

(19)



SUOMI - FINLAND

(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS

PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 20002845 A7**

(12) **JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE
PUBLIC**

(21) Patentihakemus - Patentansökan - Patent application 20002845

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation -
International patent classification (IPC⁷)
H04L 1/06

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date 22.12.2000

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date 22.12.2000

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public 23.06.2002

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date 14.06.2019

(71) Hakija - Sökande - Applicant

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

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • Tirkkonen, Olav, Helsinki, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Kolster Oy Ab, Salmisaarenaukio 1, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention

Digitaalisen signaalin lähettäminen

Sändning av en digital signal

(57) Tiivistelmä - Sammandrag - Abstract

Järjestely digitaalisten symbolien koodaamiseksi ja lähettämiseksi ainakin kahden antennin (314-318) kautta. Kooderissa (308) luetaan ainakin kaksi samaan lähetysohkkoon kuuluvaa symbolia, ja muodostetaan lohkokoodin avulla lähetysohkon symboleista kanavasymboleita. Kooderissa (308) kerrotaan ainakin yksi lähetysohkkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi lähetysohkkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, joiden painokertoimien välinen jakosuhte poikkeaa arvoista ± 1 ja $\pm j$. Lähetetään näin muodostetut kanavasymbolit radiotielle (320) antennien (314-318) kautta. (Kuvio 3)

Uppfinningen avser ett arrangemang för digital kodning och sändning av symboler via minst en antenn (314-318). I en koder (308) läses minst två till samma sändningsblock hörande symboler, varvid man med hjälp av en blockkod bildar kanalsymboler av sagda sändningsblocks symboler. I sagda koder (308) multipliceras minst en av de till sagda sändningsblocks symboler hörande symbolerna med en från noll avvikande första avvägningfaktor och minst en av de till sagda sändningsblocks symboler hörande symbolerna med en från noll avvikande andra avvägningfaktor, varvid fördelningsförhållandet mellan sagda avvägningfaktorer avviker från ± 1 och $\pm j$. De sålunda bildade kanalsymbolerna sänds ut på radiovägen (320) via sagda antenner (314-318).

Digitaalisen signaalin lähettäminen

Keksinnön ala

Keksinnön soveltamisala on digitaalisen signaalin lähetys, erityisesti keksintö kohdistuu signaalin lohkokoodaukseen useamman kuin yhden antenin kautta tapahtuvaa lähetystä varten.

Keksinnön tausta

Tietoliikenneyhteyksissä signaalien välittämiseen käytetty siirtotie aiheuttaa tunnetusti häiriöitä tietoliikenteelle. Tätä tapahtuu riippumatta siirtotien fyysisestä muodosta, olipa siirtotie esimerkiksi radioyhteys, valokuitu tai kuparikaapeli. Erityisesti radiotietoliikenteessä esiintyy usein tilanteita, joissa siirtotien laatu vaihtelee yhteykserrasta toiseen ja myös yhteyden aikana. Radiotien häipymisilmiöt ovat eräs tyypillinen ilmiö, joka aiheuttaa muutoksia siirtokanavassa. Myös muut samanaikaiset yhteydet saattavat aiheuttaa häiriöitä ja nämä voivat vaihdella ajan ja paikan funktiona. Tyypillisessä radiotietoliikenneympäristössä lähettimen ja vastaanottimen väliset signaalit etenevät useaa reittiä. Tämä monitie-eteneminen (multipath propagation) aiheutuu pääosin signaalin heijastumisista ympäröivistä pinnoista. Eri reittejä kulkeneet signaalit saapuvat vastaanottimeen eri aikoina erilaisen kulkuaikaviiveen takia. Monitie-etenemisen aiheuttaman häipymän kompensoimiseen on kehitetty erilaisia menetelmiä.

Eräs tehokkaimmista tavoista radiotiellä esiintyvän häipymän kompensoimiseksi on lähettimen lähetystehon säätö. Jos radiotien ominaisuudet tunnetaan, voidaan lähettimen tehoa säätää siten, että häipymän vaikutus voidaan kumota. Käytännössä tällainen ratkaisu on kuitenkin perin vaikea toteuttaa, koska ensiksikin lähettimen tulisi tietää kanavan laatu, ja tämä tiedon välitys lähettimelle reaaliaikaisesti on hankalaa. Toiseksi lähettimille asetetut lähetystehon rajat sekä lähettimien dynaaminen alue asettavat omat rajoituksensa. Lisäksi tehonsäätö itsessään voi johtaa tehottomaan lähetykseen kasvattamalla tehon suureksi häipymäkuopissa. Toinen ratkaisu ongelmaan on diversiteetin käyttö lähettimessä. Aikadiversiteetissä käytetään lomittelua ja koodausta, jolla aikaansaadaan ajallista diversiteettiä lähetettävään signaaliin. Tällä on kuitenkin se haittapuoli, että lähetykseen tulee viiveitä, varsinkin, kun kanava on hitaasti häipyvää. Taajuusdiversiteetissä puolestaan signaali lähetetään usealla taajuudella samanaikaisesti. Tämä on kuitenkin tehoton menetelmä silloin, kun kanavan koherenssikaistanleveys on suuri.

Lähetysantennidiversiteetissä lähetetään sama signaali tai saman signaalin eri osat vastaanottimelle kahta tai useampaa eri antennia käyttäen. Tällöin eri kanavien läpi monitie-edenneet signaalikomponentit eivät todennäköisesti tule samanaikaisen häipymän häiritsemiksi. Julkaisussa WO 99/14871 on esitetty erityisesti kahden antennin tapaukseen soveltuva diversiteettimenetelmä, jossa koodataan lähetettävät biteistä koostuvat symbolit annetun mittaisissa lohkoissa, ja jossa kukin lohko koodataan annetuksi määräksi kanavasymboleja kaavan (1) mukaisesti.

$$C_{Ala} \rightarrow \begin{pmatrix} z_1 & z_2 \\ -z_2^* & z_1^* \end{pmatrix} \quad (1)$$

Kaavassa matriisin vaakarivit kuvaavat lähetysajanhetkiä siten, että ylempi vaakarivi kuvaa ajanhetkellä t lähetettävää informaatiota ja alempi vaakarivi ajanhetkellä $t+T$ lähetettävää informaatiota, jossa T tarkoittaa symbolijaksoa. Matriisin pystyrit kuvaavat antennia siten, että ensimmäinen pystyrivi kuvaa antennin 1 kautta lähetettävää informaatiota ja toinen pystyrivi antennin 2 kautta lähetettävää informaatiota. Kaavassa (1) esitetyn kaltainen kompleksisen modulaation lohkokoodi on olemassa kuitenkin vain korkeintaan kahdelle antennille. Useammalle kuin kahdelle antennille lähetettävä maksimaalinen tiedonsiirtonopeus eli koodaussuhde (rate) lasketaan kaavan (2) mukaisesti, missä N on lähetysantennien lukumäärä, ja hakasulkeet tarkoittavat pienintä kokonaislukua, joka on suurempi tai yhtä suuri kuin sulkeissa oleva lauseke. On huomattava, että tässä koodaussuhteella tarkoitetaan symbolikoodaussuhdetta, eli symbolijakson T aikana lähetettävien symbolien lukumäärää. Kolmelle ja neljälle antennille maksimaalinen koodaussuhde ortogonaaliselle koodille onkin $3/4$.

$$\text{Rate} = \frac{[\log_2 N] + 1}{2^{[\log_2 N]}} \quad (2)$$

Julkaissuissa Tirkkonen, Boariu, Hottinen IEEE 6th Symposium on Spread-Spectrum Tech. & Appli., NJIT, New Jersey, USA Sept. 2000 on esitetty eräitä täyden koodaussuhteen 1 ratkaisuja. Julkaissuissa esitetään koodausmenetelmä, jossa kaavan (1) mukaista ortogonaalista Alamoutin matriisia

hyväksikäyttäen on muodostettu neljän antennin kaavan (3) mukainen epäortogonaalinen lohkokoodi.

$$(z_1, z_2, z_3, z_4) \rightarrow \begin{pmatrix} z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \\ -z_2^* & z_1^* & -z_4^* & z_3^* \\ z_3 & z_4 & z_1 & z_2 \\ -z_4^* & z_3^* & -z_2^* & z_1^* \end{pmatrix} \quad (3)$$

5

Matriisi on esitystavan (4) mukaisesti muotoa ABBA, jossa A matriisi noudattelee Alamoutin matriisia symboleille z_1 ja z_2 , kun taas B noudattelee Alamoutin matriisia symboleille z_3 ja z_4 .

$$\begin{pmatrix} A & B \\ B & A \end{pmatrix} \quad (4)$$

10

Tunnettuihin epäortogonaalisiin lohkokodeihin sisältyy kuitenkin merkittävä haitta. Mainituilla lohkokodeilla ei ole täysi diversiteetti eli itsenäisesti dekodattavien kanavien lukumäärä on pienempi kuin antennien lukumäärä, jolloin menetetään antennien tarjoamaa lähetyskapasiteettia. Lohkokoodin diversiteetti on matriisien (5) pienin nollasta poikkeavien ominaisarvojen lukumäärä.

15

$$H_{ce} = D_{ce}^H D_{ce} \quad (5)$$

20

, jossa erotusmatriisi D_{ce} määritellään kaavalla (6)

$$D_{ce} = C_c - C_e \quad (6)$$

25

jolloin H_{ce} on siis erotusmatriisin neliö. Edellisessä C_c on jokin lähetetty koodimatriisi ja C_e on jokin virheellinen detektoitu koodimatriisi. Jos esimerkiksi ajatellaan kanavasymboliparia, jossa tehdään sama virhe Δ symboleille z_1 ja z_3 ja ei lainkaan virhettä symboleille z_2 ja z_4 , erotusmatriisiksi D_{ce} saadaan kaavan (7) mukainen matriisi.

30

$$D_{ce} = \begin{pmatrix} \Delta & 0 & \Delta & 0 \\ 0 & \Delta^* & 0 & \Delta^* \\ \Delta & 0 & \Delta & 0 \\ 0 & \Delta^* & 0 & \Delta^* \end{pmatrix} \quad (7)$$

Kaavan (7) mukainen matriisi on singulaarinen eli matriisilla ei ole olemassa käänteismatriisia (inverse matrix). Matriisilla on vain kaksi nollasta poikkeavaa ominaisarvoa (eigenvalue), 2Δ ja $2\Delta^*$. Näinollen kaavan (3) mukaisen ABBA-lohkokoodin diversiteettiaste on vain 2. Matala diversiteetti alkaa näkyä koodauksen suorituskvyssä heikkenevänä bittivirhesuhteena bittienergian suhteen häiriötasoon ylittäessä 5 dB.

Keksinnön lyhyt selostus

Keksinnön tavoitteena on siten toteuttaa menetelmä ja menetelmän toteuttava laitteisto siten, että koodauksella saavutetaan täysi diversiteetti kahden tai useamman lähetysantennin tapauksessa. Tämä saavutetaan menetelmällä digitaalisten symbolien lähettämiseksi, jossa menetelmässä luetaan lähettimessä ainakin kaksi samaan lähetyslohkoon kuuluvaa symbolia. Menetelmässä muodostetaan lähetyslohkoon kuuluvista symboleista kanavasymboleita käsittävä lohkokoodi suorittamalla kullekin symbolille ainakin yksi seuraavista operaatioista: toistaminen, konjugointi, painokertoimella kertominen, kahden tai useamman symbolin yhteenlasku, ja että kerrotaan ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhde poikkeaa arvoista ± 1 ja $\pm j$, ja lähetetään muodostetut kanavasymbolit kahden tai useamman lähetysantennireitin kautta. J:llä tarkoitetaan tässä luvun -1 neliöjuurta.

Keksinnön kohteena on myös järjestely digitaalisten symbolien lähettämiseksi, käsittäen kooderin digitaalisten symbolien koodaamiseksi kanavasymboleiksi, ja kooderiin yhteydessä olevan yhden tai useamman lähetysantennin kanavasymbolien lähettämiseksi. Kooderi on sovitettu lukemaan ainakin kaksi samaan lähetyslohkoon kuuluvaa symbolia, ja muodostamaan koodauksen määrittelevän lohkokoodin avulla lähetyslohkoon kuuluvista symboleista kanavasymboleita suorittamalla kullekin symbolille ainakin yksi seuraavista operaatioista: toistaminen, konjugointi, painokertoimella kertominen, kahden tai useamman symbolin yhteenlasku, ja että kooderi on sovitettu ker-

tomaan ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nolasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nolasta poikkeavalla toisella painokertoimella, joiden mainitun ensimmäisen painokertoimen ja mainitun toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista ± 1 ja $\pm j$, ja joka järjestely on sovitettu lähettämään muodostetut kanavasymbolit mainitun yhden tai useamman antennin avulla muodostetun kahden tai useamman lähetysantennireitin kautta.

Keksinnön edulliset suoritusmuodot ovat epäitsenäisten patenttivaatimusten kohteena.

10 Keksinnön kohteena on siis menetelmä ja laitteisto aika-avaruus (space-time) lohkokoodauksen tekemiseksi radiolähettimessä. Lohkokoodauksessa luetaan tietty määrä symboleita, jotka koodataan kanavasymboleiksi lähetettäväksi eri ajanhetkinä ja ainakin kahden lähetysantennin kautta. Keksinnön kannalta ei ole keskeistä, kuinka monen vastaanottoantennin kautta lähet-
15 tyksen vastaanotto tapahtuu. Keksinnöllinen ratkaisu perustuu siihen, että lähetyslohkossa on ainakin kaksi symbolia, jotka kerrotaan nolasta poikkeavilla painokertoimilla siten, että kertoimien jakosuhte poikkeaa arvoista ± 1 ja $\pm j$.

Keksinnön mukainen koodimatriisi täyttää vaatimuksen maksimaalisesta symbolikohtaisesta diversiteetistä. Tällä tarkoitetaan sitä, että mikäli koodimatriisista poistettaisiin kaikki muut symbolit paitsi yksi symboli, on koodimatriisi kyseisen jäljellejäävän symbolin osalta unitaarinen (unitary). Edellä-
20 mainittu ehto pätee kaikille koodimatriisin symboleille. Tällöin koodimatriisin C symbolikohtaiselle koodimatriisille C_k pätee yhtälö (8). Symbolikohtaisella koodimatriisilla C_k tarkoitetaan tässä koodimatriisia, josta on muut symbolit kuin z_k korvattu nolilla.

$$C_k^H C_k \sim |z_k|^2 I_N \quad (8)$$

Yhtälössä (8) C_k^H on matriisin C_k Hermiittiskonjugaatti (Hermite conjugate) eli kompleksikonjugaatin transpoosi, $|z_k|$ on z_k :n itseisarvo ja I_N on N -dimensioinen yksikkömatriisi (identity matrix). Jos $M=N$, yksinkertaisin tapa todeta symbolikohtainen unitaarisuus on muodostaa symbolikohtainen matriisi C_k , jolloin täsmälleen yksi symboli kullakin vaaka- ja pystyriivillä on z_k tai sen kompleksikonjugaatti muiden elementtien ollessa nollia.

30 Yleinen koodimatriisi, joka täyttää symbolikohtaisen täyden diversiteetin voidaan muodostaa seuraavasti. Jokaiselle symbolille z_k valitaan koko-

naisluku n_k väliltä $1 \leq n_k \leq N$, jossa N on lähetysantennien lukumäärä. Muodostetaan $N \times N$ matriisi, jossa n_k z_k :ta ja $N - n_k$ z_k^* :a ovat matriisin diagonaalilla. Jos viive M on suurempi kuin N , lisätään $N \times N$ matriisiin $M - N$ kappaletta vaakarivejä, joissa kussakin on elementteinä N kappaletta nollia. Kutsutaan saatua matriisia γ_k :ksi ja muodostetaan yleinen C_k yhtälön (9) mukaan.

$$C_k = U_k \gamma_k V_k \quad (9)$$

Yleinen koodimatriisi C , joka täyttää symbolikohtaisen täyden diversiteetin on kaavassa (10) esitettyä muotoa

$$C = \sum_{k=1}^K C_k = \sum_{k=1}^K U_k \gamma_k V_k \quad (10)$$

, jossa U_k on unitaarinen $M \times M$ matriisi ja V_k on unitaarinen $N \times N$ matriisi. Keksinnöllisessä ratkaisussa matriiseissa U_k , V_k on ainakin yksi elementti joka ei kuulu arvojoukkoon $\{0, \pm 1, \pm j\}$.

Edullisesti keksinnön mukaiselta koodimatriisilta vaaditaan, että koodimatriisin Hermiittisen neliön (8) avulla muodostettu epäortogonaalisuusmatriisi (5) (non-orthogonality matrix) on jäljetön (traceless). Muussa tapauksessa joihinkin symboleihin koodatut bitit olisivat epähomogeenisesti koodattuja - saattaisi esimerkiksi olla todennäköisempää tehdä ilmaisussa virhe jos lähetetään bitti 0 kuin jos lähetetään bitti 1. Edullisesti koodimatriisilta edellytetään myös symbolitason homogeenisuutta, eli että kaikki symbolit ovat koodimatriiseissa keskenään samanarvoisessa asemassa.

Keksinnön eräässä edullisessa suoritusmuodossa lohkokoodin kaikki symbolit on muodostettu samalla modulointipisteistöllä mutta ainakin yhden symbolin osalta modulointipisteistö on vaihekierretty suhteessa lohkon muihin symboleihin. Esimerkiksi QPSK-symboleilla yhtälön (3) muotoisissa koodeissa vaihekierto on edullisesti 25 asteen ja 65 asteen välillä. Keksinnön toisessa edullisessa suoritusmuodoissa kaksi tai useampia symboleita lasketaan yhteen lohkokoodausmatriisin kanavasymbolia muodostettaessa. Eräässä edullisessa suoritusmuodossa yksi symboli kerrotaan painokertoimella ja lasketaan tämän jälkeen yhden tai useamman lohkon muun symbolin kanssa kanavasymbolin muodostamiseksi.

Edullisesti ainakin kaksi lähetyslohkoon kuuluvaa symbolia on koodattu keskenään ortogonaalisesti, vaikkakin kokonaisuutena keksinnön mukainen lohkokoodi on epäortogonaalinen. Esimerkiksi neljän symbolin lohkon tapauksessa, eräs edullinen suoritusmuoto on esimerkiksi epäortogonaalinen

5 2+2 matriisi, jossa kaksi symbolia on koodattu keskenään ortogonaalisesti ja vastaavasti jäljelle jäävät toiset kaksi symbolia ovat keskenään ortogonaalisesti koodatut. Toinen edullinen suoritusmuoto on 3+1 muotoa oleva lohkokoodi, jossa kolme symbolia on keskenään ortogonaalisesti koodatut. Keksintö ei rajoittunut siihen, onko lohkomatriisi tehotasapainotettu vai ei.

10 Keksinnöllä saavutetaan merkittäviä etuja. Koodimatriisin koodaus-suhde saadaan korkeammaksi kuin ortogonaalisuuden sallima koodaussuhde, ja painottamalla yhtä tai useampaa symbolia kompleksisella painokertoimella keksinnön avulla voidaan esittää koodimatriisi, jolla saavutetaan täysi diversiteetti. Keksinnön mukaisella ratkaisulla saavutetaan merkittäviä etuja bittivir-

15 hesuhteen tasossa (BER, bit error rate) tunnetun tekniikan mukaiseen ratkaisuun verrattuna, erityisesti korkeilla signaali-kohinasuhteen (SNR, Signal to Noise Ratio) tasoilla.

Kuvioiden lyhyt selostus

Keksintöä selostetaan nyt lähemmin edullisten suoritusmuotojen yhteydessä, viitaten oheisiin piirroksiin, joissa

20 kuvio 1 esittää esimerkkiä keksinnön erään toteutusmuodon mukaisesta järjestelmästä,

kuvio 2 esittää toista esimerkkiä keksinnön erään toteutusmuodon mukaisesta järjestelmästä,

25 kuvio 3 havainnollistaa esimerkkiä keksinnön erään toteutusmuodon mukaisesta järjestelystä.

kuvio 4A havainnollistaa edullisia modulaation vaihetekijöitä eri determinanttikriteerien avulla,

30 kuvio 4B havainnollistaa symbolivirheiden neliöitä kahdella eri modulaation vaihetekijällä,

kuvio 5 kuvaa keksinnön eräillä edullisilla suoritusmuodoilla saavutettavia bittivirhetasoja signaalihäiriösuhteen funktiona .

Edullisten suoritusmuotojen kuvaus

35 Keksintöä voidaan käyttää radiojärjestelmissä, joissa on mahdollista lähettää ainakin osa signaalista käyttäen kahta tai useampaa lähetysantennia

tai kahden tai useamman lähetysantennin avulla aikaansaatuja kahta tai useampaa keilaa. Siirtokanava voi olla muodostettu esimerkiksi käyttäen aikajakoista, taajuusjakoista tai koodijakoista symbolimultipleksausta tai monikäyttömenetelmää. Myös eri monikäyttömenetelmien yhdistelmiä käyttävät järjestelmät ovat keksinnön mukaisia järjestelmiä. Esimerkeissä kuvataan keksinnön käyttöä suorasekvenssitekniikalla toteutettua laajakaistaista koodijakoista monikäyttömenetelmää käyttävässä UMTS-järjestelmässä (Universal Mobile Telephony System), keksintöä siihen kuitenkaan rajoittamatta.

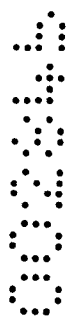
Viitaten kuvioon 1 selostetaan esimerkinomaisesti matkapuhelinjärjestelmän rakennetta. Matkapuhelinjärjestelmän pääosat ovat ydinverkko (core network) CN, matkapuhelinjärjestelmän maanpäällinen radioliittymäverkko (UMTS terrestrial radio access network) UTRAN ja tilaajapääte laite (user equipment) UE. CN:n ja UTRAN:in välinen rajapinta on nimeltään lu, ja UTRAN:in ja UE:n välinen ilmarajapinta on nimeltään Uu. UTRAN muodostuu radioverkkoalijärjestelmistä (radio network subsystem) RNS. RNS:ien välinen rajapinta on nimeltään lur. RNS muodostuu radioverkkokontrollerista (radio network controller) RNC ja yhdestä tai useammasta B-solmusta (node B) B. RNC:n ja B:n välinen rajapinta on nimeltään lub. B-solmun kuuluvuusalueita eli solua merkitään kuviossa C:llä.

Kuviossa 1 esitetty kuvaus on melko yleisellä tasolla, joten sitä selvennetään kuviossa 2 esitetyllä tarkemmalla esimerkillä solukkoradiojärjestelmästä. Kuvio 2 sisältää vain oleelliset lohkot, mutta alan ammattimiehelle on selvää, että tavanomaiseen solukkoradioverkkoon sisältyy lisäksi muitakin toimintoja ja rakenteita, joiden tarkempi selittäminen ei tässä ole tarpeen. Huomattakoon myös, että kuviossa 2 on esitetty vain eräs esimerkkirakenne. Keksinnön mukaisissa järjestelmissä saattavat yksityiskohdat poiketa kuviossa 2 esitetyistä, mutta keksinnön kannalta näillä eroilla ei ole merkitystä. Solukkoradioverkko käsittää siis tyypillisesti kiinteän verkon infrastruktuurin eli verkko-osan 200, ja tilaajapääte laitteita 202, jotka voivat olla kiinteästi sijoitettuja, ajoneuvoon sijoitettuja tai kannettavia mukana pidettäviä päätelaitteita. Verkko-osassa 200 on tukiasemia 204. Tukiasema 204 vastaa edellisen kuvion B-solmua. Useita tukiasemia 204 keskitetysti puolestaan ohjaa niihin yhteydessä oleva radioverkkokontrolleri 206. Tukiasemassa 204 on lähetin vastaanottimia 208 ja multiplekseriyksikkö 212.

Tukiasemassa 204 on edelleen ohjausyksikkö 210, joka ohjaa lähetin vastaanottimien 208 ja multiplekserin 212 toimintaa. Multiplekserillä 212 sijoi-

- tetaan useiden lähetinvastaanottimen 208 käyttämät liikenne- ja ohjauskanavat yhdelle siirtoyhteydelle 214. Siirtoyhteys 214 muodostaa rajapinnan lub. Tukiaseman 204 lähetinvastaanottimista 208 on yhteys antenniyksikköön 218, jolla toteutetaan kaksisuuntainen radioyhteys 216 tilaajapäätelaitteeseen 202.
- 5 Kaksisuuntaisessa radioyhteydessä 216 siirrettävien kehysten rakenne on järjestelmäkohtaisesti määritelty, ja sitä kutsutaan ilmarajapinnaksi Uu.

- Radioverkkokontrolleri 206 käsittää ryhmäkytkentäkentän 220 ja ohjausyksikön 222. Ryhmäkytkentäkenttää 220 käytetään puheen ja datan kytkentään sekä yhdistämään signaalintipiirejä. Tukiaseman 204 ja radioverkko-
- 10 kontrollerin 206 muodostamaan radioverkkoalijärjestelmään 224 kuuluu lisäksi transkooderi 226. Transkooderi 226 sijaitsee yleensä mahdollisimman lähellä matkapuhelinkeskusta 228, koska puhe voidaan tällöin siirtokapasiteettia säästään siirtää solukkoradioverkon muodossa transkooderin 226 ja radioverkkokontrollerin 206 välillä. Transkooderi 226 muuntaa yleisen puhelinverkon ja
- 15 radiopuhelinverkon välillä käytettävät erilaiset puheen digitaaliset koodausmuodot toisilleen sopiviksi, esimerkiksi kiinteän verkon muodosta solukkoradioverkon johonkin muuhun muotoon ja päinvastoin. Ohjausyksikkö 222 suorittaa puhelunohjausta, liikkuvuuden hallintaa, tilastotietojen keräystä ja signaalointia. Kuviossa 2 kuvataan edelleen matkapuhelinkeskus 228 ja porttimatkapuhelinkeskus 230, joka hoitaa matkapuhelinjärjestelmän yhteydet ulkopuoliseen maailmaan, tässä yleiseen puhelinverkkoon 232.
- 20



- Kuviossa 3 havainnollistetaan esimerkkiä keksinnön erään toteutusmuodon mukaisesta järjestelystä. Kuviossa kuvataan tilannetta, jossa kanavakoodatut symbolit lähetetään kolmen antennin 314-318 kautta eri aikaväleissä. Kuviossa on ensiksikin esitetty lähetin 300, joka on yhteydessä vastaanottoimeen 302 radioyhteyden 320 välityksellä. Lähetin 300 käsittää modulaattorin 304, johon luetaan sisääntulona lähetettävä signaali 306, joka keksinnön edullisen toteutusmuodon mukaisessa ratkaisussa koostuu biteistä. Keksinnön kannalta ei ole merkityksellistä, mitä nämä bitit ovat, ne voivat tulla lähdekoodaajasta esimerkiksi kanavakoodaajan ja/tai bittilomittelijan kautta. Modulaattorissa 304 bitit moduloidaan symboleiksi. Lähetettävät symbolit on ryhmitelty annetun mittaisiin lähetyslohkoihin, esimerkiksi neljän symbolin mittaisiin. Kooderi 308 suorittaa symboleille keksinnön mukaisen menetelmän mukaisia operaatioita, kuten esimerkiksi toistamista, konjugointia, nollaamista, negaation muodostamista, painokertoimella kertomista ja symbolien yhteenlaskua. Kanavasymbolien muodostuksessa kooderi 308 käyttää lohkokoodia,
- 25
- 30
- 35



joka määrittelee modulaattorista 304 luettujen symbolien ja radiokanavalle lähetettävien kanavasymbolien välisen yhteyden. Lohkokoodiin kuuluu $N \cdot M$ kanavasymbolia, missä N ja M ovat positiivisia kokonaislukuja, N tarkoittaen lähetysantennireittien lukumäärää, ja M lohkokoodin viivettä. Keksinnöllisen ratkaisun mukaisesti kerrotaan ainakin kaksi symbolia nolasta poikkeavilla painokertoimilla siten, että kyseisten painokertoimien jakosuhte ei kuulu arvojoukkoon $\pm 1, \pm j$. Eräässä edullisessa suoritusmuodossa painokertoimella kerrottu symboli lasketaan yhteen ainakin yhden muun symbolin kanssa kanavasymbolin muodostamiseksi, joista muista symboleista nolla tai useampi symbolia on kerrottu painokertoimella ensimmäisen symbolin tapaan.

Kooderi 308 on yhteydessä lähetysantenneihin 314-318 radiotaajuusosien 312 välityksellä. Esimerkiksi kuvion 3 tapauksessa kanavasymbolit 310 viedään radiotaajuusosien 312 kautta lähetettäväksi kolmella antennilla 314-318. Kaksi tai useampi lähetysantennireittiä voidaan aikaansaada kahden tai useamman antennin avulla tai myös kahden tai useamman antennikeilan avulla, jotka puolestaan on aikaasaatu käyttäen vähintään kahta antennia ja sopivaa vaiheistusta tai kompleksista painotusta. Keksintö ei ole rajoittunut siihen, millaisia tiedonsiirtoresursseja käyttäen kanavasymbolit lähetetään radioyhteydellä, vaan tiedonsiirtoresurssit voivat muodostua useista aikaväleistä, eri hajotuskoodeista tai eri taajuuksista.

Keksintöä selostetaan seuraavaksi N :lle antennille suunnitellun epäortogonaalisen lohkokoodin avulla, joka lähettää M :ssä symbolijaksossa K symbolia, missä K on enemmän kuin M kertaa yhtälön (2) sallima maksimaalinen ortogonaalinen koodaussuhde. Koodimatriisilta vaaditaan symbolikohtainen täysi diversiteetti, jota on kuvattu yhtälöillä (8)-(9). Tämä tarkoittaa sitä, että koodi antaa täyden N -kertaisen diversiteettisuojaan yhdessä symbolissa tehtäviä bittivirheitä vastaan, mitä voidaan pitää perusedellytyksenä sille, että koodi antaa edes likipitään täyden diversiteettisuojaan.

Koodaus- ja modulointimenetelmät voidaan katsoa pisteiden valinnaksi jossain pisteavaruudessa. Riippuen käytettävästä menetelmästä ja kanavasta, aina on olemassa aakkoston geometrian määrittelevä metriikka. Toiset aakkoston pisteet ovat lähempänä toisiaan kuin toiset. Suorituskyky riippuu merkittävästi lähimpien naapuripisteiden välisistä etäisyyksistä. Optimaalisesti pisteet ovat samanarvoisessa asemassa, jolloin etäisyyden lähimpiin naapureihin ei tulisi riippua valituista pisteistä. Tätä kutsutaan homogeenisuusperiaatteeksi. Homogeenisuusperiaatteesta seuraa että lohkokoodilta voidaan

edellyttää jäljetöntä epäortogonaalisuutta. Edellä kuvatun yhden symbolin diversiteettivaatimuksen täyttävän lohkokoodin Hermiittinen neliö voidaan kuvata yhtälöllä (11).

$$5 \quad C^H C = \sum_{k=1}^K |z_k|^2 \mathbf{I} + X \quad (11)$$

, jossa

$$X = \sum_{i < k} C_i^H C_k + C_k^H C_i \quad (12)$$

10 Lohkokoodien suorituskyky riippuu merkittävästi neliöidyn koodisanojen erotusmatriisin (5) ominaisuuksista. Matriisin H_{ce} jälki on symbolipisteistöjen C_e ja C_c välinen Euklidinen etäisyys. Lineaarisesti koodatulle koodille koodisanojen erotusmatriisit (6) noudattavat koodimatriisien itsensä täyttämät yhtälöt (11,12), jossa symbolit z_k on korvattu symbolierotuksilla

$$15 \quad \Delta_k = z_k^{(c)} - z_k^{(e)}. \quad (13)$$

Tässä $z_k^{(c)}$ tarkoittaa lähetettyjä symboleja ja $z_k^{(e)}$ mahdollisesti virheellisesti vastaanotettuja symboleja. Näin koodisanojen erotusmatriisi noudattaa muotoa (13), jolloin neliöity matriisi H_{ce} on muotoa (14).

$$20 \quad H_{ce} = \sum_{k=1}^K |\Delta_k|^2 \mathbf{I} + X(\Delta_k) \quad (14)$$

25 Matriisin H_{ce} jäljellä on kaksi osaa, $I \sum_{k=1}^K |\Delta_k|^2$ ensimmäisestä termistä ja $\text{Tr}(X(\Delta_k))$. Jälkimmäinen on lineaarikombinaatio seuraavista: $\text{Re}[\Delta_k \Delta_l]$, $\text{Re}[\Delta_k \Delta_l^*]$, $\text{Im}[\Delta_k \Delta_l]$, $\text{Im}[\Delta_k \Delta_l^*]$. Nyt jos X :llä on ei-häviävä jälki, tarkoittaa se sitä, että Euklidinen etäisyys pisteistöjen välillä riippuu symboleista. Näinollen modulaatiopisteet eivät ole homogeenisesti sijoitetut koodiavaruuteen, joten koodi ei selvästikään ole homogeeninen. Lohkokoodi ei silloin selvästikään voi olla optimaalinen. Edulliselta koodimatriisilta vaaditaan nyt, että yhtälössä (12) kuvattu epäortogonaalisuusmatriisi X on jäljetön (15).

$$30 \quad \text{Tr } X = 0. \quad (15)$$

Edelläkuvattua voidaan perustella seuraavasti. Matriisin X muodosta on selvää, että kyseessä on Hermiittinen matriisi, jolloin sen diagonaalelementit ovat reaalisia. Koska X on bilineaarinen kombinaatio matriiseista C_k , jotka ovat lineaarisia symboleiden z_k suhteen, reaalisten X :n diagonaaliarvojen täytyy olla jotain reaalisia lineaarikombinaatioita seuraavista: $\text{Re}[z_k z_l]$, $\text{Re}[z_k z_l^*]$, $\text{Im}[z_k z_l]$, $\text{Im}[z_k z_l^*]$.

Keskitytään nyt kuvaamaan edullisia toteutusmuotoja kun $N=4$, $M=4$ ja $K=4$, eli koodaussuhde on 1. Kyseisessä edullisessa toteutusmuodossa vaaditaan symbolitason homogeenisuutta, eli että kaikki symbolit ovat koodimatriisissa keskenään samanarvoisessa asemassa. Edelleen, edullisessa toteutusmuodossa koodimatriisilla on myös maksimaalinen jäännösorthogonaalisuus. Näiden vaatimusten mukaisessa neljän antennin 2+2 toteutusmuodossa kaksi symbolia z_1 ja z_2 on koodattu keskenään pareittain ortogonaalisesti ja jäljellejäävät kaksi symbolia z_3 ja z_4 vastaavasti pareittain ortogonaalisesti keskenään. Modulointimenetelmäksi otetaan esimerkiksi QPSK. Keksinnöllisissä toteutusmuodoissa matriisit U ja V on valittu siten että koodilla on täysi diversiteetti, toisin kuin tunnetun tekniikan mukaisessa 2+2 koodissa joka on yhtälön (3) mukainen.

Yhtälön (10) mukaiset koodimatriisit ovat tässä edullisessa toteutusmuodossa yhtälön (16) mukaisia,

$$C = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & A \end{bmatrix} + U \begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix} V \quad (16)$$

, jossa A ja B ovat Alamoutin matriisin muotoa olevia ortogonaalisia 2*2 matriiseja. 0 on 2*2 nollamatriisi ja U ja V ovat unitaarisia 4x4 matriiseja, kuitenkin siten, että ainakin yksi U :n tai V :n käsittämä matriisielementti on erisuuri kuin 0 , ± 1 ja $\pm j$. Keskitytään esimerkinomaisesti tapaukseen, jossa matriisi V on 4x4 yksikkömatriisi.

Edullisessa suoritusmuodossa jäljetön epäortogonaalisuus voidaan saavuttaa esimerkiksi asettamalla

$$U = \begin{bmatrix} qW & pW \\ pW & -qW \end{bmatrix} \quad (17)$$

, jossa W on unitaarinen 2×2 matriisi, jonka determinantti on 1 ja edelleen q ja p ovat reaalityyppisiä lukuja, jotka täyttävät ehdon

$$q^2 + p^2 = 1. \quad (18)$$

5

Koodit eri q :n arvoilla ovat täysin vastaavia keskenään ja koodeilla on samat koodisanojen neliöidyn erotusmatriisin ominaisarvot. Suorituskyvyn optimoimiseksi riittää tarkastella edellämainittujen kertoimien yhtä esimerkkiä asettamalla $q=0$, jolloin koodi saa muodon

10

$$C = \begin{bmatrix} A & WB \\ WB & A \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Matriisin (19) muodosta voidaan muodostaa sekä tehotasapainotettu, että tehoepätasapainoinen lohkokoodi. Tehotasapainoisella koodilla tarkoitetaan tässä sitä, että kukin antenni lähettää vakioiteholla kaikkina ajanhetkinä, jos käytetään vakioitehoista modulaatiota kuten QPSK, kun taas tehoepätasapainoisessa koodissa lähetysteho ei ole vakio kaikkina ajanhetkinä. Tehotasapainoisessa lohkokoodissa edellytetään W :n olevan diagonaalimatriisi, esimerkiksi

20

$$W = \begin{bmatrix} e^{j\phi} & 0 \\ 0 & e^{j\phi} \end{bmatrix} \quad (20)$$

jossa ϕ valitaan sopivasti siten, että suorituskyky optimoituu. W on edellä unitaarinen ja sen determinantti on 1. Tällöin koodimatriisi on yhtälön (3) muotoa, paitsi että symbolit z_3 ja z_4 on kerrottu vaihekertoimella $e^{j\phi}$. Jokainen $\phi \neq 0$ tekee koodista keksinnön mukaisen, epäsingulaarisen täyden diversiteetin koodin. Toinen tapa tulkita nämä keksinnölliset ratkaisut on ajatella, että valitaan yhtälön (3) mukaisessa koodissa symbolien z_1 ja z_2 modulointipisteet joukosta $\{\pm 1, \pm j\}$, kun taas symbolit z_3 ja z_4 valitaan vaihekieerretystä pisteistöstä $e^{j\phi} \{1, j, -1, -j\}$, missä jokainen $\phi \neq 0$ tekee koodista keksinnön mukaisen, epäsingulaarisen täyden diversiteetin koodin. Osittain tehoepätasapainoisessa lohkokoodissa matriisi W voidaan valita olevaksi yleinen unitaarinen 2×2 matriisi, jonka determinantti on 1. Nämä ovat muotoa

$$W = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta^* & \alpha^* \end{bmatrix}, \quad (21)$$

jossa α ja β kuuluvat kompleksilukujen joukkoon ja niiden itseisarvojen neliöiden summa on 1. Yhdistämällä edellä kuvattu W kaavassa (19) esitettyyn Alamoutin lohkoon B

$$B = \begin{bmatrix} z_3 & z_4 \\ -z_4^* & z_3^* \end{bmatrix}, \quad (22)$$

koodimatriisi voidaan esittää pseudosymbolien avulla

$$\begin{aligned} \tilde{z}_3 &= e^{j\phi} (\alpha z_3 - \beta z_4^*) \\ \tilde{z}_4 &= e^{j\phi} (\alpha z_4 - \beta z_3^*) \end{aligned} \quad (23)$$

Tällöin koodimatriisi voidaan esittää muodossa

$$C = \begin{bmatrix} A & \tilde{B} \\ \tilde{B} & A \end{bmatrix}, \quad (24)$$

, jossa

$$\tilde{B} = \begin{bmatrix} \tilde{z}_3 & \tilde{z}_4 \\ -\tilde{z}_4^* & \tilde{z}_3^* \end{bmatrix}, \quad (25)$$

Keksinnön mukaisissa koodimatriiseissa joko α tai β tai kumpikin on erisuuri kuin 0, ± 1 ja $\pm j$. Tehoepätasapainoisissa toteutusmuodoissa sekä α että β ovat nolasta poikkeavia. Epäortogonaalisuusmatriisi on nyt

$$X = 2\text{Re}[z_1 \tilde{z}_3^* + z_2 \tilde{z}_4^*] \begin{bmatrix} 0 & I_2 \\ I_2 & 0 \end{bmatrix} \quad (26)$$

, jossa I_2 on 2x2 yksikkömatriisi, ja epäortogonaalisuusmatriisi on selvästi jäljetön.

Suurella signaalikohinasuhteella yhtälön (5) mukaisten koodimatriisien erotusmatriisien neliöiden H_{ce} ominaisarvot määrittelevät yksikäsitteisesti koodin suorituskyvyn. Tärkein erotusmatriisien H_{ce} ominaisuus on kääntyvyys, eli että kaikki ominaisarvot ovat nollasta poikkeavia. Tällöin koodi saavuttaa täyden diversiteetin. Tämä kriteeri on avaruus-aika koodien ns. astekriteeri (rank criterion), nimittäin että kaikilla koodimatriisipareilla C_c ja C_e erotusmatriisin neliö H_{ce} on maksimaalista astetta. Tämän keksinnön mukaiset edulliset toteutusmuodot, esimerkiksi yhtälön (16) mukaiset, joissa U ja V ovat keksinnön mukaisia, toteuttavat astekriteerin; mikään koodisanojen erotusmatriisin neliö H_{ce} ei ole singulaarinen, ja koodit antavat täyden diversiteetin.

Kun matriisien H_{ce} asteet on maksimoitu, voidaan seuraavaksi maksimoida niiden ominaisarvojen jakauma siten että koodin suorituskyky on mahdollisimman hyvä. Suurilla signaalikohinasuhteilla tämä saadaan aikaan maksimoimalla matriisien H_{ce} determinantit. Avaruus-aikakoodien ns. determinanttikriteerin mukaan pitää maksimoida pienin mahdollinen H_{ce} :n determinantti, kun otetaan huomioon kaikki koodimatriisiparit C_c ja C_e . Tämä on ns. MAX MIN DET kriteeri. Keksinnön edullisissa toteutusmuodoissa voidaan nyt esimerkiksi kulma ϕ yhtälössä (20), tai tehotasapainottomissa toteutusmuodoissa kompleksiluvut α ja β yhtälössä (21) valita MAX MIN DET kriteerin mukaisiksi.

Jos toimitaan pienemmällä signaalikohinasuhteella, determinanttikriteerin sijaan voidaan minimoida esimerkiksi bittivirhesuhde annetun muotoisilla koodimatriiseilla.

Neljän antennin lohkokoodin erotusmatriisin neliön H_{ce} ominaisarvot ja siten myös H_{ce} :n determinantti ja bittivirhesuhde voidaan laskea tarkasti. Ominaisarvot voidaan laskea H_{ce} :n ensimmäisen, toisen, kolmannen ja neljännen potenssin jäljistä. Yhtälön (16) mukaisten edullisten toteutusmuotojen mukaisille koodimatriiseille näin saatavat invariantit t_1 - t_4 on esitetty yhtälöissä (27). Näistä muodostettu yhtälön (5) mukaisen matriisin H_{ce} ominaisarvot on esitetty yhtälössä (28) ja determinantti on esitetty yhtälössä (29).

$$t_1 = \sum |\Delta_i|^2 \quad (27)$$

$$t_2 = 8(\text{Re}[\Delta_1 \Delta_3^* + \Delta_2 \Delta_4^*])^2 \quad (27')$$

$$t_3 = 0 \quad (27'')$$

$$t_4 = \frac{1}{4} t_2^2 \quad (27''')$$

$$e1 = e2 = t_1 + \sqrt{\frac{t_2}{2}} \quad (28)$$

$$e3 = e4 = t_1 - \sqrt{\frac{t_2}{2}} \quad (28')$$

$$\det[H] = \left(t_1^2 - \frac{t_2}{2}\right)^2 \quad (29)$$

5

Edellisissä $\Delta_i = z_i^c - z_i^e$ ovat symbolien erotuksia. Yhtälön (22) mukaisessa tehoepätasapainoisessa tapauksessa Δ_3 ja Δ_4 on tulkittava pseudosymbolien $\tilde{z}_3$ ja $\tilde{z}_4$ erotuksiksi. Yhtälöstä (29) käy selville, että symbolierotusparien Δ_1 , Δ_3 ja Δ_2 , Δ_4 determinantit voi maksimoida erikseen. Jos $\Delta_2 = \Delta_4 = 0$,
10 saadaan

$$\det[H] = \left|\Delta_1^2 - \Delta_3^2\right|^4. \quad (30)$$

Astekriteerin (rank criterion) mukaan valitaan modulointipisteistöt siten, että determinantti ei ole koskaan nolla. Determinantti on nolla vain jos $\Delta_1 = \Delta_3$.
15

Täten on selvää, että modulointipisteistöt symboleille z_1 ja z_3 valitaan siten että niissä ei ole päällekkäisyyksiä. Tämä saadaan aikaan esimerkiksi valitsemalla pisteistöt eri vaihetekijällä ϕ , kuten yhtälöissä (19,20) kuvatuissa edullisissa toteutusmuodoissa. Esimerkinomaisesti esitettävässä QPSK-modulaation tapauksessa tulokset eri optimoinneista on nähtävissä kuvioista 4A ja 4B. Kuviossa 4A graafisessa esityksessä 400 esitetään MAX MIN DET -menetelmällä etsitty optimaalinen vaihekierto ϕ . QPSK:n MIN-DET osoittaa, että determinantti eräille kahden symbolin kahden bitin ja neljän bitin virheille
20 häviää, kun $\phi = 0, \pi/2$. Näille arvoille ABBA-koodin diversiteetti on vain 2. Kuvioissa 4A ja 4B esitetyt optimaaliset vaihetekijät ovat kaukana näistä singulaariarvoista. Olennaista esillä olevan edullisen suoritusmuodon kannalta siis on, että yhden symbolin modulointiaakkosto on vaihekierrretty pois esitetyistä singulaaripisteistä. MAX MIN DET -kriteeri saa optimiarvonsa vaihetekijällä
25
30

$$\phi = \frac{1}{2} \arccos[(2\sqrt{11} - 3/10)] \approx 0.191\pi \approx 34^\circ \quad (31)$$

- Yhtälössä (31) esitetyllä vaihetekijällä ϕ , minimietäisyys pisteiden välillä neliöidyssä symbolierotusaakkostossa symboleille z_1 ja z_3 on maksimissaan kuvion 4B esityksen 410 mukaisesti. Esityksessä 412 käytetty vaihetekijä $\phi \cong \pi/4$. Viitaten vielä kuvioon 4A determinantteja on tarkasteltu graafisessa esityksessä 402 esitettyjen kahden ja kolmen bitin virheiden ohella myös virhetapahtumien suhteellisen lukumäärän avulla graafisen esityksen 404 mukaisesti. Taustalla on ajatus, että mitä useampi kombinaatio voi johtaa tiettyyn ominaisarvojen joukkoon, sitä todennäköisempiä kyseisestä tapauksesta aiheutuvat bittivirheet ovat. Lisäksi voidaan ottaa huomioon se, että eri virhetapahtumissa aiheutuu eri määrä bittivirheitä. Näin olleen determinantin antama suojaus on jaettava bittivirheiden lukumäärällä ja virhetapausten suhteellisella lukumäärällä. Tämän kriteerin maksimi, MAX MIN DET/ERRS/FREQ saadaan vaihetekijällä $\phi \approx \pi/5$. Edellä kuvatut on esitetty vain esimerkinomaisina, ja myös muita kriteerejä optimaalisen vaihetekijän etsimiseksi voidaan käyttää.
- Esimerkiksi union bound -kriteerillä, jossa minimoidaan eri virhetapauksista aiheutuvien bittivirheiden lukumäärän union bound -raja, saadaan $\phi \approx 0.183\pi$. MAX MIN DET kriteeriä lukuun ottamatta muissa kriteereissä vastaanottoantennien lukumäärä saattaa vaikuttaa optimiin. Jos vastaanottoantenneja on esimerkiksi L kpl, olisi esimerkiksi MAX MIN DET/ERRS/FREQ kriteerissä maksimoitava determinantin L:s potenssi jaettuna bittivirheiden lukumäärällä ja virhetapahtuman suhteellisella lukumäärällä. Tässä on esitetty optimikiertokulmat yhdelle vastaanottoantennille. Kaikilla kriteereillä optimikiertokulma on lähellä arvoa $\phi \approx 0.2\pi \approx 36^\circ$. Kuvan 4 B mukaisesti koodin suorituskyky riippuu vain heikosti vaihekulman ϕ arvosta optimiarvojen ympärillä; ϕ voi vaihdella välillä $25^\circ - 65^\circ$ ilman että koodin suorituskyky muuttuu paljonkaan. Eräässä suositussa toteutusmuodossa valitaan siten $\phi = 45^\circ$, mikä tekee laitteiston teknisen toteuttamisen helpommaksi. Tässä tapauksessa voidaan ajatella, että kaikki symbolit on otettu 8-PSK modulaatiopisteistöstä, siten että symbolit z_1 ja z_2 on otettu yhdestä 8-PSK:n QPSK alipisteistöstä, ja symbolit z_3 ja z_4 on otettu tämän alipisteistön komplementista.

Toinen tapa varmistaa, että determinantti (29) ei koskaan häviä, on valita tehoepätasapainoinen toteutusmuoto (19, 21). Jos sekä α että β ovat nolasta poikkeavia, symboleissa z_1 ja yhtälön (23) pseudosymboleissa $\tilde{z}_3$ tehtävät mahdolliset virheet eivät koskaan voi olla samat. Matriisin W kompleksimuuttujat α ja β voidaan esittää kolmen Eulerin kulman avulla.

$$\begin{aligned}\alpha &= e^{i(\phi+\varphi)} \cos \theta \\ \beta &= e^{i(\phi-\varphi)} \sin \theta.\end{aligned}\tag{32}$$

Bittivirhesuhteen union bound -raja minimoituu valitsemalla

5

$$\begin{aligned}\phi &= \pi/8 = 22.5^\circ \\ \varphi &= \pi/8 = 22.5^\circ \\ \theta &= \pi/5 = 36^\circ.\end{aligned}\tag{33}$$

10 On olemassa eräitä muitakin kulmia, jotka antavat saman suorituskyvyn, mutta niiden luetteleminen ei tässä ole olennaista.

On selvää, että esitetty menetelmä ei ole rajoittunut QPSK modulaatiomenetelmään. Esimerkiksi 16QAM modulaatiomenetelmälle laskettu MAX MIN DET saavutetaan vaihetekijällä $\phi \approx 0.172\pi$. Toinen 16QAM modulaatiomenetelmälle edullinen vaihekierto on $\phi \approx \pi/4 \approx 45^\circ$ ympäristössä, joka jälleen on teknisesti helpompi toteuttaa kuin optimaalinen $\phi \approx 0.172\pi$. Edellä kuvattiin yhden symbolin vaihekierto 2+2 muotoisen ABBA-koodin tapauksessa. Yhtälössä (34) on kuvattu muotoa 3+1 oleva epäortogonaalinen lohkokoodi, jossa symbolit z_1, z_2 ja z_3 on koodattu keskenään ortogonaalisesti mutta symbolia z_4 ei ole koodattu ortogonaalisesti minkään näistä kanssa.

20

$$(z_1, z_2, z_3, z_4) \rightarrow \begin{pmatrix} z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \\ -z_2^* & z_1^* & z_4 & -z_3 \\ -z_3^* & -z_4^* & z_1 & z_2 \\ -z_4^* & z_3^* & -z_2^* & z_1^* \end{pmatrix}\tag{34}$$

25 Kaavassa (34) esiintyvä koodi ei siis ole symbolitasolla homogeeninen. Edullisesti koodimatriisissa (34) symbolien z_1, z_2 ja z_3 modulointipisteet kuuluvat arvojoukkoon $\{+/-1, +/-j\}$. Symbolin z_4 optimaaliset modulaatiopisteet riippuvat tavoitellusta SNR:stä, kun bittivirhesuhdetta minimoidaan. Minimoidulla bittivirheen union bound -rajaa on todettu että optimaalinen vaihesiirtymä symbolille z_4 on ± 29 astetta keskimääräisellä signaalihäiriösuhteella 10dB. Käytännössä symbolin z_4 aakkoston vaihesiirtymä voidaan valita vapaasti 25 asteen ja 65 asteen väliltä ilman merkittävää vaikutusta suorituskykyyn.

30

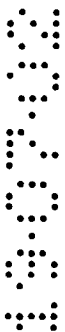
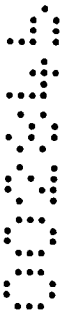
Simulaatioissa saatujen tulosten perusteella optimoitu 2+2 epäortogonaalinen koodi on aina parempi bittivirheen minimoinnin suhteen kuin kaavassa (3) esitetty tunnettu ABBA-koodi. Kuviossa 5 on esitetty esimerkinomaisesti yksi simulaatiotulos, jossa ABBA-koodia 502, optimoitua tehotasapainotettua 504, ja optimoitua tehoepätasapainotonta 506 koodia on verrattu keskenään. Kuviossa pystyakselin bittivirhesuhde on esitetty vaaka-akselin signaalihäiriösuhteen funktiona. Kuten kuvioista nähdään, paras tulos saavutetaan tehoepätasapainoisella koodilla, mutta myös tehotasapainotettu keksinnön mukainen koodi tuottaa merkittävästi paremmat tulokset kuin ABBA-koodi, varsinkin suurilla signaalihäiriötasoilla. Optimoitu symbolitasolla epähomogeeninen 3+1 epäortogonaalinen koodi on parempi kuin mainittu ABBA-koodi signaalihäiriösuhteilla $>6,5$ dB.

Tarkastellaan vielä kuviossa 3 esitettyä vastaanotinta. Keksinnön mukaisella lähettimellä lähetetään siis signaali 320 kahta tai useampaa antennia, kuviossa kolmea antennia 314-318 käyttäen. Signaali 320 vastaanotetaan vastaanottimessa 302 antennilla 322 ja viedään radiotaajuusosille 324. Vastaanottimen antennien lukumäärällä ei tässä keksinnön kannalta ole merkitystä. Radiotaajuusosissa 324 signaali 320 muunnetaan väli- tai kantataajuudelle. Muunnettu signaali viedään kanavaestimaattorille 326, jossa muodostetaan estimaatit kanavalle, jonka läpi signaali on kulkenut. Estimaatit voidaan muodostaa esimerkiksi signaalin sisältämien ennalta tunnettujen bittien avulla, kuten pilottisignaalin tai opetusjakson avulla. Signaali viedään radiotaajuusosilta dekooderipankille 328, joka käsittää joukon dekooderiyksikköjä, jotka purkavat lähetyspäässä kooderissa 308 suoritettua koodauksen. Koska radioteitse välitetty signaali on usein edennyt useampaa kuin yhtä reittiä lähettimen ja vastaanottimen välillä, käsittää vastaanotettu signaali useita monitiekomponentteja. Kukin dekooderiyksikkö käsittelee yhtä vastaanotettua signaalikomponenttia. Dekooderiyksiköissä vastaanotetaan eri aikaväleissä, taajuuksilla tai hajotuskoodeilla lähetetyt symbolit, tyypillisesti varastoidaan ne tilapäisesti puskurimuistiin ja muodostetaan kanavaestimaattien avulla estimaatit alkuperäisiksi lohkon symboleiksi. Dekooderiyksiköistä dekodatut symbolit viedään yhdistelijälle 330, jossa eri polkujen signaalit yhdistetään. Yhdistelijä voidaan toteuttaa esimerkiksi rake-tekniikalla, jossa on käytetty maksimisuhdeyhdistelytekniikkaa. Kanavaestimaattorilta 326 viedään tieto estimoidusta kanavasta dekooderiyksiköille ja yhdistelijälle. Kanavaestimaattori ja radiotaajuusosat voidaan toteuttaa tunnetuin menetelmin.

Yhdistelijältä signaali viedään ilmaisimelle, jossa suoritetaan symbolien ilmaisu tunnettuja ilmaisumenetelmiä käyttäen. Voidaan esimerkiksi laskea yhdisteltyjen symboliestimaattien euklidinen etäisyys mahdollisista symbolitiloista tai määrittää vastaanotettujen symbolien tai bittien a posteriori todennäköisyydet. Jälkimmäisessä tapauksessa tarvitaan tietoa kanavasta, joka tieto saadaan kanavaestimaattorilta. Ilmaisimelta signaali viedään kanavadekooderille ja edelleen vastaanottimen muihin osiin. Ylläolevasta kuvauksesta puuttuu sekä lähettimessä että vastaanottimessa toteutettu symboli- tai bittilomittelu ja lomittelun purku, sekä mahdollinen kanavakoodaus. Nämä voidaan haluttaessa toteuttaa tunnetuilla menetelmillä. Edellä on kuvattu vain eräs esimerkki mahdollisesta vastaanottimesta. Esimerkiksi kanavaestimaattien laskenta ja käyttö voidaan toteuttaa lukuisilla muilla tavoilla kuten alan ammattimiehelle on selvää.

Keksinnön mukaiset toimenpiteet suorittavat toiminnot kooderissa ja muissa lähettimessä ja järjestelyyn kuuluvissa laiteosissa toteutetaan sekä lähetinpäässä että vastaanotinpäässä edullisesti ohjelmallisesti prosessorin ja sopivan ohjelmiston avulla. Toiminnot voidaan toteuttaa myös esimerkiksi erillisillä komponenteilla tai piireillä.

Vaikka keksintöä on edellä selostettu viitaten oheisten piirustusten mukaiseen esimerkkiin, on selvää, ettei keksintö ole rajoittunut siihen, vaan sitä voidaan muunnella monin tavoin oheisten patenttivaatimusten esittämän keksinnöllisen ajatuksen puitteissa.



Patenttivaatimukset

1. Menetelmä digitaalisten symbolien lähettämiseksi, jossa menetelmässä luetaan lähettimessä ainakin kaksi samaan lähetyslohkoon kuuluvaa symbolia, t u n n e t t u siitä, että:

- 5 muodostetaan lähetyslohkoon kuuluvista symboleista kanavasymboleita käsittävä lohkokoodi suorittamalla kullekin symbolille ainakin yksi seuraavista operaatioista: toistaminen, konjugointi, painokertoimella kertominen, kahden tai useamman symbolin yhteenlasku, ja että kerrotaan ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista ± 1 ja $\pm j$; ja

lähetetään muodostetut kanavasymbolit kahden tai useamman lähetysantennireitin kautta.

- 15 2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lähetetään muodostetut kanavasymbolit kahta tai useampaa tiedonsiirtoresurssia hyväksikäyttäen.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että tiedonsiirtoresurssit on muodostettu aika-, taajuus- tai koodijaolla.

- 20 4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lähetysantennireitit ovat kaksi tai useampi antennikeilaa, jotka on aikaansaatu kahta tai useampaa antennia käyttäen.

5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että käytetään kullekin antennireitille kahta tai useampaa tiedonsiirtoresurssia ja että muodostetaan kunkin antennireitin kautta lähetettävät kanavasymbolit kertomalla ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi toinen lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista ± 1 ja $\pm j$.

6. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että muodostetaan kutakin tiedonsiirtoresurssia käyttäen eri antennireitteihin lähetettävät kanavasymbolit siten, että kerrotaan tiedonsiirtoresurssia hyödyn-
tävä, ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi toinen lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen

painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista ± 1 ja $\pm j$.

7. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodin koodaussuhde on suurempi kuin ortogonaalisuuden sallima
5 koodaussuhde.

8. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että valitaan kanavasymbolit määrittelevä lohkokoodi siten, että lohkokoodilla on täysi diversiteetti.

9. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että kerrotaan ainakin yksi luettu symboli kertoimista ± 1 ja $\pm j$ poikkeavalla
10 painokertoimella.

10. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että muodostetaan lähetyslohkon kanavasymbolit käyttäen ainakin yhdelle lähetyslohkoon kuuluvalla symbolille vaihekiekierrettyä modulointipisteistöä suhteessa toiseen lähetyslohkon symboliin.
15

11. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodi on kunkin lähetyslohkoon kuuluvan symbolin osalta unitaari-
nen.

12. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodin Hermiittisestä neliöstä muodostettu epäortogonaalisuusmat-
20 riisi on jäljetön.

13. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodi on tehotasapainoinen.

14. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodi on tehoepätasapainoinen.
25

15. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodissa ainakin kaksi symbolia on koodattu keskenään ortogonaalisesti.

16. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lähetyslohkoon kuuluu neljä symbolia, ja että kaksi ensimmäistä symbolia on koodattu ortogonaalisesti keskenään ja kaksi viimeistä symbolia on koodattu ortogonaalisesti keskenään.
30

17. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että muodostetaan luetuista symboleista kompleksiset kanavasymbolit lohko-
35 koodin C avulla, joka on muotoa

$$C = \sum_{k=1}^K C_k = \sum_{k=1}^K U_k \gamma_k V_k$$

- , jossa k kuvaa symbolin indeksia, U_k on unitaarinen $M \times M$ matriisi M :n tarkoittaessa lähetyksen viivettä ja V_k on unitaarinen $N \times N$ matriisi N tarkoittaessa antennien lukumäärää, ja jossa γ_k :n jokainen päädiagonaalin matriiselementti on joko lähetettävä symboli z_k tai sen kompleksikonjugaatti, ja joissa matriiseissa U_k , V_k on ainakin yksi arvojoukon $\{0, \pm 1, \pm j\}$ arvoista poikkeava elementti.

18. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muodostetaan luetuista symboleista kompleksiset kanavasymbolit lohkokoodin C avulla, joka on muotoa

$$C = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & A \end{bmatrix} + U \begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix} V,$$

- jossa A ja B ovat Alamoutin matriisin muotoa olevia ortogonaalisia 2×2 matriiseja, 0 on 2×2 nollamatriisi ja U ja V ovat unitaarisia matriiseja siten, että ainakin yksi U :n tai V :n käsittämä matriiselementti on erisuuri kuin 0 , $+1$, $-1 + j$ ja $-j$.

19. Patenttivaatimuksen 18 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ainakin toinen matriiseista U , V on muotoa

$$\begin{bmatrix} qW & pW \\ pW & -qW \end{bmatrix}$$

- jossa W on 2×2 unitaarinen matriisi, jonka determinantti on 1 , ja q ja p ovat reaalityyppisiä lukuja, jotka toteuttavat yhtälön $q^2 + p^2 = 1$.

20. Patenttivaatimuksen 19 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että matriisi W on

$$\begin{bmatrix} e^{i\phi} & 0 \\ 0 & e^{-i\phi} \end{bmatrix}.$$

21. Patenttivaatimuksen 20 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että kulma ϕ on välillä 25° - 65° .

22. Patenttivaatimuksen 19 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että matriisi W on

$$\begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta^* & \alpha^* \end{bmatrix}, \text{ jossa } \alpha \text{ ja } \beta \text{ kuuluvat kompleksilukujen joukkoon ja täyt-}$$

- tävät ehdon

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1.$$

23. Patenttivaatimuksen 22 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että $\alpha = e^{j\frac{\pi}{4}} \cos \frac{\pi}{5}$ ja $\beta = \sin \frac{\pi}{5}$.

24. Järjestely digitaalisten symbolien lähettämiseksi, käsittäen kooderin (308) digitaalisten symbolien koodaamiseksi kanavasymboleiksi, ja kooderiin (308) yhteydessä olevan yhden tai useamman lähetysantennin (314-318) kanavasymbolien lähettämiseksi, t u n n e t t u siitä, että:

kooderi (308) on sovitettu lukemaan ainakin kaksi samaan lähetyslohkoon kuuluvaa symbolia, ja muodostamaan koodauksen määrittelevän lohkokoodin avulla lähetyslohkoon kuuluvista symboleista kanavasymboleita suorittamalla kullekin symbolille ainakin yksi seuraavista operaatioista: toistaminen, konjugointi, painokertoimella kertominen, kahden tai useamman symbolin yhteenlasku, ja että kooderi (308) on sovitettu kertomaan ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, joiden mainitun ensimmäisen painokertoimen ja mainitun toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista ± 1 ja $\pm j$; ja joka

järjestely on sovitettu lähettämään muodostetut kanavasymbolit mainitun yhden tai useamman antennin avulla muodostetun kahden tai useamman lähetysantennireitin (314-318) kautta.

25. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lähetetään muodostetut kanavasymbolit kahta tai useampaa tiedonsiirtoresurssia hyväksikäyttäen.

26. Patenttivaatimuksen 25 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että tiedonsiirtoresurssit on muodostettu aika-, taajuus- tai koodijaolla.

27. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lähetysantennireitit ovat kaksi tai useampi antennikeilaa, jotka on aikaansaatu kahta tai useampaa antennia käyttäen.

28. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että järjestely on sovitettu käyttämään kullekin antennireitille kahta tai useampaa tiedonsiirtoresurssia ja muodostamaan kunkin antennireitin kautta lähetettävät kanavasymbolit kertomalla ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi toinen lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista ± 1 ja $\pm j$.

29. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä,

että järjestely on sovitettu muodostamaan kutakin tiedonsiirtoresurssia käyttäen eri antennireitteihin lähetettävät kanavasymbolit kertomalla tiedonsiirtoresurssia hyödyntävä, ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi toinen lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista ± 1 ja $\pm j$.

30. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että lohkokoodin koodaussuhde on suurempi kuin ortogonaalisuuden sallima koodaussuhde.

31. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että lohkokoodilla on täysi diversiteetti.

32. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että kooderi on sovitettu kertomaan ainakin yhden luetun symbolin kertoimista ± 1 ja $\pm j$ poikkeavalla painokertoimella.

33. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että järjestely on sovitettu lähettämään kunkin lähetyslohkoon kuuluvan symbolin radiotielle ainakin kahtena eri ajanhetkenä.

34. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että kooderi on sovitettu muodostamaan lähetyslohkon kanavasymbolit käyttäen ainakin yhdelle lähetyslohkoon kuuluvalla symbolille vaihekierrettyä modulointipisteistöä suhteessa toiseen lähetyslohkon symboliin.

35. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että lohkokoodi on kunkin lähetyslohkoon kuuluvan symbolin osalta unitaarinen.

36. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että lohkokoodin Hermiittisestä neliöstä muodostettu epäortogonaalisuusmatriisi on jäljetön.

37. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että lohkokoodi on tehotasapainoinen.

38. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että lohkokoodi on tehoepätasapainoinen.

39. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että lohkokoodissa ainakin kaksi symbolia on koodattu keskenään ortogonaalisesti.

40. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodi on neljän symbolin lähetykseen tarkoitettu lohkokoodi, jossa kaksi ensimmäistä symbolia on koodattu ortogonaalisesti keskenään ja kaksi viimeistä symbolia on koodattu ortogonaalisesti keskenään.

- 5 41. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että kooderi on sovitettu muodostamaan luetuista symboleista kompleksiset kanavasymbolit lohkokoodin C avulla, joka on muotoa

$$C = \sum_{k=1}^K C_k = \sum_{k=1}^K U_k \gamma_k V_k$$

- , jossa k kuvaa symbolin indeksia, U_k on unitaarinen $M \times M$ matriisi
10 M :n tarkoittaessa lähetyksen viivettä ja V_k on unitaarinen $N \times N$ matriisi N tarkoittaessa antennien lukumäärää, ja jossa γ_k :n jokainen päädiagonaalin matriisielementti on joko lähetettävä symboli z_k tai sen kompleksikonjugaatti, ja joissa matriiseissa U_k , V_k on ainakin yksi arvojoukon $\{0, \pm 1, \pm j\}$ arvoista poikkeava elementti.

- 15 42. Patenttivaatimuksen 41 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että kooderi on sovitettu muodostamaan luetuista symboleista kompleksiset kanavasymbolit lohkokoodin C avulla, joka on muotoa

$$C = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & A \end{bmatrix} + U \begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix} V,$$

- jossa A ja B ovat Alamoutin matriisin muotoa olevia ortogonaalisia
20 2×2 matriiseja, 0 on 2×2 nollamatriisi ja U ja V ovat unitaarisia matriiseja siten, että ainakin yksi U:n tai V:n käsittämä matriisielementti on erisuuri kuin 0, +1, -1 +j ja -j.

43. Patenttivaatimuksen 42 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että ainakin toinen matriiseista U, V on muotoa

25
$$\begin{bmatrix} qW & pW \\ pW & -qW \end{bmatrix}$$

jossa W on 2×2 unitaarinen matriisi, jonka determinantti on 1, ja q ja p ovat reaalityyppisiä lukuja, jotka toteuttavat yhtälön

$$q^2 + p^2 = 1.$$

44. Patenttivaatimuksen 43 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä,
30 että matriisi W on

$$\begin{bmatrix} e^{i\phi} & 0 \\ 0 & e^{-i\phi} \end{bmatrix}.$$

45. Patenttivaatimuksen 44 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä,

että kulma ϕ on välillä 25° - 65° .

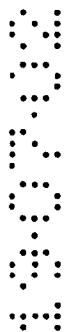
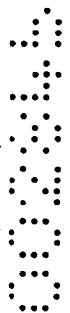
46. Patenttivaatimuksen 43 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että matriisi W on

$$\begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta^* & \alpha^* \end{bmatrix}, \text{ jossa } \alpha \text{ ja } \beta \text{ kuuluvat kompleksilukujen joukkoon ja täyt-}$$

5 tävät ehdon

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1.$$

47. Patenttivaatimuksen 46 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että $\alpha = e^{j\frac{\pi}{4}} \cos \frac{\pi}{5}$ ja $\beta = \sin \frac{\pi}{5}$.



Patentkrav

1. Förfarande för sändning av digitala symboler, i vilket förfarande avläses i sändaren åtminstone två symboler som hör till samma sändningsblock, k ä n n e t e c k n a t av att:

- 5 en blockkod som omfattar kanalsymboler bildas av symbolerna som hör till sändningsblocket genom att man utför åtminstone en av följande operationer för var och en symbol: upprepning, konjugering, multiplicering med ett vägningstal, addering av två eller flera symboler, och att åtminstone en symbol som hör till sändningsblocket multipliceras med ett första vägningstal
10 som avviker från noll och åtminstone en symbol som hör till sändningsblocket med ett andra vägningstal som avviker från noll, och att fördelningsförhållandet mellan det första vägningstalet och det andra vägningstalet avviker från värdena ± 1 och $\pm j$; och

kanalsymbolerna som bildats sänds via två eller flera sändnings-
15 antenner.

2. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att kanalsymbolerna som bildats sänds genom utnyttjande av två eller flera dataöverföringsresurser.

3. Förfarande enligt patentkrav 2, k ä n n e t e c k n a t av att data-
20 överföringsresurserna har bildats med tids-, frekvens- eller kodfördelning.

4. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att sändningsantennrutterna är två eller flera antennlobar, vilka har åstadkommits genom användning av två eller flera antenner.

5. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att för var
25 och en antennrutt används två eller flera dataöverföringsresurser, och att kanalsymboler som skall sändas via var och en antennrutt bildas genom multiplicering av åtminstone en symbol som hör till sändningsblocket med ett första vägningstal som avviker från noll och åtminstone en andra symbol som hör till sändningsblocket med ett andra vägningstal som avviker från noll, och att fördelningsförhållandet mellan det första vägningstalet och det andra vägningstalet avviker från värdena ± 1 och $\pm j$.
30

6. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att genom användning av var och en dataöverföringsresurs bildas kanalsymboler som skall sändas till olika antennrutter, så att åtminstone en symbol som hör till
35 sändningsblocket och som utnyttjar dataöverföringsresursen multipliceras med ett första vägningstal som avviker från noll och åtminstone en andra symbol

som hör till sändningsblocket med ett andra vägningstal som avviker från noll, och att fördelningsförhållandet mellan det första vägningstalet och det andra vägningstalet avviker från värdena ± 1 och $\pm j$.

7. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att block-
5 kodens kodningsförhållande är större än det av ortogonaliteten tillåtna kodningsförhållandet.

8. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att blockkoden som definierar kanalsymbolerna väljs så att blockkoden har full diversitet.

10 9. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att åtminstone en avläst symbol multipliceras med ett vägningstal som avviker från talen ± 1 och $\pm j$.

10. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att sändningsblockets kanalsymboler bildas genom användning av ett antal modulering-
15 ringspunkter som faslindats för åtminstone en symbol som hör till sändningsblocket i förhållande till en andra symbol i sändningsblocket.

11. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att blockkoden är unitär beträffande var och en symbol som hör till sändningsblocket.

20 12. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att icke-ortogonalitetsmatrisen som bildats av blockkodens Hermitiska kvadrat är spårlös.

13. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att blockkoden har balanserad effekt.

25 14. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att blockkoden har obalanserad effekt.

15. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att i blockkoden har åtminstone två symboler kodats sinsemellan ortogonalt.

30 16. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att sändningsblocket omfattar fyra symboler, och att de två första symbolerna har kodats ortogonalt sinsemellan och de två sista symbolerna har kodats ortogonalt sinsemellan.

35 17. Förfarande enligt patentkrav 1, kännetecknat av att av de avlästa symbolerna bildas komplexa kanalsymboler med hjälp av en blockkod C med formen

$$C = \sum_{k=1}^K C_k = \sum_{k=1}^K U_k \gamma_k V_k$$

, där k beskriver symbolens index, U_k är en unitär $M \times M$ matris, varvid M avser sändningens fördröjning och V_k är en unitär $N \times N$ matris, varvid N avser antalet antenner, och vari varje huvuddiagonals matriselement för γ_k är antingen en symbol z_k som skall sändas eller dess komplexkonjugat, och i vilka matriser U_k , V_k är åtminstone ett element som avviker från värdena i värdemängden $\{0, \pm 1, \pm j\}$.

18. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att av de avlästa symbolerna bildas komplexa kanalsymboler med hjälp av en blockkod C med formen

$$C = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & A \end{bmatrix} + U \begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix} V,$$

där A och B är ortogonala 2×2 matriser med formen Alamouts matris, 0 är en 2×2 nollmatris och U och V är unitära matriser, så att åtminstone ett matriselement som ingår i U eller V inte är lika med 0 , $+1$, -1 och $-j$.

19. Förfarande enligt patentkrav 18, k ä n n e t e c k n a t av att åtminstone en av matriserna U , V har formen

$$\begin{bmatrix} qW & pW \\ pW & -qW \end{bmatrix}$$

vari W är en 2×2 unitär matris, vars determinant är 1 , och q och p är reelltal, vilka förverkligar ekvationen

$$q^2 + p^2 = 1$$

20. Förfarande enligt patentkrav 19, k ä n n e t e c k n a t av att matrisen W är

$$\begin{bmatrix} e^{i\phi} & 0 \\ 0 & e^{-i\phi} \end{bmatrix}.$$

21. Förfarande enligt patentkrav 20, k ä n n e t e c k n a t av att vinkeln ϕ är mellan 25° och 65° .

22. Förfarande enligt patentkrav 19, k ä n n e t e c k n a t av att matrisen W är

$$\begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta^* & \alpha^* \end{bmatrix}, \text{ där } \alpha \text{ och } \beta \text{ hör till gruppen komplexa tal och uppfyller}$$

villkoret

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1.$$

23. Förfarande enligt patentkrav 22, k ä n n e t e c k n a t av att

$$\alpha = e^{j\frac{\pi}{4}} \cos \frac{\pi}{5} \text{ och } \beta = \sin \frac{\pi}{5}.$$

24. Arrangemang för sändning av digitala symboler omfattande en
5 koder (308) för kodning av digitala symboler till kanalsymboler och en eller fle-
ra sändningsantennrutter (314-318) i samband med kodern (308) för sändning av
kanalsymboler, k ä n n e t e c k n a t av att

10 kodern (308) är anordnad att avläsa åtminstone två symboler som
hör till samma sändningsblock och att med hjälp av en blockkod som definierar
kodningen bilda kanalsymboler av symbolerna som hör till sändningsblocket
genom att utföra åtminstone en av följande operationer för var och en symbol:
upprepning, konjugering, multiplicering med ett vägningstal, addering av två el-
ler flera symboler, och att kodern (308) är anordnad att multiplicera åtminstone
15 en symbol som hör till sändningsblocket med ett första vägningstal som avvi-
ker från noll och åtminstone en symbol som hör till sändningsblocket med ett
andra vägningstal som avviker från noll, varvid fördelningsförhållandet mellan
nämnda första vägningstal och nämnda andra vägningstal avviker från värde-
na ± 1 och $\pm j$; och vilket

20 arrangemang är anordnat att sända kanalsymbolerna som bildats
via två eller flera sändningsantennrutter (314-318), vilka bildats med hjälp av
en eller flera antenner.

25 25. Arrangemang enligt patentkrav 24, k ä n n e t e c k n a t av att
kanalsymbolerna som bildats sänds genom utnyttjande av två eller flera data-
överföringsresurser.

26. Arrangemang enligt patentkrav 25, k ä n n e t e c k n a t av att
dataöverföringsresurserna har bildats med tids-, frekvens- eller kodfördelning.

27. Arrangemang enligt patentkrav 24, k ä n n e t e c k n a t av att
sändningsantennrutterna är två eller flera antennlobar, vilka har åstadkommit
genom användning av två eller flera antenner.

30 28. Arrangemang enligt patentkrav 24, k ä n n e t e c k n a t av att
arrangemanget är anordnat att för var och en antennrutt använda två eller flera
dataöverföringsresurser och att bilda kanalsymboler som skall sändas via var
och en antennrutt genom multiplicering av åtminstone en symbol som hör till
sändningsblocket med ett första vägningstal som avviker från noll och åtmin-
35 stone en andra symbol som hör till sändningsblocket med ett andra vägningstal

tal som avviker från noll, och att fördelningsförhållandet mellan det första vägningstalet och det andra vägningstalet avviker från värdena ± 1 och $\pm j$.

29. Arrangemang enligt patentkrav 24, kännetecknat av att arrangemanget är anordnat att genom användning av var och en dataöverföringsresurs bilda kanalsymboler som skall sändas till olika antenneruturter genom multiplicering av åtminstone en symbol som hör till sändningsblocket och som utnyttjar dataöverföringsresursen med ett första vägningstal som avviker från noll och åtminstone en andra symbol som hör till sändningsblocket med ett andra vägningstal som avviker från noll, och att fördelningsförhållandet mellan det första vägningstalet och det andra vägningstalet avviker från värdena ± 1 och $\pm j$.

30. Arrangemang enligt patentkrav 24, kännetecknat av att blockkodens kodningsförhållande är större än det av ortogonaliteten tillåtna kodningsförhållandet.

31. Arrangemang enligt patentkrav 24, kännetecknat av att blockkoden har full diversitet.

32. Arrangemang enligt patentkrav 24, kännetecknat av att kodern är anordnad att multiplicera åtminstone en avläst symbol med ett vägningstal som avviker från talen ± 1 och $\pm j$.

33. Arrangemang enligt patentkrav 24, kännetecknat av att arrangemanget är anordnat att sända var och en symbol som hör till sändningsblocket till radiovägen vid åtminstone två olika tidpunkter.

34. Arrangemang enligt patentkrav 24, kännetecknat av att kodern är anordnad att bilda sändningsblockets kanalsymboler genom användning av ett antal moduleringspunkter som faslindats för åtminstone en symbol som hör till sändningsblocket i förhållande till en andra symbol i sändningsblocket.

35. Arrangemang enligt patentkrav 24, kännetecknat av att blockkoden är unitär beträffande var och en symbol som hör till sändningsblocket.

36. Arrangemang enligt patentkrav 24, kännetecknat av att icke-ortogonalitetsmatrisen som bildats av blockkodens Hermitiska kvadrat är spårlös.

37. Arrangemang enligt patentkrav 24, kännetecknat av att blockkoden har balanserad effekt.

38. Arrangemang enligt patentkrav 24, k ä n n e t e c k n a t av att blockkoden har obalanserad effekt.

39. Arrangemang enligt patentkrav 24, k ä n n e t e c k n a t av att i blockkoden har åtminstone två symboler kodats sinsemellan ortogonalt.

5 40. Arrangemang enligt patentkrav 24, k ä n n e t e c k n a t av att blockkoden är en blockkod avsedd för sändning av fyra symboler, där de två första symbolerna har kodats ortogonalt sinsemellan och de två sista symbolerna har kodats ortogonalt sinsemellan.

41. Arrangemang enligt patentkrav 24, k ä n n e t e c k n a t av att
10 kodern är anordnad att av de avlästa symbolerna bilda komplexa kanalsymboler med hjälp av en blockkod C med formen

$$C = \sum_{k=1}^K C_k = \sum_{k=1}^K U_k \gamma_k V_k$$

, där k beskriver symbolens index, U_k är en unitär $M \times M$ matris, varvid M avser sändningens fördröjning och V_k är en unitär $N \times N$ matris, varvid N
15 avser antalet antenner, och vari varje huvuddiagonals matriselement för γ_k är antingen en symbol z_k som skall sändas eller dess komplexkonjugat, och i vilka matriser U_k , V_k är åtminstone ett element som avviker från värdena i värdemängden $\{0, \pm 1, \pm j\}$.

42. Arrangemang enligt patentkrav 41, k ä n n e t e c k n a t av att
20 kodern är anordnad att av de avlästa symbolerna bilda komplexa kanalsymboler med hjälp av en blockkod C med formen

$$C = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & A \end{bmatrix} + U \begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix} V,$$

där A och B är ortogonala 2×2 matriser med formen Alamouts matris, 0 är en 2×2 nollmatris och U och V är unitära matriser, så att åtminstone ett
25 matriselement som ingår i U eller V inte är lika med 0, +1, -1 +j och -j.

43. Arrangemang enligt patentkrav 42, k ä n n e t e c k n a t av att åtminstone en av matriserna U, V har formen

$$\begin{bmatrix} qW & pW \\ pW & -qW \end{bmatrix}$$

30 vari W är en 2×2 unitär matris, vars determinant är 1, och q och p är reeltal, vilka förverkligar ekvationen

$$q^2 + p^2 = 1$$

44. Arrangemang enligt patentkrav 43, k ä n n e t e c k n a t av att matrisen W är

$$\begin{bmatrix} e^{i\phi} & 0 \\ 0 & e^{-i\phi} \end{bmatrix}.$$

45. Arrangemang enligt patentkrav 44, k ä n n e t e c k n a t av att vinkeln ϕ är mellan 25° och 65° .

46. Förfarande enligt patentkrav 43, k ä n n e t e c k n a t av att matrisen W är

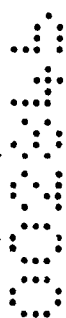
$$\begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta^* & \alpha^* \end{bmatrix}, \text{ där } \alpha \text{ och } \beta \text{ hör till gruppen komplexa tal och uppfyller}$$

villkoret

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1.$$

47. Arrangemang enligt patentkrav 46, k ä n n e t e c k n a t av att

$$\alpha = e^{j\frac{\pi}{4}} \cos \frac{\pi}{5} \text{ och } \beta = \sin \frac{\pi}{5}.$$



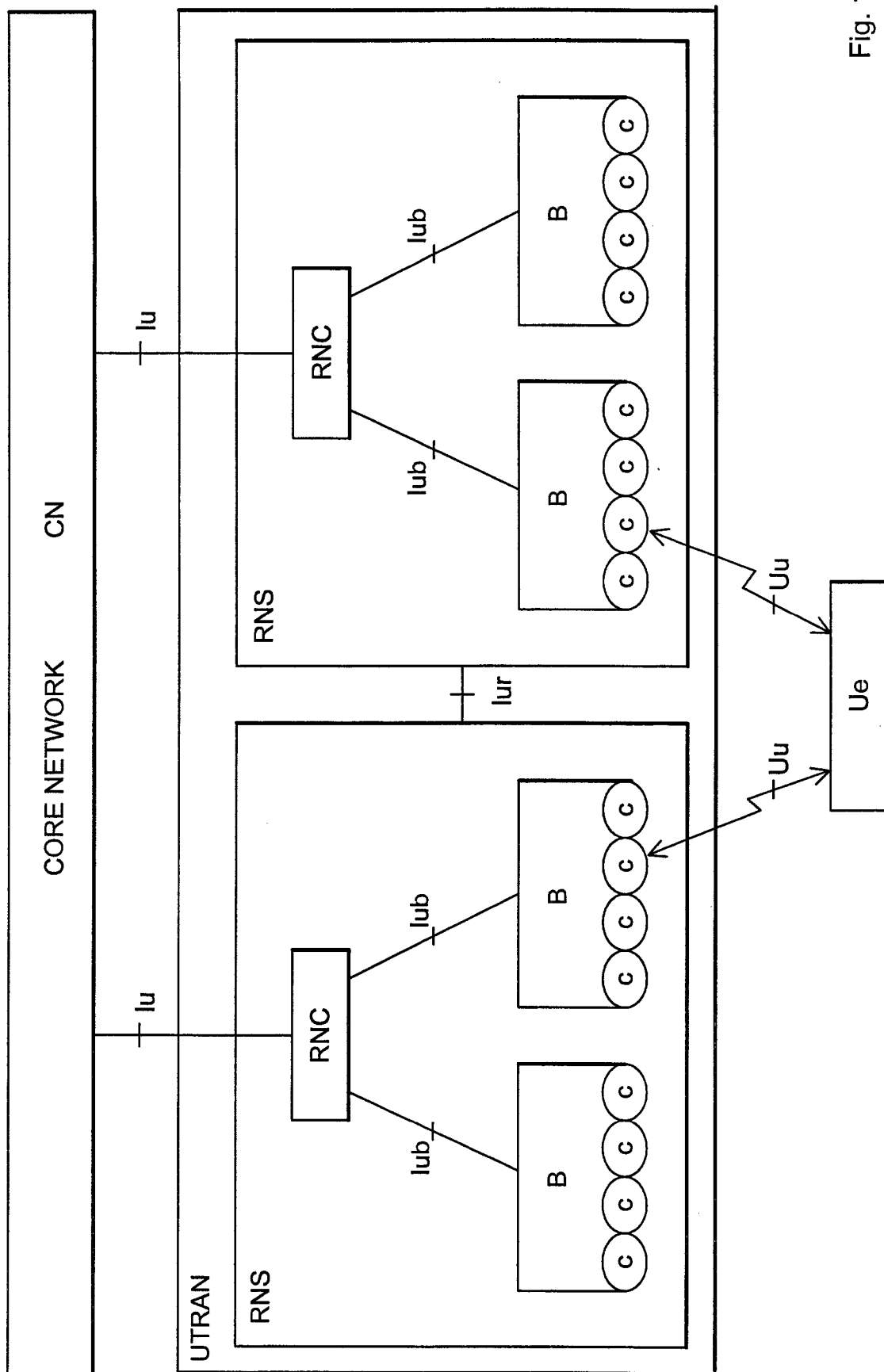


Fig. 1

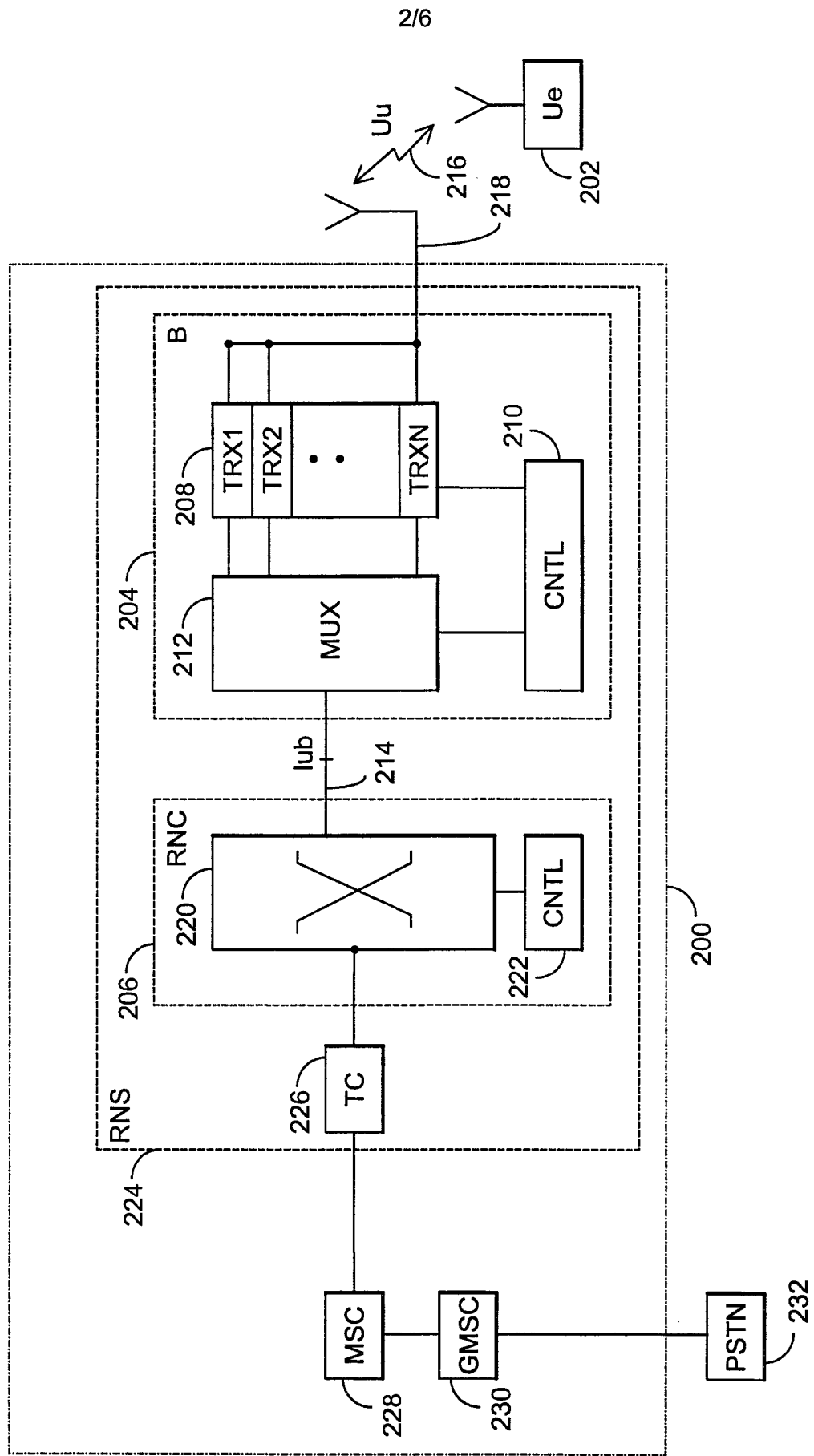


Fig. 2

22:12:00 00:00:00

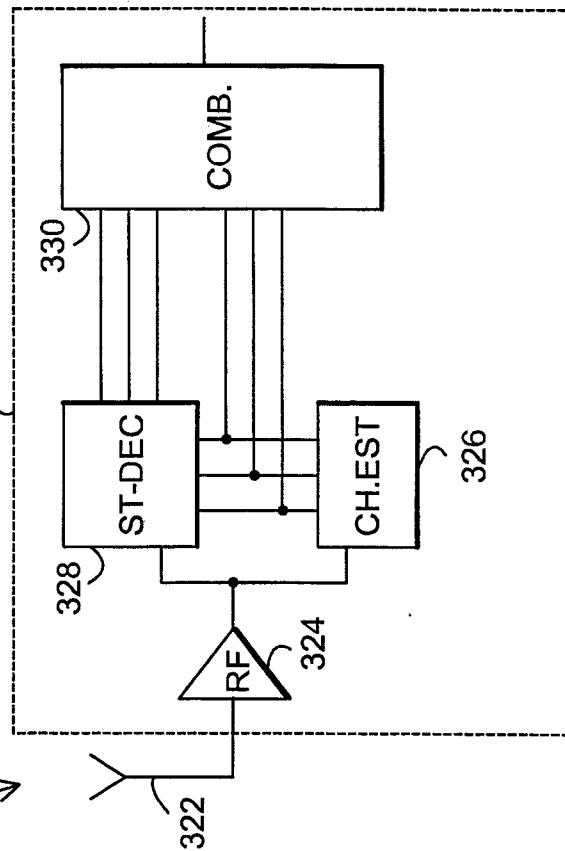
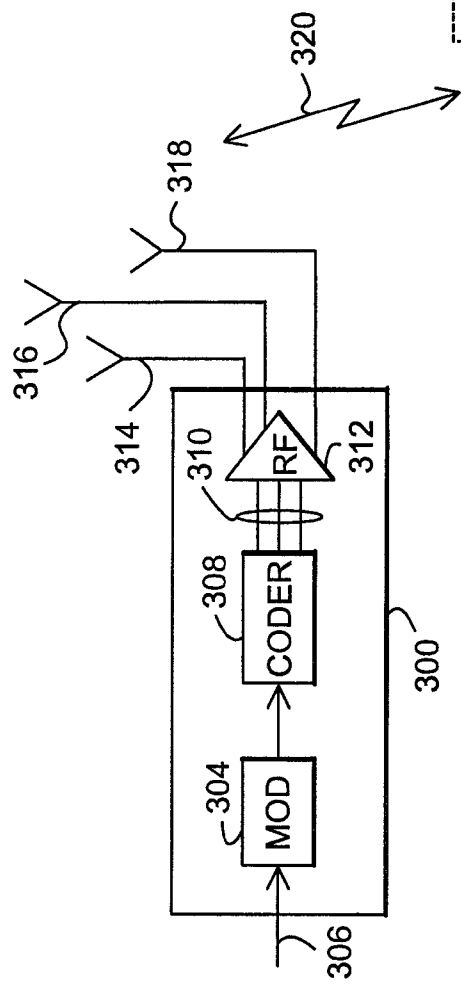


Fig. 3

4/6

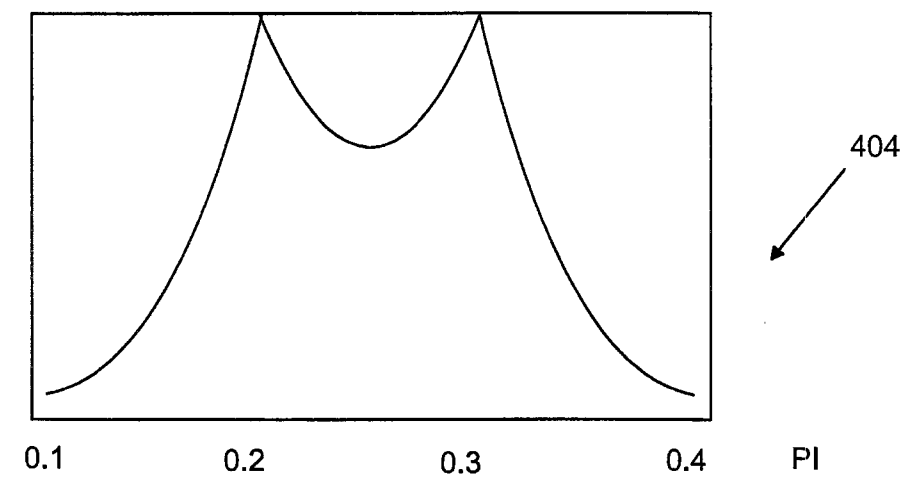
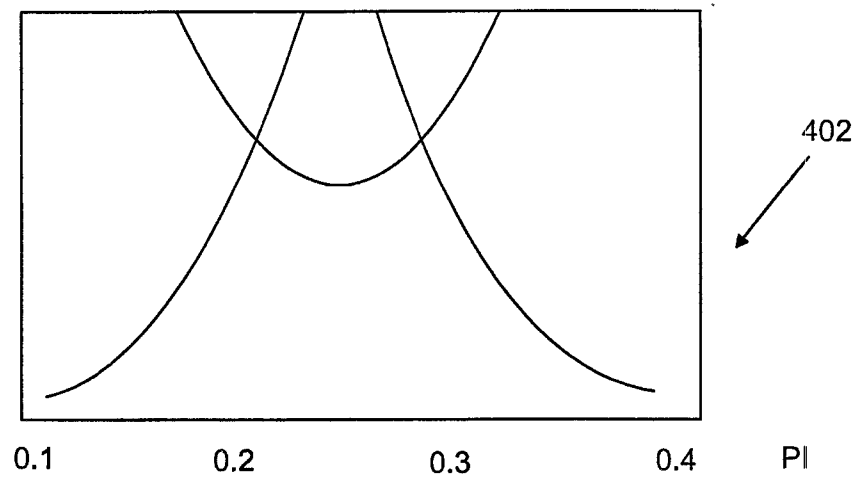
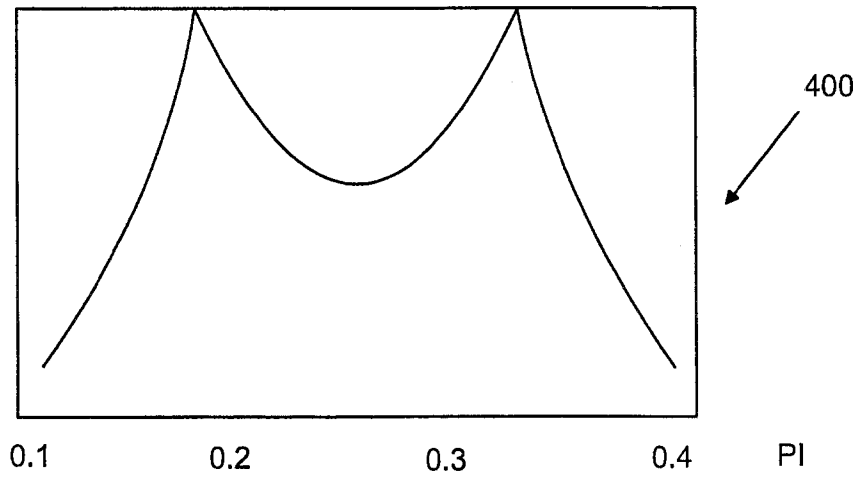


Fig. 4A

5/6

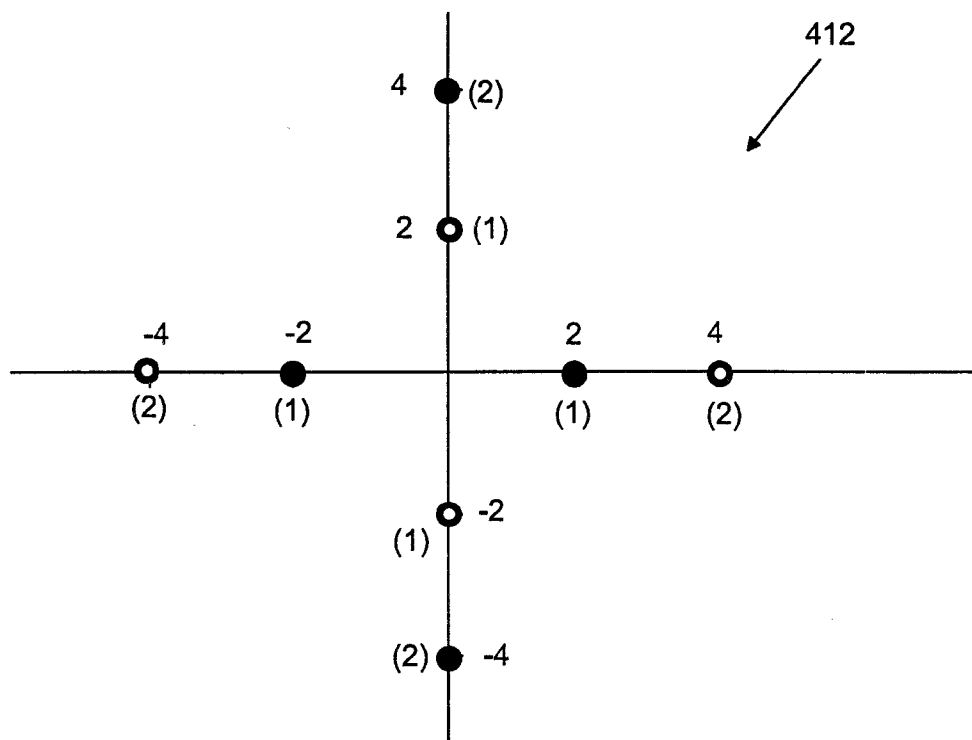
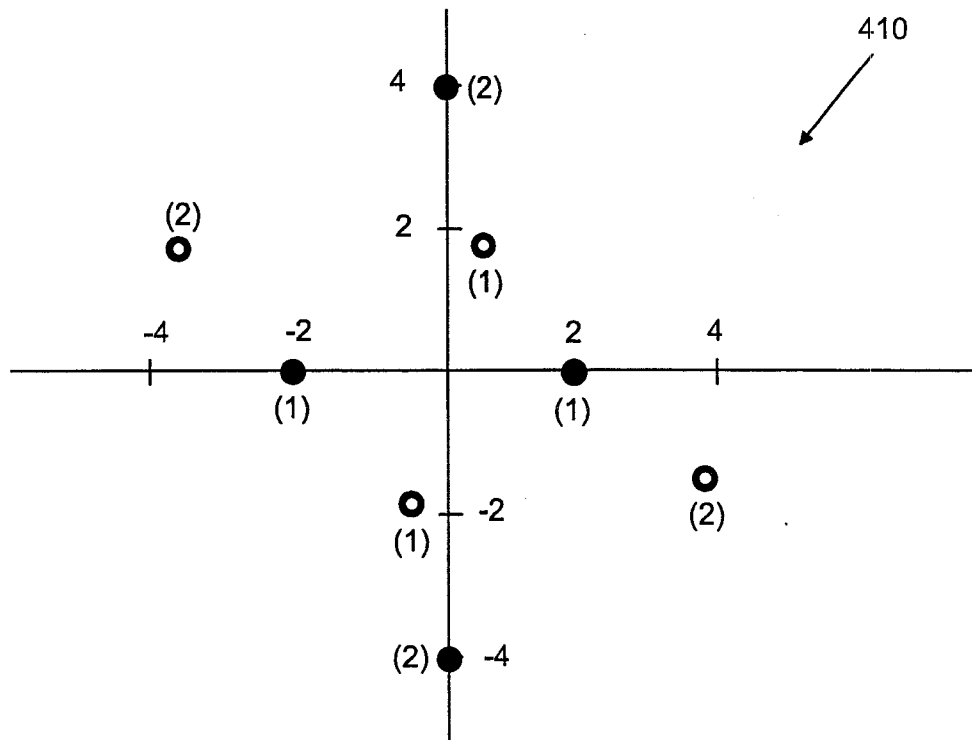


Fig. 4B

2025.03.10 00:00:00

6/6

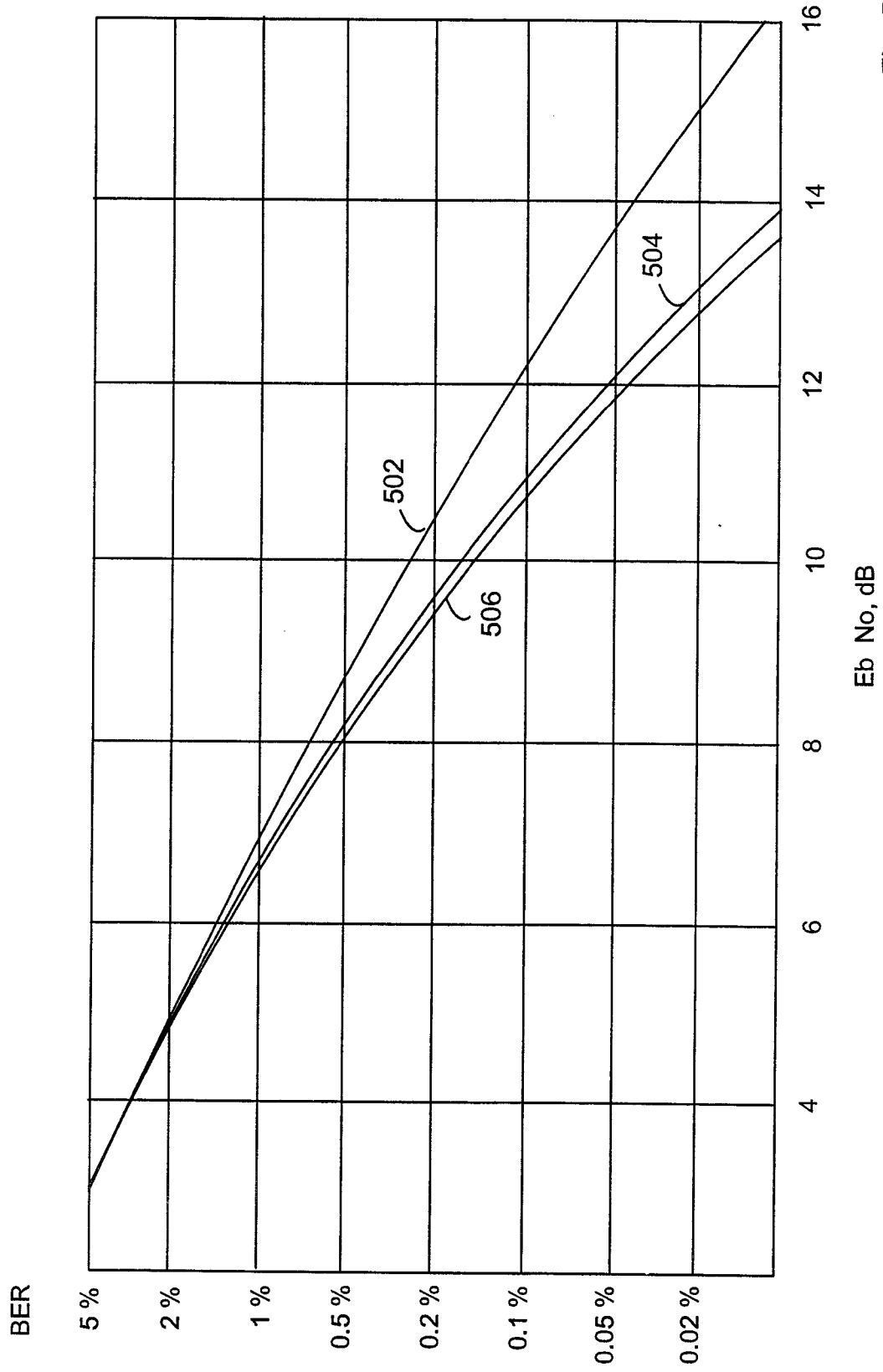


Fig. 5