillä olevan keksinnön mukaiselle elektroniikkalaitteelle on pääasiassa tunnusomaista se, että kustannusfunktiona on katkaisuooperaattori, jonka argumenttina on käytetty ainakin yhtä jäännösvirhettä.

- 5 Nyt esillä olevalla keksinnöllä saavutetaan merkittäviä etuja tunnetun tekniikan mukaisiin sijainninmäärittämenetelmiin ja -vastaanottimiin verrattuna. Keksinnön mukaista menetelmää sovellettaessa vastaanottimen ei tarvitse ilmaista satelliittien signaaleissa lähetettävää navigaatiotietoa. Tällöin sijainninmäärittäminen voidaan suorittaa myös kohinaisemmasta signaalista, mikä parantaa sijainninmäärittäksen käytettävyyttä heikoissa signaaliolosuhteissa, kuten sisätiloissa. Koska navigaatiotietojen lähetyksessä käytettäviä kehyksiä ei tarvitse vastaanottaa ennen sijainninmäärittäystä, voidaan keksinnön mukaista menetelmää sovellettaessa suorittaa sijainninmäärittäminen nopeammin ja ensimmäisen paikkaratkaisun selvittämiseen kuluva aika (TTFF, Time To First Fix) on pienempi kuin tunnetun tekniikan mukaisissa vastaanottimissa. Lisäksi keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä vastaanottimen paikkaa ja vertailuaikaa ei tarvitse etukäteen arvata, vaan nämä tiedot selviävät sijainninmäärittäksen laskennan aikana. Lisäksi tässä suoritusmuodossa vastaanottimen vertailuaika voi olla jopa yli 420 s virheellinen, mikä tunnetun tekniikan mukaisissa vastaanottimissa merkitsisi sitä, että vastaanottimen oikean sijainnin määrittäystä ei voitaisi suorittaa.

- 25 Nyt esillä olevaa keksintöä selostetaan seuraavassa tarkemmin viitaten samalla oheisiin piirustuksiin, joissa

kuva 1 esittää yksinkertaistettuna periaatekaaviona sijainnin määrittäystä neljän satelliitin lähettämän signaalin avulla, ja

- 30 kuva 2 esittää keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaista elektroniikkalaitetta pelkistettynä lohko-kaaviona.

- 35 Seuraavaksi keksintöä selostetaan viitaten samalla kuvassa 2 esitettyyn elektroniikkalaitteeseen MS. Elektroniikkalaitte MS käsittää edullisesti matkaviestinvälitteet MT ja sijainninmäärittäsvastaanottimen PR. Tällöin matkaviestinvälitteillä MT voidaan siirtää informaatiota langat-

toman viestintälaitteen MS ja matkaviestinverkon MN tukiasemien BS, BS', BS" välillä. On kuitenkin selvää, että keksintöä voidaan soveltaa muidenkin elektroniikkalaitteiden yhteydessä, jotka käsittävät ainakin sijainninmäärittäsvastaanottimen PR.

5

Sijainninmäärittäsvastaanottimessa PR antennin 1 kautta vastaanotettava toistokoodilla hajaspektrimoduloitu signaali vahvistetaan suurtaajuusvahvistimessa 2 ja muunnetaan kellogeneraattorin 3 ja taajuus-syntetisaattorin 4 muodostaman kellosignaalin avulla sopivimmin välitaajuudelle tai suoraan kantataajuudelle muunninlohkossa 5. Tässä vaiheessa signaali on edullisesti vielä analogisessa muodossa, joten se muunnetaan digitaalseksi signaaliksi AD-muuntimessa 6. AD-muuntimelta 6 saadaan digitaalisen vastaanottosignaalin lisäksi ohjausautomaattiselle vahvistuksensäästölohkolle 7 (AGC, Automatic Gain Control), joka pyrkii tasaamaan vastaanotetussa signaalissa olevia voimakkuusvaihteluja sinänsä tunnetusti. Välitaajuudelle tai kantataajuudelle muunnettu digitaalinen signaali johdetaan yhteen tai useampaan digitaaliseen seurantalohkoon 8, joissa suoritetaan digitaalisen signaalin muuntaminen kahdeksi eri vaiheiseksi signaaliksi (I/Q) ja vertailukoodilla kertominen. Seurantalohko 8 käsittää useita vastaanottokanavia, jolloin samanaikaisesti voidaan suorittaa mm. mainittu vertailukoodilla kertominen usealle eri satelliiteista vastaanotetulle signaalille. Seurantalohkossa 8 muodostetut signaalit johdetaan edelleen ohjauslohkoon 9 edullisesti digitaaliselle signaalinkäsittely-yksikölle DSP (Digital Signal Processor), jossa pyritään kanavakohtaisesti selvittämään vastaanotetun signaalin koodivaihe ja taajuussiirtymä. Ohjauslohko 9 muodostaa takaisinkytkennän seurantalohkolle 8 vertailukoodin koodivaiheen ja numeerisesti ohjatun oskillaattorin 10 säätämiseksi tarvittaessa. Sen jälkeen kun koodivaihe ja taajuussiirtymä on selvitetty, eli vastaanotin on lukittunut vastaanotettavaan signaaliin, voidaan aloittaa signaalin pseudo-etäisyysmittaukset sekä tarvittaessa signaalissa lähetetyn navigointi-informaation ilmaisu ja tallennus, mikäli mahdollista. Ohjauslohko 9 tallentaa navigointi-informaatiota edullisesti muistiin 11. Vastaanotin PR voi vastaanottaa navigointi-informaatiota myös esim. matkaviestinvälineillä MT matkapuhelinkeskuksesta MSC matkaviestinverkon tukiaseman BS kautta.

35

Keksinnön edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä mitataan satelliiteista vastaanotetuista signaaleista koodijakson vaihtumisen jälkeen vastaanotettujen alibittien lukumäärä T_{chip}^k ja koodivaihe $T_{\Delta chip}^k$ ohjauslohkossa 9. Siinä vaiheessa kun

- 5 sijainninmäärittäsvastaanottimessa PR on navigointi-informaatiosta käytettävissä ainakin niiden satelliittien ratatietoa, joiden lähettämiä signaaleita vastaanotetaan, voidaan aloittaa sijainninmäärittäminen. Tämän keksinnön yhteydessä käytetään sijainninmäärittäksessä edullisesti seuraavan kaavan (2) mukaista kustannusfunktioa, jonka minimi pyritään löytämään.

$$f(t, \mathbf{x}, \beta) = c \sum \left[\text{frac} \left(\phi_i + \varepsilon_i(t, \mathbf{x}) + \beta - \frac{1000}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\| \right) \right]^2 \quad (2),$$

missä

$\tau_i = \frac{1}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\|$, signaalin arvioitu kulku-aika satelliitista SV_i sijainnin-

- 15 määrittäsvastaanottoon,
 t aika,
 $\mathbf{x}$ sijainninmäärittäsvastaanottimen sijainti,
 β sijainninmäärittäsvastaanottimen kellovirhe millisekunteina,
 ϕ_i satelliitin SV_i signaalin koodivaihe
 20 sijainninmäärittäsvastaanottimessa,
 ε_i arvioitu mittausvirheen kompensointi (pseudoetäisyyskorjaus) sisältäen ryhmäviiveen (group delay), satelliittien aikakorjauksen ja ionosfäärikorjauksen,
 $\mathbf{s}_i(t)$ satelliitin SV_i sijainti ajanhetkellä t ,
 25 frac katkaisuooperaattori, joka on määritelty edullisesti seuraavasti: $\text{frac } r = r - \text{round } r$,
 c valon nopeus.

- 30 Kaavan (2) funktiossa katkaisuooperaatio (fraction) kohdistetaan siis erotukseen, joka saadaan arvioidun kulkuajan satelliitista vastaanottoon ja signaalin todellisen kulku-aikamittauksen murto-osan erotuksesta. Todellista kulku-aikaa ei tässä vaiheessa pystytä mittaamaan, vaan ainoastaan C/A-koodivaihe, joka on vain osa (murto-osa) koko pseudoetäisyydestä. Kokonaisosa, siis koodijaksojen lukumäärä, on

- tuntematon ja se arvioidaan signaalin kulkuajasta. Kuitenkin tämä murto-osa on riittävän tarkasti tiedossa ennen sijainnin selvittämistä. Kustannusfunktion optimoinnilla pyritään löytämään sellainen sijainti, jossa jäännösvirheiden perusteella muodostettu vertailuluku on mahdollisimman pieni. Vertailuluku on esimerkiksi jäännösvirheiden summa, kuten kaavassa (2) on esitetty, tai tulo. Katkaisuoperaatio on edullisesti sellainen, jossa katkaisuoperaattorin argumentista poistetaan kokonaisosa, jolloin jäljelle jää murto-osa.
- 5
- 10 Satelliittien ratatietojen perusteella saadaan selville signaalin lähettäneen satelliitin SV_i sijainti signaalin lähetyshetkellä. Sijainninmäärittämissä vastaanottimen PR aikatieto ei kuitenkaan välttämättä ole tarkasti oikea, joten sijainti ei kaavaa (2) ratkaistaessa välttämättä ole heti tarkalleen oikea. Tämän vuoksi kustannusfunktioon on sisällytetty
- 15 sijainninmäärittämissä vastaanottimen kellovirhe β , joka minimiä etsittäessä saadaan riittävän lähelle oikeaa arvoa. Satelliitin SV_i koodivaihe ϕ_i saadaan selville vastaanottimen vastaanottamasta signaalista mittaamalla. Koodivaiheen mittaukseen voi kuitenkin sisältyä virheitä, jotka johtuvat mm. ilmakehän vaikutuksesta satelliitin signaalin etenemiseen.
- 20 Näiden mittausvirheiden vaikutusta arvioidaan muuttujalla ε_i . Signaalin arvioitu kulku-aika satelliitista SV_i vastaanottimeen on tavallisesti n . 0,078 s.
- 25 Keksinnön ensimmäisen edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä sijainninmäärittäminen suoritetaan seuraavasti. Alustusvaiheessa asetetaan ajalle ja vastaanottimen sijainnille oletusarvot. Vastaanottimen sijainnille x voidaan oletussijainniksi valita esimerkiksi palvelevan tukiaseman BS sijainti (kuva 1). Ajan oletusarvona voidaan käyttää vastaanottimen kelloaikaa, joka kuitenkin voi tässä vaiheessa
- 30 olla vielä merkittävästi virheellinen. Lisäksi tutkitaan, onko ratatietoja riittävästi käytettävissä vastaanottimessa PR. Mikäli ratatietoja ei ole vastaanottimessa käytettävissä kaikista niistä satelliiteista, joiden signaalia käytetään vastaanottimen sijainnin määrittämisessä, pyritään puuttuvat ratatiedot toimittamaan vastaanottimeen esimerkiksi matkaviestinverkosta. Lisäksi vastaanottimeen voidaan toimittaa tietoa ionosfäärin ominaisuuksista mahdollisesti tarvittavien ionosfäärikorjausten määrittämiseen kaavaa (2) laskettaessa. Ionosfääri voi jossain määrin
- 35

vaikuttaa signaalien etenemiseen, joten huomioimalla ionosfäärin vaikutus, voidaan sijainninmäärityksen tarkkuutta vielä parantaa jonkin verran. Sen jälkeen kun alustusvaiheessa on kaikki tarvittavat tiedot määritetty, voidaan aloittaa tarvittaviin satelliittisignaaleihin tahdistuminen. Esimerkiksi ratatietojen ja aika-arvion perusteella vastaanottimessa PR voidaan päätellä se, mitkä satelliitit ovat sillä hetkellä sellaisessa kohdassa, että niiden signaali on vastaanotettavissa vastaanotimessa PR. Lisäksi mikäli tällaisia satelliitteja on enemmän kuin 5, voidaan niistä valita sijainninmäärityksen kannalta edullisimmassa asemassa olevat satelliitit (GDOP, Geometric Dilution of Precision), mikä on sinänsä tunnettua. Sen jälkeen kun vastaanotin PR on lukittunut tarvittaviin satelliittisignaaleihin, voidaan aloittaa koodivaihemittaukset (C/A, code phase measurements). Toisaalta on mahdollista, että satelliitteihin lukittuminen ja koodivaihemittauksien suorittaminen aloitetaan jo alustusvaiheessa ennen kuin kaikki tarvittavat tiedot ovat käytettävissä. Koodivaihemittauksien tulokset ϕ_i katkaistaan millisekunnin osiin siten, että $\phi_i \in \left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$.

Seuraavassa vaiheessa suoritetaan kustannusfunktion (2) minimointi. Keksinnön ensimmäisen edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä kustannusfunktion minimointi suoritetaan siten, että suoritetaan kaavan (2) laskenta, jolloin kustannusfunktiolle saadaan jokin arvo. Laskentaa toistetaan jollakin sinänsä tunnetulla optimointimenetelmällä, jolla pyritään löytämään kustannusfunktion paikallinen minimi. Kustannusfunktiolla on yksi globaali minimikohta, mikäli alkuarvoina käytetty aika-arvio ja oletussijainti olivat riittävän lähellä oikeaa sijaintia. Sen selvittäminen, onko aika-arvio ja oletussijainti riittävän lähellä oikeaa, voi käytännössä olla hankalaa. Eräänä arviona voidaan käyttää seuraavaa epäyhtälöä

$$\frac{1}{210s}|\Delta t| + \frac{1}{150km}\|\Delta x\| + 2|\Delta \beta| + 2|\Delta \epsilon| < 1 \quad (3)$$

Kustannusfunktio on selvästi kupera, joten optimointi konvergoituu hyvin nopeasti. Tällöin kustannusfunktion gradientti ja Hessen matriisi on suhteellisen helppo arvioida, erityisesti jos satelliittien ratoja approk-

simoidaan polynomeilla. Tällöin edullisia optimointimenetelmiä ovat Gauss-Newton –menetelmä ja liittogradienttimenetelmä.

Optimointi voidaan suorittaa jopa seuraavan kaltaisella iteroinnilla.

5

$$\begin{bmatrix} t_{k+1} \\ \mathbf{x}_{k+1} \\ \beta_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_k \\ \mathbf{x}_k \\ \beta_k \end{bmatrix} - H^{-1} \nabla f \quad (4)$$

missä

$$\nabla f \approx \frac{2000}{c} \sum_{i=1}^n \text{frac} \left(\phi_i + \varepsilon_i + \beta - \frac{1000}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\| \right) \begin{bmatrix} -\mathbf{v}_i^T \mathbf{u}_i \\ \mathbf{u}_i \\ \frac{c}{1000} \end{bmatrix} \in \mathbf{R}^5$$

$$10 \quad H \approx \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} -\mathbf{v}_i^T \mathbf{u}_i \\ \mathbf{u}_i \\ \frac{c}{1000} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\mathbf{v}_i^T \mathbf{u}_i & \mathbf{u}_i & \frac{c}{1000} \end{bmatrix} \in \mathbf{R}^{5 \times 5}$$

missä $\mathbf{u}_i$ on yksikkövektori vastaanottimesta PR satelliittiin $\mathbf{SV}_i$ ja $\mathbf{v}_i = \mathbf{s}_i'(t - \tau_i)$.

15 Sijainninmäärittystä voidaan jonkin verran nopeuttaa suorittamalla edellä esitetty optimointivaihe seuraavasti. Asetetaan satelliittien ratafunktio $\mathbf{s}_i(t)$, $i=1 \dots n$, käyttämällä esimerkiksi kolmannen asteen interpolointipolynomia ja laskemalla pseudoetäisyyskorjaukset ε_i käyttämällä vastaanottimen PR sijaintina oletussijaintia. Etsitään kustannusfunktion minimikohta pitämällä pseudoetäisyyskorjauksen ε_i arvot vakiona. Jos minimikohdan mukainen sijainti on kaukana oletussijainnista, toistetaan edellä mainittuja satelliittien ratafunktioiden asetusvaihetta ja minimifunktion etsintävaihetta, joissa uutena vastaanottimen oletussijaintina käytetään edellisellä laskentakerralla saatua sijaintia.

25 Kun optimointivaiheessa on minimikohta saatu määritettyä, vastaanottimen sijainti $\mathbf{x}$, aika t ja vastaanottimen kellovirhe β ovat selvillä.

Koska kyseessä on 5-dimensioisen yhtälöryhmän ratkaisu (aika, paikka, kellovirhe), suoritetaan tätä keksinnön ensimmäisen edullisen suoritusmuodon mukaista menetelmää sovellettaessa vähintään viiden satelliitin signaalin vastaanotto ja koodivaihemittaukset vastaanottimessa PR. Lisäksi vastaanottimeen PR on välitettävä ainakin näiden viiden satelliitin ratatiedot, jotta minimointi voidaan suorittaa. Kuitenkin koska ratatiedot ovat suhteellisen pitkän ajan voimassa, tyypillisesti muutamia tunteja (4—6 tuntia), ei näitä ratatietoja tarvitse välittää vastaanottimeen kovin usein. Hyvissä signaaliolosuhteissa on myös mahdollista, että vastaanotin voi ilmaista ratatiedot vastaanotetuista signaaleista, jolloin ratatietoja ei välttämättä tarvitse erikseen lähettää vastaanottimeen.

Sijainninmääritys voidaan suorittaa olennaisesti välittömästi sen jälkeen kun vastaanotin PR on tahdistunut ainakin viiden satelliitin signaaliin ja suorittanut näiden signaalien perusteella koodivaihemittauksia. Tässä edullisessa suoritusmuodossa käytettävien vastaanottimen sijainnin ja aikatiedon oletusarvojen tarkkuudesta riittää, että sijainti on tiedossa n. 150 km:n tarkkuudella ja aikavirhe on korkeintaan n. ± 210 s. Mikäli vastaanottimessa vastaanotetaan useamman kuin viiden satelliitin signaalia, voidaan näitä ylimääräisiä satelliittisignaaleita käyttää sellaisten paikallisten minimikohtien selvittämiseen, jotka ovat virheellisiä. Tällainen virheellinen paikallinen minimikohta voi kustannusfunktion minimoinnissa muodostua, mikäli vastaanottimen oletussijainti on kauempana kuin mainittu 150 km, ja/tai mikäli kellovirhe on suurempi kuin mainittu ± 210 s. Tällaisen virheellisen paikallisen minimikohdan arvo on kuitenkin suurempi kuin oikeaa sijaintia vastaava kustannusfunktion minimikohta.

Keksinnön erään toisen edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä ei vastaanottimen PR oletussijaintia ja aikatietoa tarvitse tietää etukäteen. Tällöin sijainninmääritys suoritetaan kustannusfunktion (2) avulla edullisesti seuraavasti. Etsitään vastaanottimen sijainti jakamalla tutkittava maantieteellinen alue (valtio, maanosa, maapallo) sekä aikatieto pienempiin 4-ulotteisiin osa-alueisiin, joiden koko on luokkaa 300 km x 300 km x 300 km x 420 s. Jokaisesta tällaisesta tutkittavasta alueesta etsitään kustannusfunktion (2) paikallinen minimi-

- kohta. Sen jälkeen kun ainakin kahdesta tällaisesta alueesta on kustannusfunktion minimikohta löydetty, verrataan näitä paikallisia minimikohtia. Mikäli jokin näistä paikallisista minimikohdista on selvästi pienempi kuin muut paikalliset minimikohdat, voidaan olettaa, että
- 5 kyseinen pienin paikallinen minimikohta vastaa vastaanottimen PR oikeaa sijaintia ja aikatieta. Tällöin etsintä voidaan lopettaa. Jos tällaista selvästi muita pienempää minimikohtaa ei löydy, jatketaan eri osa-alueiden tutkimista, kunnes selvästi pienempi minimikohta löydetään, tai kunnes tutkittavan alueen kaikki osa-alueet on käyty läpi.
- 10 Pienin paikallisista minimikohdista ilmaisee tällöin vastaanottimen PR sijainnin ja aikatieon (kellovirheen). Tässä keksinnön toisen edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä ei siis tarvita vastaanottimen oletussijaintia eikä aikatieta, vaan sijainninmääritys voidaan suorittaa koodivaihemittausten ja ratatietojen perusteella.
- 15
- Keksinnön erään kolmannen edullisen suoritusmuodon mukaisessa menetelmässä suoritetaan sijainninmääritys edullisesti siten, että optimointivaiheessa etsitään paikallinen minimikohta, minkä jälkeen minimikohtaa vastaava sijaintitieto muunnetaan maakeskeisestä koordinaatistosta (ECEF, Earth Centered, Earth Fixed) geodeettiseksi pituus-
- 20 leveys- ja korkeus –koordinaateiksi. Näistä koordinaateista tutkitaan korkeustietoa ja mikäli se on liian suuri tai liian pieni, voidaan päätellä, että määritetty sijainti ei ole oikea. Tämän jälkeen suoritetaan uusi kustannusfunktion optimointi. Uudessa optimoinnissa voidaan tällöin
- 25 käyttää jotakin toista aika-arviota ja/tai oletussijaintia. Korkeustiedon sallituiksi rajoiksi voidaan asettaa esimerkiksi –500 m (meren/maanpinnan alapuolella) ja +10 km. Näiden rajojen ulkopuolella oleva korkeustieto normaalisti ilmaisee sen, että sijainti on liian syvällä tai liian korkealla maapallon pintaan nähden. Satelliittien
- 30 (rata)geometriasta johtuen virheellisessä minimikohdassa korkeus on tyypillisesti 300 km tai 600 km liian korkealla tai syvällä maapallon pintaan verrattuna.
- Keksinnön mukaisen menetelmän toiminnot voidaan suurelta osin toteuttaa ohjelmallisesti ohjausyksikössä 9, edullisesti digitaalisen signaalinkäsittely-yksikön DSP ohjelmakoodina. Kustannusfunktio on edullisesti tallennettu muistiin 11 ja/tai ohjausyksikön 9 ohjelmakoodiin.
- 35

Vertailukello on muodostettu esim. vastaanottimen MS reaaliaikakellolla (RTC, Real-Time Clock) tai se voidaan muodostaa myös ulkoisella kellolla (ei esitetty) tai aikatieto voidaan saada ulkoisesta verkosta, kuten matkaviestinverkosta.

Matkaviestinvälineet MT käsittävät edullisesti toisen antennin 12, radio-osan 13, audiovälineet, kuten koodekin 14a, kaiuttimen 14b ja mikrofonin 14c, näytön 15 ja näppäimistön 16 ja muistia 11. Ohjauslohko 9 voi olla ainakin osittain yhteinen vastaanottimen PR toimintojen suorittamiseksi sekä matkaviestinvälineiden MT toimintojen suorittamiseksi, tai näille toiminnoille voidaan käyttää erillisiä suorittimia tai vastaavia.

On selvää, että nyt esillä olevaa keksintöä ei ole rajoitettu ainoastaan edellä esitettyihin suoritusmuotoihin, vaan sitä voidaan muunnella oheisten patenttivaatimusten puitteissa.

Patenttivaatimukset:

1. Menetelmä sijainninmäärityksen suorittamiseksi, jossa vastaanotetaan satelliittien (SV1—SV4) lähettämää toistokoodilla hajaspektrimoduloitua signaalia, suoritetaan tahdistuminen vastaanotettuun hajaspektrimoduloituun signaaliin, mitataan vastaanotetun hajaspektrimoduloidun signaalin koodivaihetta, vastaanotetaan satelliittien rataparametreja, joita käytetään sijainninmäärityksessä, määritetään kustannusfunktio, ja suoritetaan optimointivaihe kustannusfunktion minimoimiseksi, **tunnettu** siitä, että kustannusfunktiona käytetään katkaisuoperaattoria, jonka argumenttina käytetään ainakin yhtä jäännösvirhettä.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että jäännösvirhe muodostetaan arvioidun kulkuajan satelliitista vastaanottimeen ja signaalin todellisen kulkuajamittauksen murto-osan erotuksesta, ja jossa kulkuajamittauksen murto-osana käytetään vastaanotetusta signaalista mitattua koodivaihetta.

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että katkaisuoperaattorin argumenttina käytetään kahden tai useamman jäännösvirheen summaa.

4. Patenttivaatimuksen 1, 2 tai 3 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainittuna kustannusfunktiona käytetään funktiota:

$$f(t, \mathbf{x}, \beta) = c \sum \left[\text{frac} \left(\phi_i + \varepsilon_i(t, \mathbf{x}) + \beta - \frac{1000}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\| \right) \right]^2,$$

missä

$\tau_i = \frac{1}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\|$, signaalin arvioitu kulku aika satelliitista SV_i sijainnin-

määritysvastaanottoimeen,

t aika,

$\mathbf{x}$ sijainninmääritysvastaanottimen sijainti,

β sijainninmääritysvastaanottimen kellovirhe millisekunteina,

ϕ_i	satelliitin	SV_i	signaalin	koodivaihe
	sijainninmäärittämisvastaanottimessa,			
ε_i	arvioitu mittausvirheen kompensointi (pseudoetäisyyskorjaus) sisältäen ryhmäviiveen (group delay), satelliittien aikakorjauksen ja ionosfäärikorjauksen,			
5				
$\mathbf{s}_i(t)$	satelliitin SV_i sijainti ajanhetkellä t ,			
frac	katkaisuoperaattori,			
c	valon nopeus.			

10 5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainittu katkaisuoperaattori määritellään seuraavasti: $\text{frac } r = r - \text{round } r$.

15 6. Jonkin patenttivaatimuksen 1—5 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että, mainittu jäännösvirhe muodostetaan ainakin mainitun koodivaihemittauksen ja rataparametrien perusteella.

20 7. Jonkin patenttivaatimuksen 1—6 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että optimointivaiheen suorittamiseksi valitaan aikavirheelle ja vastaanottimen sijainnille oletusarvo.

25 8. Jonkin patenttivaatimuksen 1—7 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että sijainninmäärittäksessä käytetään ainakin viiden satelliitin lähettämää signaalia.

30 9. Jonkin patenttivaatimuksen 1—8 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä etsitään kustannusfunktion ainakin kaksi paikallista minimikohtaa, jolloin vastaanottimen sijainti määritetään mainitussa optimointivaiheessa määritetyn pienimmän paikallisen minimikohdan perusteella.

35 10. Jonkin patenttivaatimuksen 1—8 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että optimointivaiheen jälkeen verrataan kustannusfunktion minimikohtaa vastaavan sijainnin korkeustietoa ennalta määritettyihin minimiarvoon ja maksimiarvoon, jolloin mikäli korkeustieto on pienempi kuin mainittu minimiarvo tai suurempi kuin mainittu maksimiarvo, suoritetaan uusi optimointivaihe, muussa tapauksessa vastaanottimen si-

jainti määritetään mainitussa optimointivaiheessa määritetyn paikallisen minimikohdan perusteella.

11. Jonkin patenttivaatimuksen 1—10 mukainen menetelmä, **tun-**
 5 **nettu** siitä, että optimointivaiheessa toistetaan kustannusfunktion

minimointia kaavalla
$$\begin{bmatrix} t_{k+1} \\ \mathbf{x}_{k+1} \\ \beta_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_k \\ \mathbf{x}_k \\ \beta_k \end{bmatrix} - H^{-1} \nabla f,$$

missä

$$\nabla f \approx \frac{2000}{c} \sum_{i=1}^n \text{frac} \left(\phi_i + \varepsilon_i + \beta - \frac{1000}{c} \| \mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x} \| \right) \begin{bmatrix} -\mathbf{v}_i^T \mathbf{u}_i \\ \mathbf{u}_i \\ \frac{c}{1000} \end{bmatrix} \in \mathbf{R}^5$$

10
$$H \approx \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} -\mathbf{v}_i^T \mathbf{u}_i \\ \mathbf{u}_i \\ \frac{c}{1000} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\mathbf{v}_i^T \mathbf{u}_i & \mathbf{u}_i & \frac{c}{1000} \end{bmatrix} \in \mathbf{R}^{5 \times 5}$$

missä $\mathbf{u}_i$ on yksikkövektori vastaanottimesta PR satelliittiin SV_i ja $\mathbf{v}_i = \mathbf{s}_i'(t - \tau_i)$.

12. Elektroniikkalaite (MS), joka käsittää välineet (PR)
 15 sijainninmäärityksen suorittamiseksi, joka käsittää välineet (1—6)
 satelliittien (SV1—SV4) lähettämän toistokoodilla hajaspektrimodu-
 loidun signaalin vastaanottamiseksi, välineet (8, 9) vastaanotettuun
 hajaspektrimoduloituun signaaliin tahdistumiseksi, välineet (9, DSP)
 vastaanotetun hajaspektrimoduloidun signaalin koodivaiheen mittaami-
 20 seksi, välineet (1—6; 12, 13) sijainninmäärityksessä käytettävien satel-
 liittien rataparametrien vastaanottamiseksi, välineet (9, 11, DSP)
 kustannusfunktion määrittämiseksi, ja välineet (9, DSP) kustannus-
 funktion minimoimiseksi, **tunnettu** siitä, että kustannusfunktiona on
 25 katkaisuooperaattori, jonka argumenttina on käytetty ainakin yhtä
 jäännösvirhettä.

13. Patenttivaatimuksen 12 mukainen elektroniikkalaite, **tunnettu** siitä, että jäännösvirhe on muodostettu arvioidun kulkuajan satelliitista vastaanottoimeen ja signaalin todellisen kulkuaikamittauksen murto-osan erotuksesta, ja jossa kulkuaikamittauksen murto-osana on käytetty vastaanotetusta signaalista mitattua koodivaihetta.

14. Patenttivaatimuksen 12 tai 13 mukainen elektroniikkalaite, **tunnettu** siitä, että katkaisuooperaattorin argumenttina on käytetty kahden tai useamman jäännösvirheen summaa.

15. Patenttivaatimuksen 12, 13 tai 14 mukainen elektroniikkalaite, **tunnettu** siitä, että kustannusfunktiona on funktio:

$$f(t, \mathbf{x}, \beta) = c \sum \left[\text{frac} \left(\phi_i + \varepsilon_i(t, \mathbf{x}) + \beta - \frac{1000}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\| \right) \right]^2,$$

missä

$$\tau_i = \frac{1}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\|, \quad \text{signaalin arvioitu kulku aika satelliitista } i$$

sijainninmääritysvastaanottoimeen,

t aika,

$\mathbf{x}$ sijainninmääritysvastaanottimen sijainti,

20 β sijainninmääritysvastaanottimen kellovirhe millisekunteina,

ϕ_i satelliitin i koodivaihe,

ε_i arvioitu mittausrvirheen kompensointi (pseudoetäisyyskorjaus) sisältäen ryhmäviiveen (group delay), satelliittien aikakorjauksen ja ionosfäärikorjauksen,

25 $\mathbf{s}_i(t)$ satelliitin i sijainti ajanhetkellä t ,

frac katkaisuooperaattori,

c valon nopeus.

16. Patenttivaatimuksen 15 mukainen elektroniikkalaite, **tunnettu** siitä, että katkaisuooperaattori on määritelty seuraavasti:
 $\text{frac } r = r - \text{round } r.$

17. Jonkin patenttivaatimuksen 12—16 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että, mainittu jäännösvirhesumma on muodostettu ainakin mainitun koodivaihemittauksen ja rataparametrien perusteella.

5 18. Jonkin patenttivaatimuksen 12—17 mukainen elektroniikkalaite, **tunnettu** siitä, että se aikavirheelle ja vastaanottimen sijainnille on valittu oletusarvo.

10 19. Jonkin patenttivaatimuksen 12—18 mukainen elektroniikkalaite, **tunnettu** siitä, että välineet (1—6) satelliittien (SV1—SV4) lähettämän toistokoodilla hajaspektrimoduloidun signaalin vastaanottamiseksi käsittävät välineet (8) ainakin viiden satelliitin lähettämän signaalin vastaanottamiseksi.

15 20. Jonkin patenttivaatimuksen 12—19 mukainen elektroniikkalaite, **tunnettu** siitä, että se käsittää välineet (9) kustannusfunktion ainakin kahden paikallisen minimikohdan etsimiseksi, ja välineet (9) vastaanottimen sijainnin määrittämiseksi pienimmän paikallisen minimikohdan perusteella.

20

21. Jonkin patenttivaatimuksen 12—19 mukainen elektroniikkalaite, **tunnettu** siitä, että se käsittää välineet (1—8) kustannusfunktion minimikohtaa vastaavan sijainnin korkeustiedon vertaamiseksi ennalta määritettyihin minimiarvoon ja maksimiarvoon, jolloin uusi
25 optimointivaihe on järjestetty suoritettavaksi, mikäli korkeustieto on pienempi kuin mainittu minimiarvo tai suurempi kuin mainittu maksimiarvo, ja että vastaanottimen sijainti on järjestetty määritettäväksi määritetyn paikallisen minimikohdan perusteella, mikäli korkeustieto on suurempi tai yhtä suuri kuin mainittu minimiarvo ja
30 pienempi tai yhtä suuri kuin mainittu maksimiarvo.

Patentkrav:

1. Förfarande för utföring av positionering, i vilket en med en
 5 upprepningskod ströspektrummodulerad signal från satelliter (SV1–
 SV4) mottags, synkronisering med den mottagna ströspektrum-
 modulerade signalen utförs, kodfasen av den mottagna ströspektrum-
 modulerade signalen mäts, satelliternas kretsbanparametrar mottags,
 vilka skall användas för positionering, en kostnadsfunktion mäts, och
 10 en optimeringsfas utförs för minimering av kostnadsfunktionen,
kännetecknat av att som kostnadsfunktionen används en bryt-
 operator för vilken används som en argument åtminstone ett kvar-
 stående fel.

2. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att det kvar-
 15 stående felet bildas från skillnaden mellan den estimerade löptiden från
 satelliten till mottagaren och en bråkdel av signalens faktiska löptids-
 mätning, och i vilket som bråkdelen av löptidsmätningen används den
 av den mottagna signalen mätta kodfasen.

20 3. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 2, **kännetecknat** av att som
 argument för brytoperatoren används summan av två eller flera kvar-
 stående fel.

25 4. Förfarande enligt patentkrav 1, 2 eller 3, **kännetecknat** av att som
 sagda kostnadsfunktion används funktionen:

$$f(t, \mathbf{x}, \beta) = c \sum \left[\text{frac} \left(\phi_i + \varepsilon_i(t, \mathbf{x}) + \beta - \frac{1000}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\| \right) \right]^2,$$

i vilken

$\tau_i = \frac{1}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\|$, signalens estimerade löptid från en satellit SV_i till

30 en positioneringsmottagare,

t tid,

$\mathbf{x}$ läget av positioneringsmottagaren,

β klockfelet av positioneringsmottagaren i millisekunder,

- ϕ_i kodfasen av satellitens SV_i signal i positioneringsmottagaren,
 ε_i kompensering av det estimerade mätningssfelet (pseudo-avståndskorrigerings) innehållande ett grupplöptidsfel (group delay), satelliternas tidskorrigering och ionosfärkorrigering,
 5 $\mathbf{s}_i(t)$ satellitens SV_i läge vid tidpunkten t ,
 frac brytoperatoren,
 c ljushastigheten.
- 10 5. Förfarande enligt patentkrav 4, **kännetecknat** av att sagda brytoperator bestäms på följande sätt: $\text{frac } r = r - \text{round } r$.
6. Förfarande enligt något av patentkraven 1–5, **kännetecknat** av att sagda kvarstående fel bildas på basen av åtminstone sagda kodfas-
 15 mätning och kretsbanparametrar.
7. Förfarande enligt något av patentkraven 1–6, **kännetecknat** av att för utföring av optimeringsfasen väljs ett utgångsvärde för tidsfelet och för mottagarens läge.
- 20 8. Förfarande enligt något av patentkraven 1–7, **kännetecknat** av att vid positioneringen används en signal från åtminstone fem satelliter.
9. Förfarande enligt något av patentkraven 1–8, **kännetecknat** av att
 25 i förfarandet söks åtminstone två lokala minimipunkter av kostnadsfunktionen, varvid mottagarens läge bestäms på basen av den på sagda optimeringsskede bestämda minsta lokala minimipunkten.
10. Förfarande enligt något av patentkraven 1–8, **kännetecknat** av
 30 att efter optimeringsskedet lägets höjddata, som motsvarar kostnadsfunktionens minimipunkt, jämförs med de förutbestämda minimi- och maximivärden, varvid om höjddata är mindre än sagda minimivärde eller större än sagda maximivärde, utförs ett nytt optimeringsskede; i annat fall bestäms mottagarens läge på basen av den på sagda
 35 optimeringsskede bestämda lokala minimipunkten.

11. Förfarande enligt något av patentkraven 1–10, **kännetecknat** av att vid optimeringsskedet upprepas minimering av kostnadsfunktionen

med formeln
$$\begin{bmatrix} t_{k+1} \\ \mathbf{x}_{k+1} \\ \beta_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_k \\ \mathbf{x}_k \\ \beta_k \end{bmatrix} - H^{-1} \nabla f,$$

5 i vilken

$$\nabla f \approx \frac{2000}{c} \sum_{i=1}^n \text{frac} \left(\phi_i + \varepsilon_i + \beta - \frac{1000}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\| \right) \begin{bmatrix} -\mathbf{v}_i^T \mathbf{u}_i \\ \mathbf{u}_i \\ \frac{c}{1000} \end{bmatrix} \in \mathbf{R}^5$$

$$H \approx \sum_{i=1}^n \begin{bmatrix} -\mathbf{v}_i^T \mathbf{u}_i \\ \mathbf{u}_i \\ \frac{c}{1000} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\mathbf{v}_i^T \mathbf{u}_i & \mathbf{u}_i & \frac{c}{1000} \end{bmatrix} \in \mathbf{R}^{5 \times 5}$$

där $\mathbf{u}_i$ är en enhetsvektor från mottagaren PR till satelliten SV_i och $\mathbf{v}_i = \mathbf{s}_i'(t - \tau_i)$.

10

12. Elektronikanordning (MS), som omfattar medel (PR) för utföring av positionering, som omfattar medel (1–6) för mottagning av en med en upprepningskod ströspektrummodulerad signal från satelliter (SV1–SV4), medel (8, 9) för synkronisering med den mottagna ströspektrummodulerade signalen, medel (9, DSP) för mätning av kodfasen av den mottagna ströspektrummodulerade signalen, medel (1–6; 12, 13) för mottagning av kretsbanparametrar av satelliter som används för positionering, medel (9, 11, DSP) för bestämning av en kostnadsfunktion, och medel (9, DSP) för minimering av kostnadsfunktionen, **kännetecknad** av att som kostnadsfunktionen är en brytoperator, för vilken används som argument åtminstone ett kvarstående fel.

20

13. Elektronikanordning enligt patentkrav 12, **kännetecknad** av att det kvarstående felet är bildat från skillnaden mellan den estimerade löptiden från satelliten till mottagaren och en bråkdel av signalens faktiska löptidsmätning, och i vilken som bråkdelen av löptidsmätningen har använts den av den mottagna signalen mätta kodfasen.

25

14. Elektronikanordning enligt patentkrav 12 eller 13, **kännetecknad** av att som argument för brytoperatoren har använts summan av två eller flera kvarstående fel.

5

15. Elektronikanordning enligt patentkrav 12, 13 eller 14, **kännetecknad** av att som kostnadsfunktionen är funktionen:

$$f(t, \mathbf{x}, \beta) = c \sum \left[\text{frac} \left(\phi_i + \varepsilon_i(t, \mathbf{x}) + \beta - \frac{1000}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\| \right) \right]^2,$$

10 i vilken

$\tau_i = \frac{1}{c} \|\mathbf{s}_i(t - \tau_i) - \mathbf{x}\|$, signalens estimerade löptid från en satellit SV_i till

en positioneringsmottagare,

t tiden,

$\mathbf{x}$ läget av positioneringsmottagaren,

15 β klockfelet av positioneringsmottagaren i millisekunder,

ϕ_i kodfasen av satellitens SV_i signal i positioneringsmottagaren,

ε_i kompenseringen av det estimerade mättningsfelet (pseudo-avståndskorrigerings) innehållande ett grupplöptidsfel (group delay), satelliternas tidskorrigering och ionosfärkorrigering,

20 $\mathbf{s}_i(t)$ satellitens SV_i läge vid en tidspunkt t ,

frac brytoperatoren,

c ljushastigheten.

25 16. Elektronikanordning enligt patentkrav 15, **kännetecknad** av att brytoperatoren är bestämd på följande sätt: $\text{frac } r = r - \text{round } r$.30 17. Elektronikanordning enligt något av patentkraven 12–16, **kännetecknad** av att sagda summa av kvarstående fel är bildad på basen av åtminstone sagda kodfasmätning och kretsbanparametrar.

18. Elektronikanordning enligt något av patentkraven 12–17, **kännetecknad** av att för dess tidsfel och mottagarens läge har valts ett utgångsvärde.

19. Elektronikanordning enligt något av patentkraven 12–18, **kännetecknad** av att medlen (1–6) för mottagning av en med en upprepningskod ströspektrummodulerad signal från satelliter (SV1–SV4)
- 5 omfattar medel (8) för mottagning av en signal från åtminstone fem satelliter.
20. Elektronikanordning enligt något av patentkraven 12–19, **kännetecknad** av att den omfattar medel (9) för att söka åtminstone två
- 10 lokala minimipunkter av kostnadsfunktionen, och medel (9) för att bestämma läget av mottagaren på basen av den minsta lokala minimipunkten.
21. Elektronikanordning enligt något av patentkraven 12–19, **kännetecknad** av att den omfattar medel (1–8) för att jämföra lägets
- 15 höjddata som motsvarar kostnadsfunktionens minimipunkt med förutbestämda minimi- och maximivärden, varvid ett nytt optimeringskede är anordnat att utföras, om höjddatan är mindre än sagda minimivärde eller större än sagda maximivärde, och att mottagarens
- 20 läge är anordnat att bestämmas på basen av den bestämda lokala minimipunkten, om höjddatan är större än eller lika stor som sagda minimivärde och mindre än eller lika stor som sagda maximivärde.

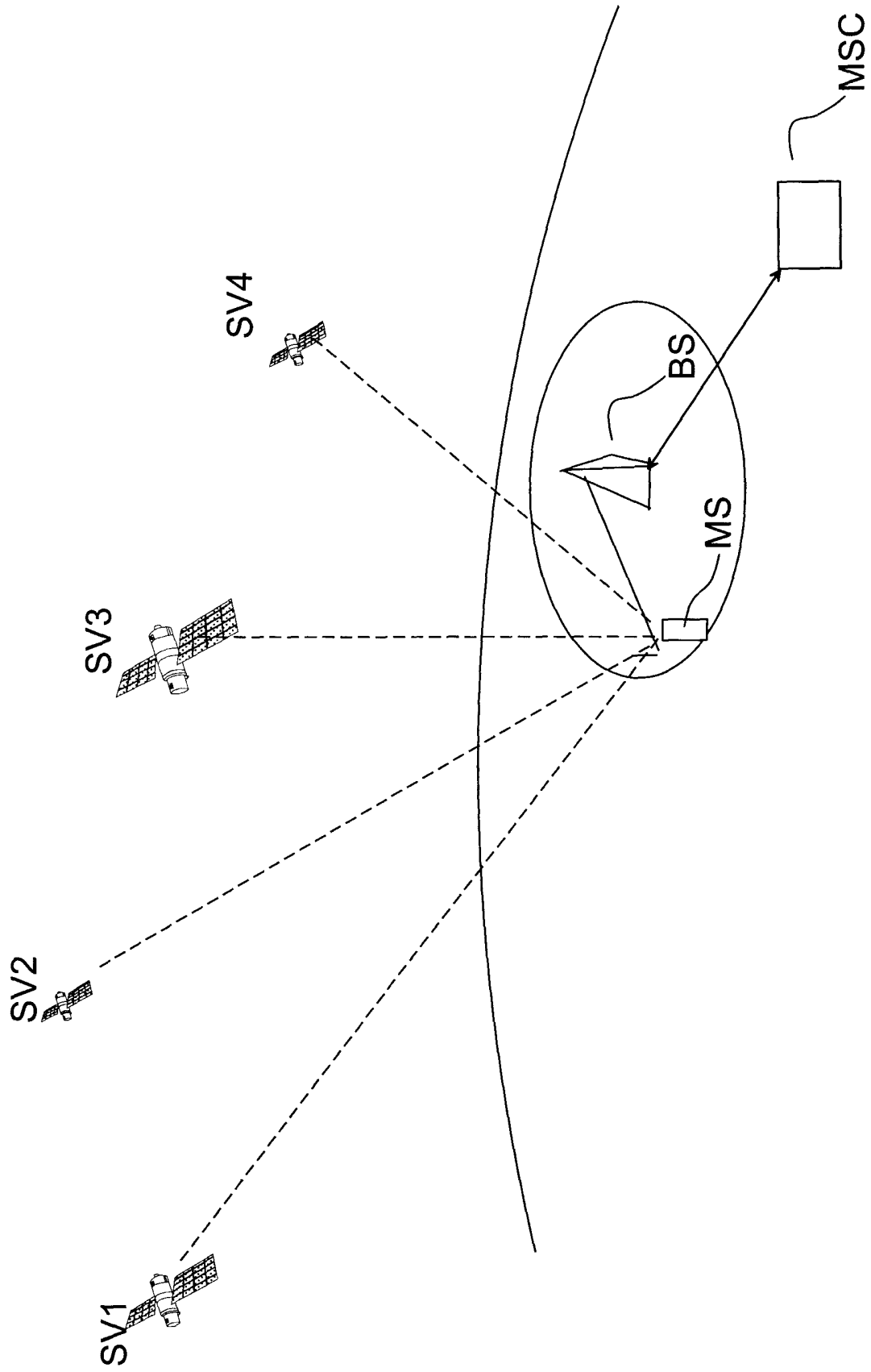


Fig. 1

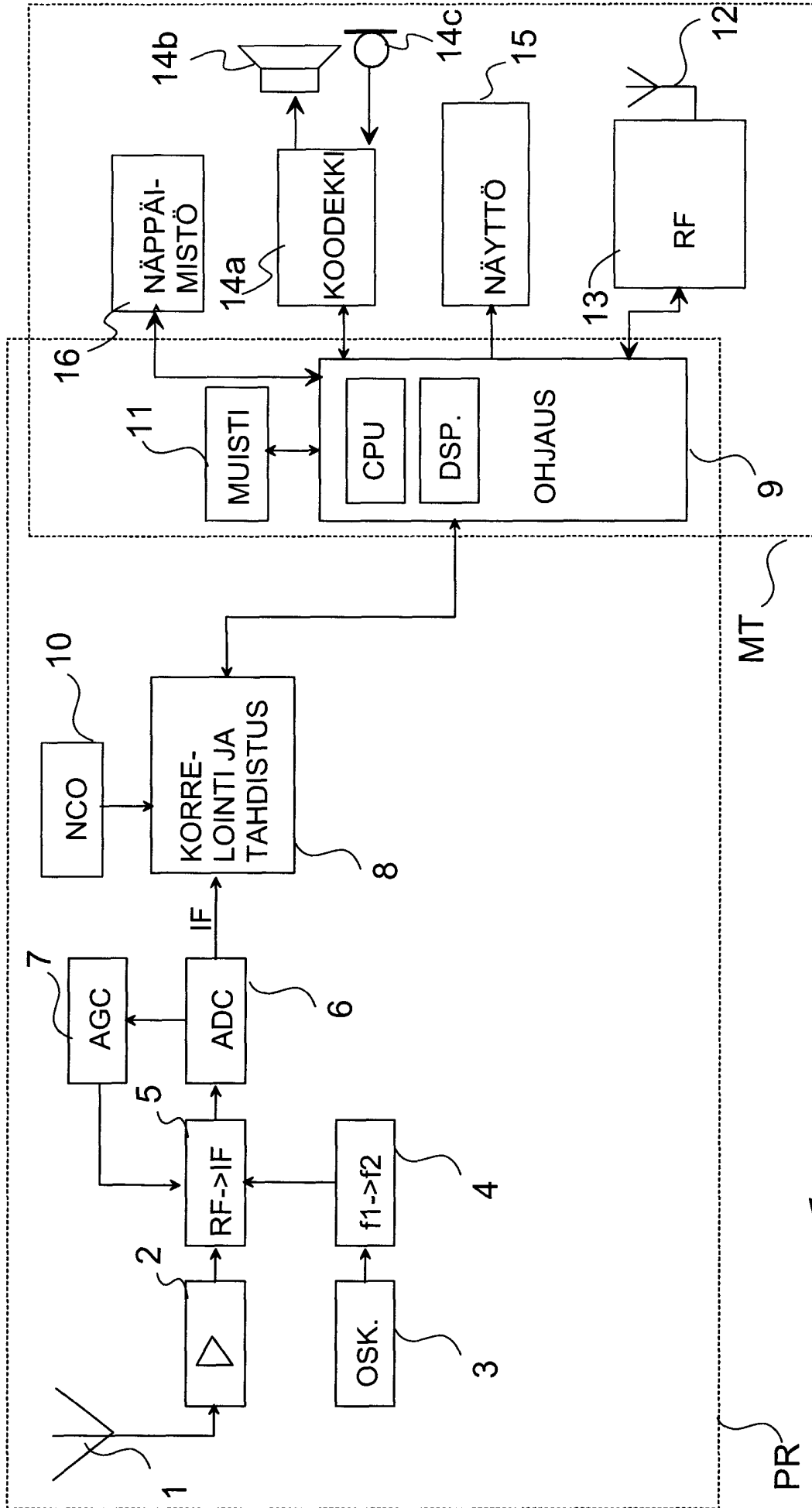


Fig. 2