

(19)



**SUOMI - FINLAND**

**(FI)**

**PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS**

**PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN**

**FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE**

**(10) FI 980048 A7**

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

(21) Patentihakemus - Patentansökan - Patent application **980048**

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation -  
International patent classification  
**H04L 27/26**

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **03.07.1996**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **13.01.1998**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **13.03.1998**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **13.06.2019**

(86) Kansainvälinen hakemus - **03.07.1996 PCT/SE1996/000906**  
Internationell ansökan - International  
application

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

14.07.1995 US 502633

(71) Hakija - Sökande - Applicant

**1 • Telefonaktiebolaget L M Ericsson, 126 25 Stockholm, SVERIGE, (SE)**

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

**1 • Gudmundson, Perols Leif Mikael, Sverige, SVERIGE, (SE)**

**2 • Brismark, Lars Gustav, Sverige, SVERIGE, (SE)**

**3 • Andersson, Per-Olof, Sverige, SVERIGE, (SE)**

(74) Asiamies - Ombud - Agent

**Boco IP Oy Ab, Itämerenkatu 5, 00180 Helsinki**

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

**Pulssinmuodostus monikantoaaltomodulaatiota varten**

**Pulsforming för multibärvägmodulation**

PULSSIN MUOTOILU MONIKANTOAALTOMODULOINTIA VARTEN  
PULSFORMNING FÖR MULTIBÄRARMODULERING

Keksinnön tausta

Keksinnön ala

Keksintö koskee teleliikennejärjestelmiä ja erityisesti menetelmää ja järjestelmää pulssin muotoilemiseksi datasiirrosta ortogonaalisessa taajuusjakomultipleksoidussa järjestelmässä (OFDM; orthogonal frequency division multiplexed).

Tunnetun tekniikan historia

Radioteleliikennejärjestelmissä yleinen menetelmä informaation lähettämiseksi on sellainen, että jaetaan informaatio erillisiin yksiköihin ja tämän jälkeen lähetetään kukin yksikkö erillisellä radiotaajuusapukantoaallolla (RF; radio frequency). Erilliset yksiköt voidaan tämän jälkeen vastaanottaa kultakin apukantoaallolta vastaanottimessa ja alkuperäinen informaatio voidaan muodostaa uudelleen. Tämäntyyppinen lähetystekniikka tunnetaan monikantoaaltomodulointina (MCM; multicarrier modulation).

Ortogonaalinen taajuusjakomultipleksointi OFDM on tietty MCM:n menetelmä. OFDM-signaali muodostuu useista apukantoaalloista, jotka multipleksoidaan yhteen, kukin apukantoaalto eri taajuudella ja kukin moduloidaan signaalilla, jonka taso vaihtelee epäjatkuvasti eikä jatkuvasti.

Koska modulointisignaalin taso vaihtelee epäjatkuvasti, kunkin apukantoaallon tehospektri noudattaa  $(\sin x/x)^2$  jakaumaa. OFDM-järjestelmässä apukantoaaltotaajuudet  $f_k$ ,  $k=0, \dots, N-1$ , määritetään siten, että apukantoaallot ovat ortogonaalisia, eli kunkin apukantoaallon tehospektri on nolla kunkin toisen apukantoaallon taajuudella.

Joukkoa datasymboleja  $C_k$ , jossa  $k=0, \dots, N-1$  (eli kompleksit luvut esittävät lähetettävää informaatiota) käytetään moduloimaan  $N$  apukantaaaltoja OFDM-järjestelmässä. Kukin datasymboli  $C_k$  moduloi apukantaaallon tietyllä taajuudella  $f_k$ . Tapa, jolla informaatio esitetään kompleksilukuna riippuu modulointimenetelmästä. Tavallisia menetelmiä ovat vaiheavainnus (PSK; phase shift keying), differentiaali vaiheavainnus (DPSK; differential phase shift keying),  $90^\circ$ -vaihe-eroavainnus (QPSK; quadrature phase shift keying) ja differentiaali- $90^\circ$ -vaihe-eroavainnus (DQPSK; differential quadrature phase shift keying).

Apukantaaaltotaajuuudet  $f_k$ ,  $k=0, \dots, N-1$ , OFDM-järjestelmän  $N$  apukantaaallolle määritetään perusfunktioiden joukolla:

$$\Psi_k(t) = \begin{cases} e^{j2\pi f_k t}, & 0 \leq t < T \\ 0, & \text{muulloin} \end{cases}$$

Pienin erotus kahden taajuuden  $f_i$  ja  $f_j$  välillä, siten että molemmat perusfunktiot ovat ortogonaalisia, on  $1/T$ , jolloin apukantaaaltotaajuuudet määritetään:

$$f_k = f_c + \frac{k}{T}, \quad \text{jossa } k=0, \dots, N-1$$

ja jossa  $f_c$  on järjestelmän kantaaltotaajuus ja  $T$  on symboliaika (datasymbolin kesto aika). Apukantaaaltoerotus määritetään sitten seuraavasti:  $f_0 = 1/T$ .

Kaikkien  $N$ -signaalien summaa kutsutaan OFDM-signaaliksi. Lähetetty signaali aikavälillä  $[0-T]$  voidaan esittää seuraavasti:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k \Psi_k(t)$$

Mikäli  $y(t)$  on signaali, joka vastaanotetaan vastaanottimessa, data voidaan havaita seuraavasti:

$$\text{vastaanotettu } C_k = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) \Psi_k^*(t) dt$$

jossa  $\Psi_k^*$  on  $\Psi_k(t)$ :n kompleksikonjugaatti.

Yllä esitetty koskee ainoastaan yhtä aikaväliä,  $[0-T]$ . Suorittamalla samanlaisia toimintoja muille aikaväleille, jotka ovat yhtä pitkiä, koko lähetetty signaali voidaan muodostaa ja dekodata summaamalla aikaviiveversioita  $x(t)$ :stä, mutta eri datasympolijoukoilla,  $C_k^{(m)}$ , eri aikaväleillä  $m$ .

Esimerkkinä siitä, miten OFDM-signaali voidaan muodostaa, määritetään, että  $N=4$  ja tutkitaan 8 datasympolin lähetystä 2 aikavälillä  $m=1$  ja  $m=2$ . Selitystä varten tutkitaan tässä ainoastaan datasympolien reaali-osaa. Alan ammattimies ymmärtää, että data, joka edustaa symbolia muodostuu reaali- ja imaginaariosasta. 8 datasympolia  $C_k^{(m)}$  voidaan määrittää seuraavasti:

$$\begin{array}{cccc} C_0^{(1)}=1 & C_1^{(1)}=1 & C_2^{(1)}=-1 & C_3^{(1)}=-1 \\ C_0^{(2)}=1 & C_1^{(2)}=-1 & C_2^{(2)}=1 & C_3^{(2)}=1 \end{array}$$

Seuraavassa viitataan kuvioon 1, jossa esitetään kahden OFDM-sympolin reaali- ja imaginaariosat, jossa 8 datasympolia siirretään 2 aikavälissä  $m=1$  ja  $m=2$ . Signaali 300 on signaalien 302, 304, 306 ja 308 summa. Kukin signaaleista 302, 304, 306 ja 308 edustaa kutakin datasympolia apukantoaaltotaajuuksilla  $f_k$ , jossa  $k=0, \dots, 3$ , johon kuuluu yhdistetty signaali 300. Esimerkiksi mikäli symbolit  $C_0^{(1)} = C_0^{(2)} = 1$  ja  $C_1^{(m)}$ ,  $C_2^{(m)}$  ja  $C_3^{(m)}$  ovat nolla arvoilla  $m=1$  ja  $m=2$ , lähetetty signaali on signaali 308 kuviossa 1.

$\Psi_k(t)$ :n Fourier-muunnos on  $\sin(x)/x$ -muotoinen funktio, joka on keskitetty kun  $f=f_k$ . Eri  $\Psi_k$ -taajuusspektrit limittyvät tästä syystä. Ne ovat kuitenkin yhä ortogonaalisia, ja erityi-

sesti kohdassa, jossa kukin spektri on maksimissaan toiset ovat nolla.

Seuraavassa viitataan kuvioon 2, jossa esitetään  $\Psi_k(t)$ :n taajuusspektri. Spektrit esitetään kuviossa 2 arvoilla  $k=0, \dots, 7$ , eli arvolla  $N=8$ . Kuvioista 2 ilmenee, että ottamalla näytteitä lähetetystä signaalista  $x(t)$  taajuuksilla  $f_k$  yksittäiset datasymbolit voidaan palauttaa ilman, että muut symbolit interferoivat.

Yllä esitetyssä OFDM:n selostuksessa oletetaan, että on ainoastaan yksi käyttäjä, joka lähettää informaatiota kaikilla  $N$ -apukantoaalloilla. Tämä voi pitää paikkansa kaksi-pistejärjestelmissä, kuten modeemien yhteydessä tai yhteislähetysjärjestelmissä kuten tarkkapiirtotelevision (HDTV; high definition television) yhteydessä. OFDM soveltuu kuitenkin myös monikäyttöteleliikennejärjestelmiin. Tyypillisessä monikäyttöteleliikennejärjestelmässä, joka käyttää OFDM:ää, on samalla taajuuskaistalla useita käyttäjiä, jotka jakavat taajuusspektrin. Solukkojärjestelmä on esimerkki tämäntyyppisestä järjestelmästä. Alaslinkkilähetyksissä (tukiasemalta matkaviestimelle) solukkojärjestelmässä tukiasema voi multiplexoida kaikki käyttäjät eri apukantoaalloille. Ylöslinkkilähetyksissä (matkaviestimeltä tukiasemalle) kullekin matkaviestimelle voidaan antaa joukko apukantoaaltoja, joka on pienempi kuin tämän tietyn tukiaseman linkissä käyttämien apukantoaaltojen lukumäärä, ja OFDM-signaalien muodostaminen voidaan tehdä yllä esitetyllä tavalla.

Ideaalitapauksessa additiivisen valkoisen gaussikohinan kanavassa (AWGN; additive white Gaussian noise) OFDM-signaali  $x(t)$  voidaan lähettää ja vastaanottaa ilman symbolien välistä interferenssiä (ISI; intersymbol interference). Kuitenkin tyypillisessä radiokanavassa aikahajonta ja taajuushajonta (Doppler-hajonta) vaikuttaa vastaanotetun signaalin kelpoisuuteen (engl. validity). Kuvioista 2 käy ilmi, että Doppler-hajonta tuhoaisi apukantoaaltojen ortogonaaliteettia, koska

yksittäisten apukantoaaltospektrien nollaylitykset siirtyisivät mielivaltaisesti. Tämä aiheuttaisi ISI:ä eri apukantoaalloilla lähetettyjen datasymbolien välillä. Lisäksi kuvioista 2 voidaan todeta, että huomattavaa OFDM-järjestelmän aiheuttamaa kaistan ulkopuolista interferenssiä voi esiintyä. Esimerkiksi mikäli  $f_7$  ylittävät taajuudet allokoitaisiin toiseen järjestelmään, siitä saattaisi koitua huomattavaa interferenssiä tälle taajuuskaistalle johtuen kuvion 2 apukantoaaltojen  $f_k$  spektristä. Mitä hitaammin spektri vaimenee, sitä suurempi on interferenssi.

Vastaavasti kuviossa 1 osoitetaan, että aikahajontavaikutukset lähetettyyn signaaliin synnyttäisivät interferenssiä symbolien välillä vierekkäisillä aikajaksoilla  $m=1$  ja  $m=2$ .

Yksikantoaaltojärjestelmissä käsitellään ISI:ä tavallisesti käyttämällä vastaanottimessa taajuuskorjainta. OFDM-järjestelmissä ISI:ä on helpompi käsitellä, koska OFDM-järjestelmien symboliaika  $T$  on yleensä paljon pidempi kuin yksikantoaaltojärjestelmissä. Eri apukantoaaltotaajuuksilla siirrettyjen datasymbolien välistä ISI:ä voidaan pienentää valitsemalla symboliaika  $T$  ja täten apukantoaaltoerotus  $f_0$  sopivasti. Aikavälien välinen ISI voidaan välttää ottamalla käyttöön suoja-aika niiden aikavälien välillä, joissa datasymboleja lähetetään. Suoja-aika muodostetaan lähetetyn signaalin  $x(t)$  jaksottaisella pidennyksellä, joka signaali on johdettu aikavälissä, joka on pituudeltaan  $T+t$ , jossa  $t$  on suoja-väli. Käyttämällä suoja-aikaa vastaanotetut arvot saadaan seuraavasti:

$$\text{vastaanotettu } C_k = \int_t^{t+T} y(t) \Psi_k^*(t) dt$$

jossa  $y(t)$  on vastaanotettu signaali. Tässä tapauksessa  $C_k = C_k$  vastaanotettu arvoilla  $k=0, 1, \dots, N-1$  (olettaen, että vaihesiirtymä voidaan palauttaa esim. käyttäen ohjaussigna-

lia), mikäli maksimaalinen aikahajonta on pienempi kuin suojaväli.

Käyttämällä suojavälejä yllä selostetulla tavalla vältetään interferenssiä eri datalohkojen välillä. Lohkon ilmaisu ei tapahdu ennen kuin edellisen lohkon kaikki osat ovat poistuneet kanavalta. Suojavälit käsittelevät aikaviivettä niin kauan kuin suojavälit ovat pidempiä kuin pisin aikahajonta kanavalla. Kuitenkin, mikäli esiintyy pidempää aikahajontaa apukantoaaltojen ortogonaaliteetti ei enää säily, mikä aiheuttaa suorituskyvyn heikkenemistä. Lisäksi suojavälien käyttö ei vähennä Doppler-hajontavaikutuksia vastaanotettuun signaaliin koskien kaistan ulkopuolista interferenssiä ja/tai taajuustahdistusvirheitä.

Tällöin olisi edullista, mikäli olisi käytettävissä järjestelmä ja menetelmä OFDM-järjestelmässä, joka vähentäisi OFDM-signaalin herkkyyttä aikahajonnalle ja joka myös vähentäisi Doppler-hajonnan vaikutusta vastaanotettuun OFDM-signaaliin. Lisäksi lisäetua aikaansaisi menetelmä ja järjestelmä joka vähentäisi kaistan ulkopuolista interferenssiä.

Yhteenveto keksinnöstä

Esillä oleva keksintö aikaansaa pulssinmuotoilumenetelmän ja järjestelmän datalähetystä varten ortogonaalisessa taajuusjako multipleksoidussa järjestelmässä (OFDM), joka vähentää sekä aikahajonnan että Doppler-hajonnan symbolien välisen interferenssin vaikutusta (ISI) vastaanotetussa OFDM-signaalissa. Esillä oleva keksintö vähentää myös kaistan ulkopuolista interferenssiä OFDM-järjestelmässä.

Tavanomaisissa menetelmissä ISI:n vähentämiseksi kuuluu suoja-ajan käyttö datasympolien lähetysvälien välissä. Suoja-aika muodostetaan jaksottaisesti jatkamalla lähetettyä signaalia tietyn ajan. Suoja-ajan käyttö ei kuitenkaan vähennä interferenssiä OFDM-apukantoaaltojen välillä, joka on peräisin

Doppler-hajonnan vaikutuksista. Esillä oleva keksintö on edullinen suoja-aikaan verrattuna siksi, että sekä aikahajonta että Doppler-hajontavaikutukset vähenevät.

Keksinnössä kukin useista datasympoleista, joilla on symbolijakso  $T$ , moduloidaan yhdelle useista apukantaaalloista siten, että saadaan useita moduloituja apukantaaaltoja, joihin sisältyy OFDM-datasignaali. Yhdistetty OFDM-datasignaali kerrotaan tämän jälkeen pulssin muotoilufunktiolla ennen lähetystä järjestelmän kantaallolla järjestelmän kanavassa.

Keksinnön erään suoritusmuodon mukaisesti pulssin muotoilufunktio voi olla kohotettu kosinipulssi aikavälillä  $T$ . Tässä suoritusmuodossa kohotetun kosinipulssin rajatekijä määrittää ISI:n pienenemisen määrän. Mitä suurempi rajatekijä on, sitä suurempi on ISI:n pienennys. Käytettyjen apukantaaaltojen taajuudet määräytyvät myös kohotetun kosinipulssin rajatekijästä. Mitä suurempi rajatekijä, sitä suurempi on käytettävissä olevien apukantaaaltojen lukumäärän pienennys. Vakiotaa-juus-kaistanleveyden ollessa järjestelmän käytettävissä mikä tahansa käytettävissä olevien apukantaaaltojen lukumäärän pienennys, joka aiheutuu pulssin muotoilusta, voidaan arvioida verrattuna symbolien välisen interferenssin (ISI) pienennykseen, sillä edellytyksellä että rajatekijää käytetään.

Lyhyt kuvioiden selostus

Kuviossa 1 esitetään kahden OFDM-symbolin reaali- ja imaginaariosat;

kuvio 2 esittää OFDM-signaalin taajuusspektriä;

kuviot 3A-3C esittävät aika-alueen pulssimuotoa, taajuusvastetta ja taajuusvastetta laajennetulla skaalalla vastaavasti, kahden pulssinmuotoilufunktion osalta;

kuviot 4A ja 4B esittävät kaaviomaisena lohkokaaavana lähetintä ja vastaanotinta vastaavasti OFDM-järjestelmässä, joka toimii esillä olevan keksinnön mukaisesti;



kuvio 5 esittää OFDM-signaalin taajuusspektriä, joka on tuloksena esillä olevan keksinnön mukaisesti suoritetusta pulssinmuotoilusta; ja

kuviot 6A ja 6B esittävät datasignaalien generointia syklisessä laajennuspiirissä ja vastaavasti yhdistinpiirissä esillä olevan keksinnön erään suoritusmuodon mukaisesti.

#### Keksinnön yksityiskohtainen selostus

Pulssinmuotoilu datalähetystä varten aikaansaadaan esillä olevassa keksinnössä kertomalla OFDM-signaali pulssinmuotoiluaaltomuodolla  $w(t)$  ennen kuin signaali lähetetään OFDM-kanavalla. Keksinnön mukaisesti lähetetty OFDM-signaali  $x(t)$  saadaan kullekin aikajaksolle seuraavasti:

$$x(t) = w(t) \sum_{k=0}^{N'-1} C_k \Psi_k(t)$$

ja  $f_k$  määritetään keksinnön mukaisesti uudestaan seuraavasti:

$$f_k = f_c + \frac{\alpha k}{T}, k=0, \dots, N'-1$$

jossa  $\alpha$  on taajuuden säätökerroin, joka riippuu käytetystä pulssinmuotoilufunktiosta  $w(t)$ . Mikäli  $y(t)$  on vastaanotettu signaali, data voidaan ilmaista vastaanottimessa seuraavasti:

$$\text{vastaanotettu } C_k = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) \Psi_k^*(t) dt$$

Seuraavassa viitataan kuvioihin 3A, 3B ja 3C, joissa on esitetty aika-alueen pulssimuoto, taajuusvaste ja taajuusvaste laajennetulla skaalalla vastaavasti kahdelle pulssinmuotoilufunktion esimerkillä  $w_1(t)$  ja  $w_2(t)$ . Vertailun vuoksi sellaisen kanavan vasteet, jossa ei käytetä pulssin muotoilua,

esitetään myös kuvioissa 3A, 3B ja 3C. Aika- ja taajuusskaalat normalisoidaan symboliajalle  $T$  ja apukantaaaltotaajuudelle  $f_c=0$ . Pulssinmuotoilufunktiot määritetään kohotettuina kosinipulsseina, joilla on rajatekijä  $B$ , joka on  $1/2$   $w_1(t)$ :llä ja  $1$   $w_2(t)$ :llä. Kohotettu kosinipulssi saadaan kaavasta:

$$w(t) = \frac{1 - \cos(2\pi t/TB)}{2}, \quad 0 \leq t < \frac{T}{2}B$$

ja

$$w(t) = 1, \quad \frac{TB}{2} \leq t < T - \frac{TB}{2}$$

$$w(t) = \frac{1 - \cos(2\pi(T-t)/TB)}{2}, \quad T - \frac{TB}{2} < t \leq T, \text{ for } 0 < B \leq 1,$$

Pulssin kesto  $T$  kaikissa kolmessa tapauksessa on sama kuviossa 3A.

Kuviossa 3A esitetään, että pulssinmuotoilun käyttö kertomalla  $x(t)$  pulssinmuotoilufunktiolla  $w_1(t)$  tai  $w_2(t)$  aikavälillä  $0 \leq t < T$ , vaimentaa signaalin  $x(t)$  ensimmäistä ja viimeistä osaa, koska  $w_1(t)$ :n ja  $w_2(t)$ :n amplitudi nousee hitaasti alussa ja vaimenee jakson  $T$  lopussa. Tämä vähentää herkkyyttä kun OFDM-symbolien osat eri aikaväleistä limittyvät aikahajonnasta johtuen. Mikäli pulssinmuotoilua ei käytetä, signaali  $x(t)$  ei vaimene aikavälillä  $T$ .

Kuvioissa 3B ja 3C spektritiheyden vaimenemisnopeus pulssinmuotoilufunktioiden  $w_1(t)$  ja  $w_2(t)$  taajuusvasteilla on paljon suurempi kuin kanavan siinä tapauksessa, että pulssin muotoilua ei käytetä. Vaimennusnopeus riippuu suoraan rajatekijästä  $B$ . Kertomisen jälkeen pulssinmuotoilun nopeampi spektrin vaimeneminen aiheuttaa sen, että lähetetyn signaalin  $x(t)$  kukin apukantaaalto on vähemmän herkkä Doppler-hajonnalle kuin apukantaaalto olisi ilman pulssinmuotoilua. Nopeamman spektrin

vaimenemisnopeuden tuloksena on myös se, että koko järjestelmän peruskaistalla on nopea spektrivaimenemisnopeus. Tämä vähentää kaistan ulkopuolista interferenssiä.

Kuvioissa 3B ja 3C esitetään myös, että pulssinmuotoilufunktioiden spektrit ovat leveämpiä, johtuen rajatekijästä  $B$ , kuin kanavan taajuusvasteen spektrit, kun pulssinmuotoilua ei käytetä. Esimerkiksi spektri  $w_2(t)$ , jossa  $B=1$ , omaa leveyden, joka on kaksi kertaa kanavan taajuusvasteen spektrin leveys, kun ei käytetä pulssinmuotoilua. Mikäli asetetaan  $B=0$  tarkoittaa tämä, että ei käytetä pulssinmuotoilua lainkaan, ja tämä aikaansaa spektrit, jotka on esitetty ilman pulssinmuotoilua. Spektrin muutos käytettäessä pulssinmuotoilua muuttaa ortogonaalisia suhteita apukantaaalloissa tietyllä taajuuskaistalla. Näinollen tiettyä pulssinmuotoilufunktiota käytettäessä voi olla tarpeen säätää valittuja apukantaaaltoja, jotta säilytetään ortogonaalisuus datalähetyksen aikana. Taajuuden säätökerrointa  $\alpha$  käytetään tätä säätöä varten.  $\alpha$  määritetään seuraavasti:

$$\frac{2}{2-B}$$

Esimerkkinä apukantaaallon taajuuden säädöstä, mikäli käytetään Hanning-funktion sisältämää pulssinmuotoilufunktiota  $w_2(t)$  pulssinmuotoilufunktio voidaan määrittää seuraavasti:

$$w_2(t) = \frac{1 - \cos(2\pi t/T)}{2}, \quad 0 \leq t \leq T$$

Hanning-funktiolla  $B=1$  ja  $\alpha=2$ . Keksinnön mukaisesti apukantaaaltotaajuudet määritetään seuraavasti:

$$f_k = f_c + \frac{2k}{T}, \quad k=0, \dots, \frac{N}{2}-1,$$

Siksi tietyllä kaistanleveydellä hyödynnetään joka toista apukantaaaltoa, verrattuna tavanomaiseen OFDM:ään, lähettämään

datasymbolien joukkoa, jonka  $C_k^{(m)}$  määrittää. Kukin symboli  $C_k$  lähetetään apukantoaallolla, jolla on taajuus  $f_k$ , kuten on määritetty yllä. Lähetetty signaali  $x(t)$  on tällöin:

$$x(t) = w(t) \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} C_k \Psi_k(t) dt$$

Mikäli  $y(t)$  on vastaanotettu signaali lähetetty data voidaan palauttaa vastaanottoon seuraavasti:

$$\text{vastaanotettu } C_k = \frac{1}{T_0} \int_0^T y(t) \Psi_k^*(t) dt$$

Seuraavassa viitataan kuvioon 5, jossa esitetään  $w(t)$   $\Psi_k(t)$ :n taajuusspektri, jossa  $k=0, 1, 2, 3$ . Kuviosta 5 käy ilmi, että ottamalla näytteitä lähetetystä signaalista  $x(t)$  taajuuksilla  $f_k$  yksittäiset datasymbolit voidaan palauttaa ilman, että muut signaalit aiheuttavat interferointia.

Kuviossa 5 esitetty taajuusspektri esittää apukantoaaltojen  $f_0, f_1, f_2$ , ja  $f_3$  nopeamman spektrin vaimenemisnopeuden, joka johtuu pulssinmuotoilusta. Verrattuna tavanomaiseen OFDM:ään, esimerkiksi kuten kuviossa 2 on esitetty, on ilmeistä, että Doppler-hajontaherkkyys apukantoaaltojen välillä pienenee. On myös ilmeistä, että kaistan ulkopuolinen interferenssi pienenee spektrin tiheyden nopeammasta vaimenemisesta johtuen.

Tietyllä kiinteällä kaistanleveydellä keksinnön mukainen pulssinmuotoilu vaatii vähemmän datasymboleja aikayksikköä kohti kuin tavallinen OFDM, jossa kaikkia käytettävissä olevia ortogonaalisia apukantoaaltoja käytetään.

Seuraavassa esitetään keksinnön suoritusmuotoa, jossa käytetään pulssinmuotoilufunktiota, joka esitetään kohotetulla kosinipulssilla.

Seuraavassa viitataan kuvioihin 4A ja 4B, joissa on esitetty lohkokaavioina lähetin 400 ja vastaanotin 430 vastaavasti OFDM-järjestelmässä, joka toimii esillä olevan keksinnön mukaisesti. Lähetin 400 ja vastaanotin 430 ovat ainoastaan yksi monista mahdollisista laitteistokokonaisuuksista keksinnön toteuttamiseksi. Tässä suoritusmuodossa OFDM-symbolijakso  $T$  ja aikanäytteiden  $N$  lukumäärä, joita on lähetetty kullakin aikajaksolla  $T$ , pidetään vakiona verrattuna yllä esitettyyn tavanomaiseen OFDM-järjestelmään. Datasymbolien  $C_k$  lukumäärä  $N'$ , joka on lähetetty kutakin OFDM-symbolia kohden, pienenee pulssinmuotoilun tuloksena. Esillä olevan keksinnön suoritusmuodossa lähetettyjen datasymbolien  $C_k$  lukumäärä  $N'$  on yhtä suuri kuin käytettyjen apukantoaaltojen lukumäärä  $N$  ja määritetään seuraavasti:  $N'=N/\alpha$ .

Lähettimeen 400 kuuluu sarja-rinnakkaismuunnin 402, käänteinen nopea Fourier-muunnospiiri (IFFT; inverse fast fourier transform) 404, syklinen laajennuspiiri 405, pulssinmuotoilukertojat 406 ja  $N-1$  multiplekseri (Mux) 408, D/A-muunnin (DAC) 410 ja modulaattori 412. Lähettimen toimiessa sarja-rinnakkaismuunnin 402 muuntaa digitaalisen sarjamuotoisen datajonon 416, johon kuuluu  $N'$  datasymbolia  $C_k$ ,  $k=0, \dots, N'-1$ , yhdeksi OFDM-lohkoksi (OFDM-symboli).  $N'$ -datasymbolit  $C_k$ , jotka sisältävät OFDM-lohkon, viedään tämän jälkeen IFFT-piiriin 404. Kukin symboli  $C_k$  sovitetaan ottoon, joka liittyy apukantoaaltoon, jolla on taajuus  $f_k$ . IFFT-piirin 404 annot arvoilla  $k=0, \dots, N'-1$  esitetään tällöin seuraavasti:

$$z_n = \sum_{k=0}^{N'-1} C_k e^{j2\pi kn/N'}, \quad n=0, 1, \dots, N'-1$$

$N'$ -piste-IFFT:n anto (signaalit, joissa  $z_n$ ,  $n=0, \dots, N'-1$ ) esittää aikasarjasignaalin, joka pitää sisällään datan, jonka sen toivotaan lähettävän. Koska keksinnön tässä suoritusmuodossa OFDM-symboliaika (FFT-kehys)  $T$  ja aikanäytteiden  $N$  lukumäärä kullakin aikavälillä  $T$  pysyy vakiona tietyllä taajuuden

kaistanleveydellä, syklinen laajennus suoritetaan signaaliin  $z_n$  syklisessä laajennuspiirissä 405 generoimaan signaali  $a_n$ , jossa on  $N$  näytettä aikavälillä  $T$ .

Syklisessä laajennuspiirissä 405 joukko ensimmäisiä peräkkäisiä signaaleja sarjasta  $z_n$  sijoitetaan aikadiskreetin sarjan  $a_n$  loppuun, ja joukko viimeisistä peräkkäisistä signaaleista sarjassa  $z_n$  sijoitetaan aikadiskreetin sarjan  $a_n$  alkuun. Signaali  $a_n$  määritetään seuraavasti:

$$a_n = z_{(n - (N - N') / 2) \bmod N'} \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

Seuraavassa viitataan kuvioon 6A, jossa esitetään funktio, jonka syklinen laajennuspiiri 405 suorittaa. Kuviossa 6A esitetään esimerkki, jossa näytteiden lukumäärä  $N$  kussakin OFDM-symbolissa on yhtä kuin 10 ja jossa datasymbolien  $C_k$  lukumäärä  $N'$  on yhtä kuin 6.

Pulssinmuotoilun suorittamiseksi aika-alueella aikasarjasignaali  $a_n$  kerrotaan pulssinmuotoilukertojassa 406 sopivalla vakiolla  $w_n$ ,  $n = 0, \dots, N-1$  aikadiskreetistä pulssinmuotoilufunktiosta, jolla on valittu rajatekijä  $B$ , arvojen  $x_k$ ,  $k = 0, \dots, N-1$  generoimiseksi. Aikadiskreetti pulssinmuotoilufunktio määritetään seuraavasti:

$$w_n = \frac{1 - \cos(2\pi n / NB)}{2}, \quad 0 \leq n < \frac{N}{2}B$$

$$w_n = 1, \quad \frac{NB}{2} \leq n < N - \frac{NB}{2}$$

$$w_n = \frac{1 - \cos(2\pi (N - n) / NB)}{2}, \quad N - \frac{N}{2}B \leq n < N,$$

Diskreetit annot  $x_n, \dots, x_{N'-1}$  aikamultipleksoidaan tämän

jälkeen Mux:ssa 408 diskreetin aikasarjan muodostamiseksi, joka saadaan kaavasta:

$$x_n = w_n \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi k l / N}, n=0, \dots, N-1$$

jossa  $l = (n - (N - N')) / 2 \bmod N'$ . Diskreetti aikasarja  $x_n$  syötetään tämän jälkeen DAC:hen 410, jossa se muunnetaan analogiseksi aaltomuodoksi  $x(t)$ . Analoginen aaltomuoto  $x(t)$  syötetään tämän jälkeen modulaattoriin 412, jossa analoginen aaltomuoto 418 moduloidaan järjestelmän radiotaajuuskantoaallolle kohdassa  $f_c$  ja lähetetään järjestelmän radiotaajuuskanavalla 414.

Vastaanottoon 430 kuuluu demodulaattori 432, analogi-digitaalimuunnin (ADC) 434, sarja-rinnakkaismuunnin 436, yhdistinpiiri 438, nopea Fourier-muunnos-piiri (FFT) 440 ja sarja-rinnakkaismuunnin 442. Vastaanotton toimissa järjestelmän radiotaajuuskantoaalto vastaanotetaan järjestelmän radiotaajuuskanavalla 414 ja demoduloidaan järjestelmän radiotaajuuskantoaallolta demodulaattorissa 432, jolloin saadaan vastaanotettu analoginen aaltomuoto  $b(t)$ , joka on vastaanotettu versio lähetetystä aaltomuodosta  $x(t)$ . Analoginen aaltomuoto  $b(t)$  syötetään tämän jälkeen ADC:n 434 ottoon, jossa se muunnetaan diskreetiksi aikasarjasignaaliksi  $b_n$ . Diskreetti aikasarjasignaali  $b_n$  syötetään tämän jälkeen sarja-rinnakkaismuuntoon 436 ja muunnetaan rinnakkaiseksi datasignaaliksi. Rinnakkainen datasignaali syötetään tämän jälkeen yhdistinpiiriin 438. Yhdistinpiiri 438 yhdistää  $b_n$ :n  $N$  näytettä  $N'$  näytteeksi diskreetin aikasarjasignaalin  $y_n$  muodostamiseksi. Yhdistinpiirissä 438 diskreettiä aikasarjaa  $b_n$  käsitellään diskreetin aikasarjan  $y_n$  muodostamiseksi arvoilla  $n=0, \dots, N'-1$ . Signaali  $y_n$  määritetään seuraavasti:

$$Y_n = b_{n+(N-N')/2} + b_{n+(N+N')/2} + b_{n(N-3N')/2}$$

Seuraavassa viitataan kuvioon 6B, jossa esitetään funktio, jonka yhdistinpiiri 438 suorittaa. Kuviossa 6 esitetään

esimerkki signaalin  $b_n$  yhdistämiseksi, jossa  $N=10$  ja  $N'=6$ .  $b_n$  on lähetetyn signaalin  $a_n$  vastaanotettu versio, joka on muodostettu esimerkissä kuvion 6A esittämänä.

$Y_n$  syötetään tämän jälkeen FFT-piiriin 440. FFT suoritetaan tämän jälkeen diskreetin aikasignaalin  $y_n$   $N'$ -näytteille, jotta palautetaan lähetetty vastaanotettu datasymboli  $C_k$ , jossa:

$$\text{vastaanotettu } C_k = \frac{1}{N'} \sum_{n=0}^{N'-1} y_n e^{-j2\pi kn/N'}, k=0, \dots, N'-1$$

OFDM-lohkosta vastaanotetut datasymbolit  $C_k$  syötetään tämän jälkeen rinnakkais-sarjamuuntimeen 442, jossa ne muunnetaan sarjamuotoiseksi dataksi 444.

Identtinen prosessi toistetaan lähettimessä 400 ja vastaanottimessa 430 kullakin OFDM-lohkolla (OFDM-symbolilla), jossa on  $N'$  lähetettävää datasymbolia.

Käyttämällä kohotetun kosinin funktiota pulssin muotoilemiseksi vähennetään käytettävissä olevien taajuuksien lukumäärää kertoimella  $\alpha$  verrattuna OFDM-järjestelmään, jossa ei ole pulssin muotoilua ja jolla on sama taajuuskaista, jolloin keksinnön mukainen menetelmä ja järjestelmä on joustava ja mahdollistaa vaihtoehtoisia suoritustuotoja, joissa käytetään eri pulssinmuotoilufunktioita. Esimerkiksi tunnettua kohotettua kosinifunktiota, tai aikadiskreettiä Hanning-funktiota, jossa  $B=1$  ja  $\alpha=2$ , voidaan käyttää keksinnön suoritustuodossa kuvioissa 4A ja 4B. Aikadiskreetti Hanning-funktio määritetään seuraavasti:

$$w_n = \frac{1 - \cos(2\pi n/N)}{2}$$

Käyttäen Hanning-funktiota pulssinmuotoilua varten vähennetään käytettävien apukantoaaltoaajuuksien lukumäärää kertoimen 2 verran. Kun rajatekijä  $B$  valitussa pulssinmuotoilufunktiossa



muuttuu arvosta 1 kohti arvoa 0, käytettävien taajuuksien lukumäärä lisääntyy kun toisaalta spektrin viivenopeus ja ISI-immuniteetti pienenee.

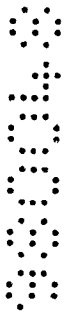
Valitsemalla tietty pulssinmuotoilufunktio käytettävien taajuuksien lukumäärää voidaan lisätä sovittamalla nopeus ja spektrivaimeneminen toisiinsa. Tietty käytetty pulssinmuotoilufunktio voidaan valita tietyn järjestelmän vaatimusten mukaisesti, jossa keksintöä käytetään. Esimerkiksi kuviot 3B ja 3C esittävät, että  $w_1(t)$ :n määräämällä pulssinmuotoilufunktiolla, jolla on rajatekijä B, joka on  $1/2$ , käytettävien taajuuksien lukumäärä pienenee kertoimen 1,5 verran verrattuna kertoimeen kaksi kun B on yhtä kuin yksi. Kuitenkin alhaisempi B-arvo aiheuttaa pienempää ISI-immuniteettia.

Vaikkakin esitetty suoritusmuoto käyttää kohotettua kosinifunktiota pulssinmuotoilufunktiona, myös muuntayyppisiä pulssinmuotoilufunktioita voidaan käyttää. Tärkeä seikka on, että osa pulssinmuotoilufunktion amplitudista on pienempi kuin sen maksimiampplitudi, niin että lähetetty aaltomuoto muotoillaan pulssinmuotoilulla.

Kuten todetaan yllä esitetystä keksintö aikaansaa menetelmän ja järjestelmän pulssin muotoilemiseksi datalähetyksessä OFDM-järjestelmässä. Keksinnön käyttö parantaa niiden OFDM-järjestelmien suorituskykyä, joihin sitä sovelletaan. Suoritus paranee koska symbolien välinen interferenssi (ISI) pienenee datasymbolien välillä, joka aiheutuu Doppler-hajaantumisesta. Suoritus paranee myös siitä syystä, että ISI pienenee OFDM-symbolien välillä eri aikajaksoilla, joka aiheutuu aikahajontavaikutuksista. Keksinnön käyttö pienentää myös kaistan ulkopuolista interferenssiä.

Pidetään oletettavana, että esillä olevan keksinnön toiminta ja rakenne selviää yllä olevasta selostuksesta, ja vaikkakin keksintöä on esitetty ja selitetty tiettynä suoritusmuotona, keksintöä voidaan muuttaa ja modifioida poikkeamatta keksinnön

hengestä ja seuraavien patenttivaatimusten määrittämästä  
suojapiiristä.



Patenttivaatimukset:

1. Menetelmä datan lähettämiseksi liikennekanavalla teleliikennejärjestelmässä, jossa liikennöintiä suoritetaan lähettimen ja vastaanottimen välillä useilla apukantoaalloilla liikennekanavalla järjestelmän kantoaallolla, t u n n e t t u siitä, että menetelmä käsittää vaiheet, joissa:

moduloidaan kukin useista datasymboleista yhdelle useista apukantoaalloista, useiden moduloitujen apukantoaaltojen generoimiseksi, jotka moduloidut apukantoaallot käsittävät ensimmäisen datasignaalin;

kerrotaan mainittu ensimmäinen datasignaali pulssinmuotoilu-aaltomuodolla toisen datasignaalin generoimiseksi, mainitun pulssinmuotoilu-aaltomuodon käsittäessä funktion, jolla on ainakin yksi ensimmäinen ja toinen amplitudi, jossa mainittu ensimmäinen amplitudi on suurempi kuin mainittu toinen amplitudi; ja

lähetetään mainittu toinen datasignaali mainitulla järjestelmän kantoaallolla.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainitulla järjestelmän kantoaallolla on taajuus  $f_C$  ja jossa mainittu modulointivaihe käsittää:

kunkin useista datasymboleista  $C_k$ , joilla on symbolijakso  $T$ , moduloinnin apukantoaallolle, jolla on taajuus  $f_k$ ,  $k=0, \dots, N'-1$ , jossa  $f_k=f_C+\alpha k/T$  ja  $\alpha$  on vakio, joka on suurempi kuin 1, mainittujen moduloitujen apukantoaaltojen käsittäessä mainitun ensimmäisen datasignaalin.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että se edelleen käsittää vaiheet, joissa:

vastaanotetaan kolmas datasignaali  $y(t)$  vastaanottimessa, mainitun kolmannen datasignaalin käsittäessä mainitun toisen datasignaalin kun tämä on lähetetty mainitulla järjestelmän kantoaallolla; ja

ilmaistaan datasymbolien  $C_k$ ,  $k=0, \dots, N'-1$  mainittu joukko mainituissa vastaanottimessa.

4. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu pulssin muotoileva aaltomuoto käsittää kohotetun kosinipulssin, jolla on ennalta määrätty rajatekijä.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu pulssin muotoileva aaltomuoto käsittää Hanning-funktion.

6. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu modulointivaihe käsittää:

N'-piste-käänteisen nopean Fourier-muunnoksen (IFFT) suorittamisen useille datasympoleille mainitun ensimmäisen datasihtnaalin generoimiseksi.

7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu kertomisvaihe käsittää:

mainitun ensimmäisen datasihtnaalin syklisen laajentamisen laajennetun datasihtnaalin generoimiseksi; ja

mainitun laajennetun datasihtnaalin kertomisen aikadiskreetillä pulssinmuotoilufunktiolla mainitun toisen datasihtnaalin generoimiseksi.

8. Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että se edelleen käsittää vaiheet, joissa:

vastaanotetaan kolmas datasihtnaali vastaanottimessa, mainitun kolmannen datasihtnaalin käsittäessä mainitun toisen datasihtnaalin kun tämä on lähetetty mainitulla liikennekanavalla;

yhdistetään mainittu kolmas datasihtnaali neljännen datasihtnaalin generoimiseksi; ja

suoritetaan N'-piste nopea Fourier-muunnos (FFT) mainitulle neljännelle datasihtnaalille datasympoleiden mainitun joukon generoimiseksi.

9. Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu pulssinmuotoilufunktio käsittää aikadis-

kreetin kohotetun kosinifunktion, jolla on ennalta määrätty rajatekijä.

10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu pulssinmuotoilufunktio käsittää aikadiskreetin Hanning-funktion.

11. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainituissa järjestelmässä kantoaallolla on taajuus  $f_C$ , ja että mainittu modulointivaihe käsittää:

$N'$ -piste-käänteisen nopean Fourier-muunnoksen (IFFT) suorittamisen mainituille datasymboleille, mainittujen datasymbolien käsittäessä useita symboleja  $C_k$ ,  $k=0, \dots, N'-1$ , joilla kullakin on symbolijakso  $T$  ensimmäisen datasisignaalin generoimiseksi, mainitun ensimmäisen datasisignaalin käsittäessä signaalin  $z_n$ , joka käsittää  $N'$  aikadiskreettiä arvoa, jotka kukin mainituista aikadiskreeteistä arvoista liittyy taajuuteen  $f_k$ ,  $k=0, \dots, N'-1$ , taajuusalueella, jossa  $f_k=f_C+\alpha k/T$  ja  $\alpha$  on vakio, joka on suurempi kuin yksi.

12. Patenttivaatimuksen 11 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu kertomisvaihe käsittää:

mainitun ensimmäisen datasisignaalin  $z_n$  laajentamisen syklisti yli mainitun symbolijakson  $T$  laajennetun datasisignaalin  $a_n$  generoimiseksi, joka käsittää  $N$  aikadiskreettiä arvoa; ja

mainitun laajennetun datasisignaalin  $a_n$  kertominen aikadiskreetillä pulssinmuotoilufunktiolla  $w_n=w_0, w_1, \dots, w_{N-1}$ , yli mainitun jakson  $T$  mainitun toisen datasisignaalin  $x_n=w_n a_n$ ,  $n=0, \dots, N-1$ , generoimiseksi, jolla mainitulla pulssinmuotoilufunktiolla on ensimmäinen amplitudi  $w_{n1}$ , ja toinen amplitudi  $w_{n2}$ , jossa mainittu ensimmäinen amplitudi on suurempi kuin mainittu toinen amplitudi.

13. Patenttivaatimuksen 12 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että se edelleen käsittää vaiheet, joissa:

vastaanotetaan kolmas datasisignali  $b_n$  vastaanottimessa, mainitun kolmannen datasisignaalin käsittäessä mainitun toisen

datasignaalin  $x_n$  kun tämä on lähetetty mainitulla liikennekanavalla;

yhdistetään mainittu kolmas datasignaali  $b_n$  mainitulla symbolijaksolla  $T$  neljännen datasignaalin  $y_n$  generoimiseksi, joka käsittää  $N'$  aikadiskreettejä arvoja; ja

suoritetaan  $N'$ -piste nopea Fourier-muunnos (FFT) mainitulle neljännelle datasignaalille  $y_n$  datasympoleiden mainitun joukon  $c_k$ ,  $k=0, \dots, N'-1$ , generoimiseksi.

14. Patenttivaatimuksen 12 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu pulssinmuotoilufunktio  $w_n$  käsittää aikadiskreetin kohotetun kosinifunktion, jolla on ennalta määrätty rajatekijä.

15. Patenttivaatimuksen 14 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu pulssinmuotoilufunktio  $w_n$  käsittää aikadiskreetin Hanning-funktion.

16. Laite datan lähettämiseksi teleliikennejärjestelmässä, jossa liikennöinti lähettimen ja vastaanottimen välillä suoritetaan useilla apukantoaalloilla liikennekanavassa järjestelmän kantoaallolla, t u n n e t t u siitä, että laite käsittää:

käänteisen nopean Fourier-muunnospäiriin (IFFT) IFFT-muunnoksen suorittamiseksi useille datasympoleille ja ensimmäisen datasignaalin generoimiseksi;

kertojan mainitun ensimmäisen datasignaalin kertomiseksi pulssinmuotoilufunktiolla aika-alueella toisen datasignaalin generoimiseksi, pulssinmuotoilufunktion käsittäessä kohotetun kosinipulssin, jolla on ennalta määrätty raja-arvo; ja

lähettimen mainitun toisen datasignaalin lähettämiseksi mainitulla liikennekanavalla.

17. Patenttivaatimuksen 16 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että mainittu kertoja käsittää:

syklisen laajennuspiiriin ensimmäisen datasignaalin sykli-seksi laajentamiseksi laajennetun signaalin generoimiseksi; ja

kertojan mainitun laajennetun datasihtnaalin kertomiseksi pulssinmuotoilufunktiolla aika-alueella mainitun toisen datasihtnaalin generoimiseksi.

18. Patenttivaatimuksen 16 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että mainitut useat datasyhtbolit käsittävät ensimmäiset useat datasyhtbolit, ja mainittu laite edelleen käsittää:

sarja-rinnakkaismuuntimen sarjamuotoisen digitaalisen datajonon muuntamiseksi mainituiksi ensimmäisiksi useiksi datasyhtboleiksi.

19. Patenttivaatimuksen 16 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että mainitut useat datasyhtbolit käsittävät useita datasyhtboleja  $C_k$ ,  $k=0, \dots, N'-1$ , joilla kullakin on syhtbolijakso  $T$ , ja mainittu ensimmäinen datasihtnaali käsittää signaalin  $z_n$ , joka käsittää  $N'$  aikadiskreettiä arvoa, jotka kukin mainituista aikadiskreetteistä arvoista liittyy taajuuteen  $f_k$ ,  $k=0, \dots, N'-1$ , taajuusalueella, jossa  $f_k=f_c+\alpha k/T$  ja  $\alpha$  on vakio, joka on suurempi kuin yksi.

20. Patenttivaatimuksen 19 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että mainittu kertoja käsittää:

syklisen laajennuspiirin mainitun ensimmäisen datasihtnaalin  $z_n$  sykliseksi laajentamiseksi laajennetun datasihtnaalin  $a_n$ , joka käsittää  $N$  diskreettiä aika-arvoa, generoimiseksi; ja

kertojan mainitun laajennetun datasihtnaalin  $a_n$  kertomiseksi pulssinmuotoilufunktiolla aika-alueella mainitun jakson  $T$  aikana mainitun toisen datasihtnaalin generoimiseksi.

21. Patenttivaatimuksen 20 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että mainitu kertoja käsittää kertojan mainitun laajennetun signaalin  $a_n$  kertomiseksi pulssinmuotoilufunktiolla  $w_n=w_0, w_1, \dots, w_n$ , yli mainitun jakson  $T$  mainitun toisen datasihtnaalin generoimiseksi, mainitun toisen datasihtnaalin käsittäessä signaalin  $x_n=w_n a_n$ ,  $n=0, \dots, N-1$ , ja jolla mainitulla pulssinmuotoilufunktiolla on ainakin ensimmäinen

amplitudi  $w_{n1}$ , ja toinen amplitudi  $w_{n2}$ , jossa mainittu ensimmäinen amplitudi on suurempi kuin mainittu toinen amplitudi.

22. Patenttivaatimuksen 21 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että mainittu kertoja käsittää useita kertoja, joista kukin kertoja on sovitettu kertomaan mainitun laajennetun signaalin arvo  $a_n$  vastaavalla arvolla  $w_n$  aika-alueella mainitun toisen datasiignaalin generoimiseksi.

23. Patenttivaatimuksen 21 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että mainittu pulssin muotoileva funktio käsittää aikadiskreetin kohotetun kosinipulssin.

24. Patenttivaatimuksen 23 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että mainittu pulssin muotoileva funktio käsittää Hanning-funktion.

25. Laite datan vastaanottamiseksi teleliikennejärjestelmässä, jossa liikennöintiä lähettimen ja vastaanottimen välillä suoritetaan useilla apukantoaalloilla liikennekanavalla järjestelmän kantoaallolla, jolla on taajuus  $f_c$ , t u n n e t t u siitä, että mainittu laite käsittää:

vastaanottimen ensimmäisen datasiignaalin vastaanottamiseksi, joka datasiignaali on lähetetty mainitulla liikennekanavalla ja toisen datasiignaalin  $b_n$  aikaansaamiseksi, joka datasiignaali käsittää  $N$  diskreettiä aika-arvoa;

yhdistinpiirin mainitun toisen datasiignaalin  $b_n$  yhdistämiseksi yhdistetyn signaalin  $y_n$  generoimiseksi, joka signaali käsittää  $N$  diskreettiä aika-arvoa: ja

nopean Fourier-muunnos- (FFT) piirin FFT:n suorittamiseksi mainitulle yhdistetylle signaalille  $y_n$  ja useiden datasiignaalien  $C_k$ ,  $k_0, \dots, N'-1$  generoimiseksi, jokaisen mainitun  $y_n$ :n aikadiskreetin arvon liittyessä mainittuun FFT:hen, jonka taajuus on  $f_k = f_c + \alpha k/T$  ja  $\alpha$  on vakio, joka on suurempi kuin yksi.



26. Patenttivaatimuksen 25 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että mainittu vastaanotin käsittää vastaanottimen mainitun ensimmäisen datasiignaalin vastaanottamiseksi ja sarja-rinnakkaismuuntimen mainitun ensimmäisen datasiignaalin muuntamiseksi mainituksi toiseksi datasiignaaliksi.

27. Patenttivaatimuksen 25 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että se edelleen käsittää rinnakkais-sarjamuuntimen mainittujen useiden datasympoolien muuntamiseksi sarjadataksi.

28. Menetelmä datan lähettämiseksi liikennekanavalla teleliikennejärjestelmässä, jossa liikennöintiä harjoitetaan lähettimen ja vastaanottimen välillä useilla apukantoaalloilla liikennekanavalla järjestelmän kantoaallolla, jolla on taajuus  $f_C$ , t u n n e t t u siitä, että mainittu menetelmä käsittää vaiheet, joissa:

moduloidaan jokainen useista datasympoleista  $C_k$ , joilla on symbolijakso  $T$ , alikantoaallolle, jolla on taajuus  $f_k$ , jossa  $k=0, \dots, N'-1$ , jossa  $f_k=f_C+\alpha k/T$  ja  $\alpha$  on vakio, joka on suurempi kuin yksi, useiden moduloitujen alikantoaaltojen generoimiseksi mainittujen moduloitujen alikantoaaltojen käsittäessä ensimmäisen datasiignaalin;

kerrotaan mainittu ensimmäinen datasiignaali pulssinmuotoilu-aaltomuodolla toisen datasiignaalin generoimiseksi mainitun pulssinmuotoilu-aaltomuodon käsittäessä funktion, jolla on ainakin yksi ensimmäinen ja toinen amplitudi, jossa mainittu ensimmäinen amplitudi on suurempi kuin mainittu toinen amplitudi; ja

lähetetään mainittu toinen datasiignaali mainitulla järjestelmän kantoaallolla.

FIG. 1

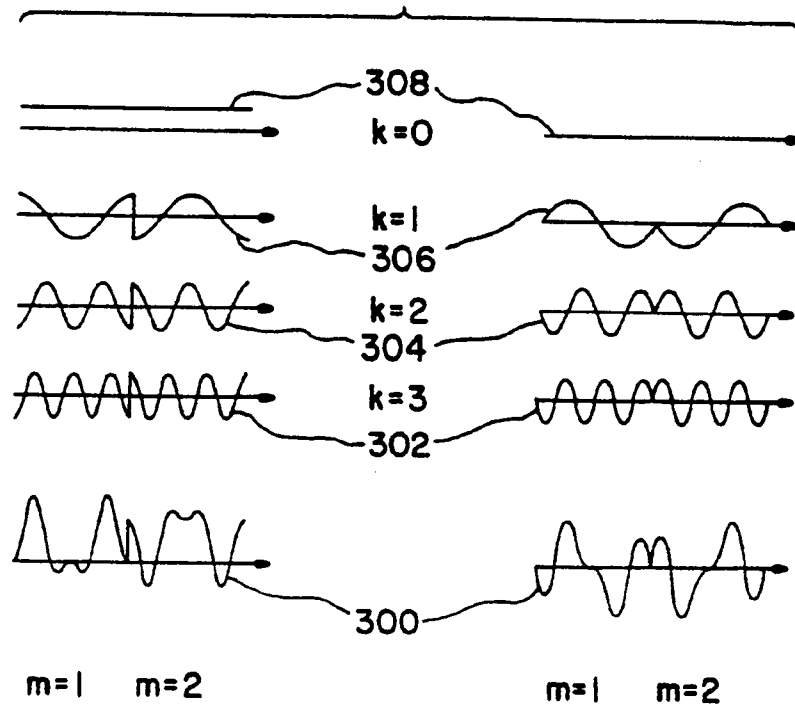


FIG. 2

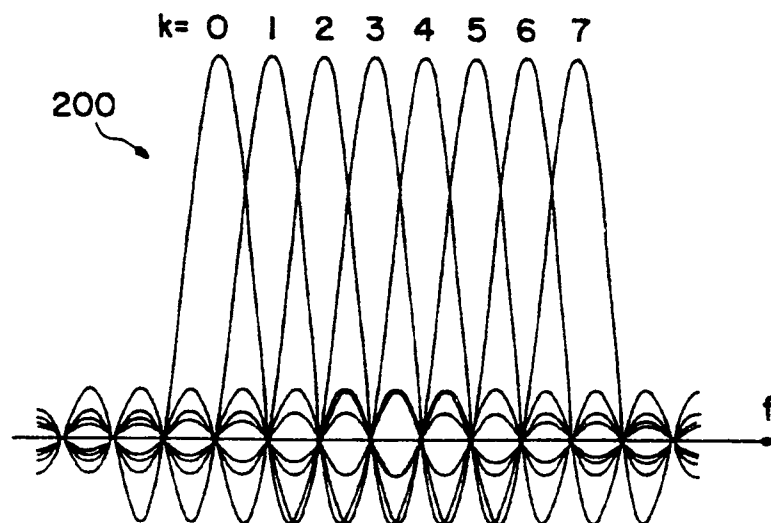


FIG.3A

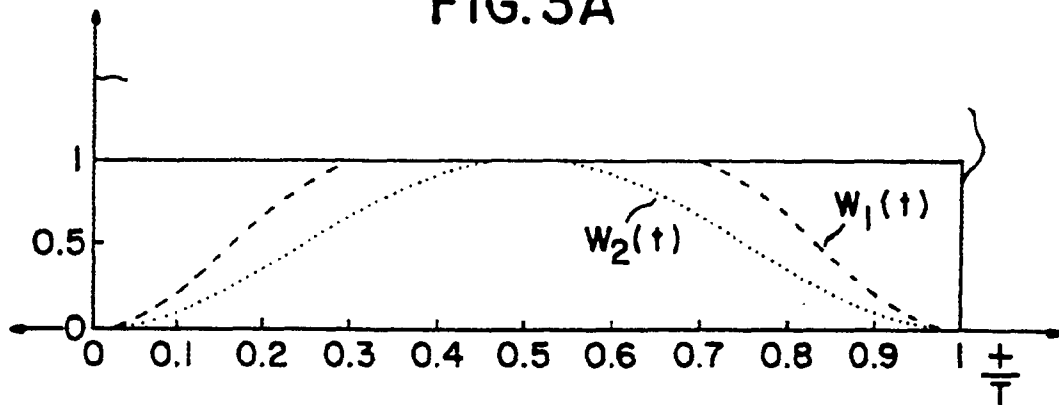


FIG.3B

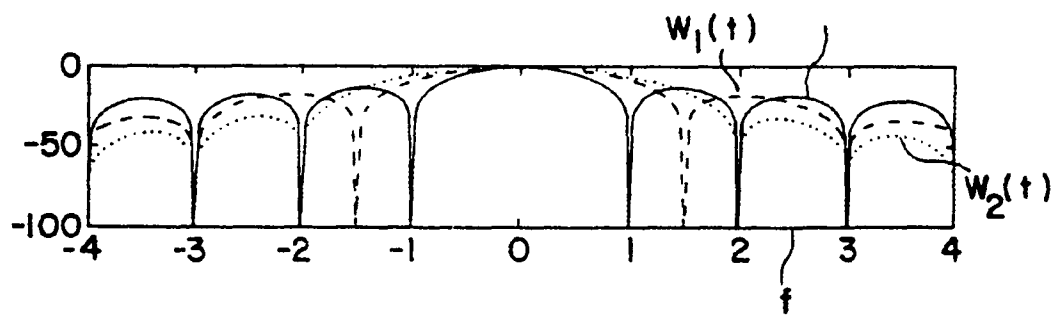


FIG.3C

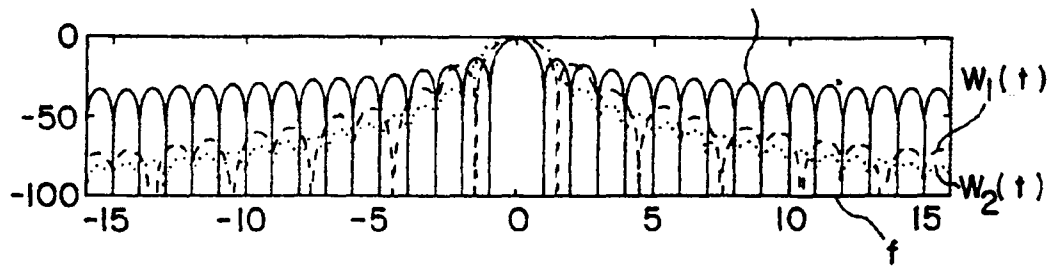
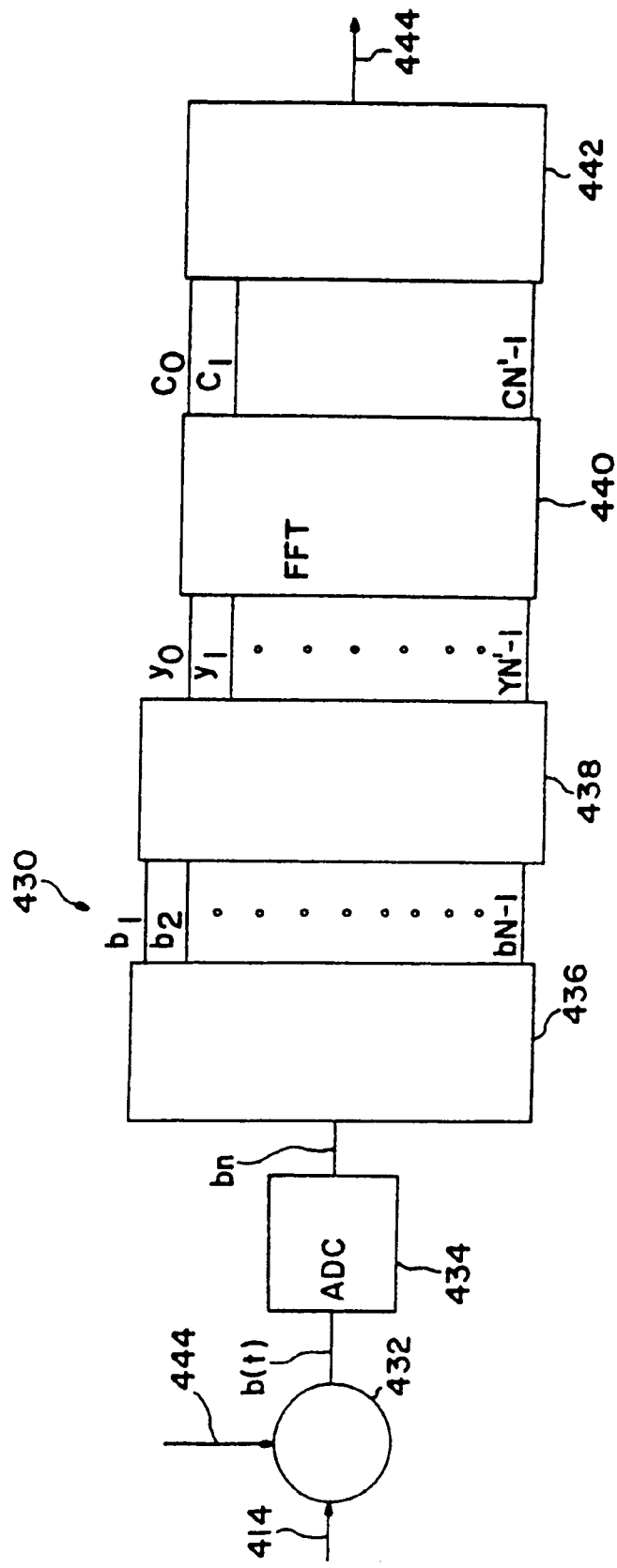
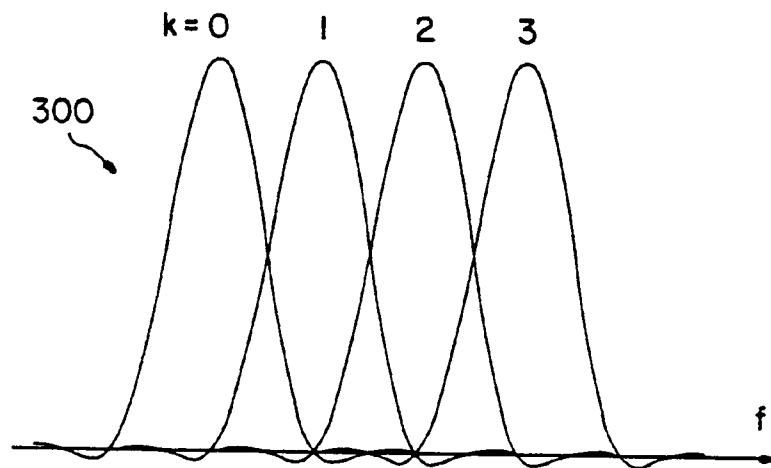




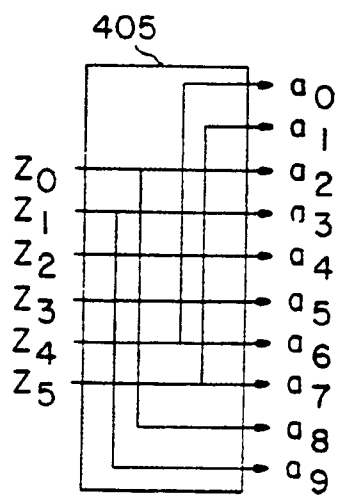
FIG. 4B



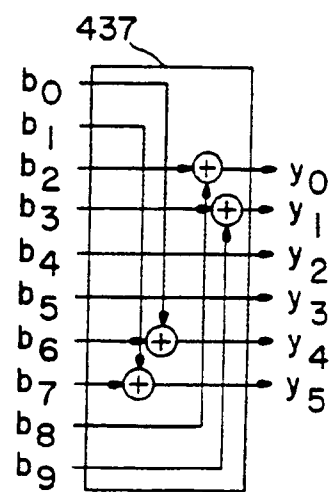
# FIG. 5



# FIG. 6A



# FIG. 6B



**PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS**

Patentti- ja innovaatiolinja

PL 1160

00101 Helsinki

**TUTKIMUSRAPORTTI**

|                                      |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>PATENTTIHAKEMUS NRO</b><br>980048 | <b>LUOKITUS, IPC7</b><br>H04L 27/26 |
|--------------------------------------|-------------------------------------|

**TUTKITUT PATENTTILOUKAT (luokitusjärjestelmät ja luokkatiedot)****TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT TIETOKANNAT**  
EPODOC**VIITEJULKAISUT**

| Kategoria*) | Julkaisun tunnistetiedot ja tiedot sen olennaisista kohdista                                                                                      | Koskee vaatimuksia |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| X           | EP A1 0441732 H04L 5/02 14.08.1991 ETAT;<br>mm. tiivistelmä, kuvat 2-5 (koko dokumentti)                                                          | 1-28               |
| X           | "Optimal finite duration pulses for OFDM", Wahlin A., Holte N.;<br>Globecom 94 San Francisco, Nov. 28 - Dec. 2, 1994 vol.1 IEEE,<br>sivut 258-262 | 1-28               |
| A           | US A 4783754 G01L 1/06 08.11.1988 Motorola, Inc.<br>mm. tiivistelmä                                                                               | 1-28               |

Jatkuu seuraavalla sivulla

☐

\*) X Julkaisu, jonka perusteella keksintö ei ole uusi tai ei eroa olennaisesti ennestään tunnetusta tekniikasta.  
Y Julkaisu, jonka perusteella keksintö ei eroa olennaisesti ennestään tunnetusta tekniikasta, kun otetaan huomioon tämä ja yksi tai useampi samaan kategoriaan kuuluva julkaisu yhdessä.  
A Yleistä tekniikan tasoa edustava julkaisu.

O Tullut julkiseksi esitelmän välityksellä, hyväksikäyttämällä tai muutoin muun kuin kirjoituksen avulla.  
P Julkaistu ennen hakemuksen tekemispäivää mutta ei ennen aikaisinta etuoikeuspäivää.  
T Julkaistu hakemuksen tekemispäivän tai etuoikeuspäivän jälkeen ja valaisee keksinnön periaatetta tai teoreettista taustaa.  
E Aikaisempi suomalainen tai Suomea koskeva patentti- tai hyödyllisyysmallihakemus, joka on tullut julkiseksi hakemuksen tekemispäivänä (etuoikeuspäivänä) tai sen jälkeen.  
D Julkaisu, joka on mainittu hakemuksessa.  
L Julkaisu, joka kyseenalaistaa etuoikeuden, osoittaa toisen julkaisun julkaisupäivämäärän tai johon viitataan jostakin muusta syystä.  
& Samaa patenttiperheeseen kuuluva julkaisu.

Lisätietoja liitteessä

☐**Päiväys**  
15.09.2003**Tutkijainsinööri**  
Jorma Ristola