

(19)



SUOMI - FINLAND

(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN
FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 972778 A7**

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

(21) Patentihakemus - Patentansökan - Patent application 972778

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation -
International patent classification
H04B 3/23
H04M 9/08

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date 27.06.1997

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date 27.06.1997

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public 29.12.1997

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date 13.06.2019

(32) (33) (31) Etu oikeus - Prioritet - Priority

28.06.1996 US 671869

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 • Mitel Corporation, 350 Legget Drive, P.O. Box 13089, Ontario K2K 2X7, KANADA, (CA)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • Wong, Kon Max, Ontario L9H 6K4, KANADA, (CA)

2 • Jin, Qu, Ontario K2L 2W3, KANADA, (CA)

3 • Wu, Qiang, Covallis, OR 97333, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

4 • Wu, Philippe, Nepean, Ontario K2G 4L2, KANADA, (CA)

5 • Reesor, Gordon J., Russell, Ontario K4R 1A9, KANADA, (CA)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Berggren Oy Ab, Antinkatu 3 C, 00100 Helsinki

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

Alikaistoihin perustuva kaiunpoistaja, joka käyttää optimaalisia aaltopaketteja ja kaistojen välistä kaiunpoistoa
Underbandbaserad ekodämpare som använder optimala vågpaket och korsbanddämpning

(57) Tiivistelmä - Sammandrag - Abstract

Kaiun kumoaja käsittää ensimmäisen alkioaallon avulla toimivan jakamislohkon (25), jolla referenssisignaali (u(n)) jaetaan referenssi-alkioaaltopakettien joukoksi; toisen alkioaallon avulla toimivan jakamislohkon (21), jolla mainitun referenssisignaalin kaikusignaali (x(n)) jaetaan kaiun alkioaaltopakettien joukoksi; adaptiivisen suodatinryhmän (23), jolla vastaanotetaan ja suodatetaan mainitut referenssi-alkioaaltopaketit, ja joka vasteena muodostaa suodatettujen alkioaaltopakettien joukon, jotka kahdentavat mainitut kaiun alkioaaltopaketit; joukon vähentäjiä (26), joilla kulloinkin vastaanotetaan ja vähennetään yksi mainituista suodatetuista alkioaaltopaketeista mainitusta kaiun alkioaaltopakettien joukosta, ja jotka vasteena muodostavat virhesignaalin joukon, joka johdetaan mainitulle adaptiiviselle suodatinryhmälle (23) mainitun adaptiivisen suodatinryhmän siirtofunktion muuttamiseksi; ja alkioaallon avulla toimivan kokoamislohkon (27), jolla vastaanotetaan ja kootaan mainittujen virhesignaalin joukko jäännössignaalin (e(n)) muodostamiseksi, josta mainittu kaikusignaali on kumottu. Aikaansaadaan optimaaliset alkioaalto-suodattimet parasta kaiun kumoamista varten, samoin kuin kaksi alkioaaltoa käyttävää kaiun kumoamisrakennetta. Kuva 2

En ekoeliminators omfattar ett första uppdelningsblock (25) som använder elementärvågor för att dela upp en referenssignal (u(n)) i ett flertal paket av referenselementärvågor; ett andra uppdelningsblock (21) som använder elementärvågor för att dela upp en ekosignal (x(n)) i ett flertal ekosignalspaket; en grupp av adaptiva filter (23) för mottagning och filtrering av referenselementärvågornas paket och som gensvar genererar ett flertal filtrerade utgångspaket som kopierar ekosignalspaketen; ett flertal subtraktorer (26) för mottagning och subtrahering av ett respektive filtrerat utgångspaket från ett ekosignalspaket och för att som gensvar generera ett flertal felsignaler som leds till gruppen av adaptiva filter (23) för att modifiera överföringsfunktionen hos gruppen av adaptiva filter; och ett rekonstruktionsblock (27) som använder elementärvågor för mottagning och rekonstruktion av felsignalerna för att bilda en restsignal (e(n)) från vilken ekosignalen har eliminerats. Man åstadkommer optimala filter som använder elementärvågor för den bästa ekoelimineringen, och likaså två ekoelimineringsstrukturer som använder elementärvågor.

Osakaistoilla toimiva kaiunkumoaja, jossa käytetään optimaalisen alkioaallon paketteja ja kaistat ylittävää kumoamista - Ekoeliminator som fungerar på delband och använder paket av optimala elementärvågor och ekoeliminering över delbanden

- 5 Tämä keksintö liittyy yleisesti kaiun kumoamiseen telesovellutuksissa, ja erityisesti optimaalisen alkioaallon käyttämiseen akustisten puhesignaalien kaiun kumoamisen maksimoimiseen käyttämällä jakamista alkioaallon avulla, sekä uuteen menetelmään kaistat ylittävää kumoamista varten, jolla edelleen lisätään kaiun kumoamisen tehokkuutta käyttämällä jakamista alkioaallon avulla.
- 10 Kaiun kumoamista on laajasti käytetty telesovellutuksissa monien erilaatuisten signaalien, kuten puhe-, datasiirto- ja videosignaalien korjaamiseksi. Matemaattisten algoritmien hakeminen kaiun kumoamisen toteuttamiseksi on tuottanut monia erilaisia lähestymistapoja, joilla on eriaisteiset laskentatarpeet, kustannukset ja suorituskyyvyt. Eräs tavallinen lähestymistapa, joka tunnetaan osakaistojen käsittelynä, sisältää puhesignaalin jakamisen taajuuskaistoiksi ja jokaisen kaistan erillisen käsittelyn. Tästä on joitakin ominaisuuksia, joista merkittävin on pienempi laskentatarve ja suurempi muunnosnopeus kuin useimmissa muissa lähestymistavoissa, vaikka käytännön ongelmat ovatkin aiemmin vaikeuttaneet sen käyttöä kaiun kumoamiseen.
- 20 Viime vuosina signaalien jakamiseksi "osakaistoihin" on kehitetty uusi menetelmä, jota sanotaan jakamiseksi ja kokoamiseksi alkioaallon avulla. Jakaminen alkioaallon avulla on prosessi, jossa kaista jaetaan osiin ja jossa tehdään signaalin "alinäytteistys" (eli prosessi, jossa näytteenottotaajuutta pienennetään) "alkioaaltopaketeiksi". Kokoaminen alkioaaltojen avulla on prosessi, jossa tehdään "ylinäytteistys" (eli prosessi, jossa signaalin näytteenottotaajuutta nostetaan - tavallisesti lisäämällä nollija ja suorittamalla anti-aliasing -suodatus) ja kokoamalla "alkioaaltopaketit" alkuperäisen signaalin uudelleen muodostamiseksi. Kun jakaminen ja kokoaminen tehdään alkioaallon avulla voidaan alkuperäinen signaali kokoamisen jälkeen muodostaa uudelleen ilman vääristymiä ja heikkenemistä. Tämä menetelmä on tullut suosituksi monia erilaisia signaalinkäsittelyn sovellutuksia varten. Alkioaallon avulla tapahtuvan jakamisen ja kokoamisen soveltaminen kaiun kumoamisongelmaan on tähän saakka epäonnistunut syistä, joita tarkastellaan yksityiskohtaisemmin alla.

Eräissä sovellutuksissa, kuten akustisen puheen kaikujen kumoamisessa, kaiku voi olla äärimmäisen pitkä, suuruusluokkaa 100 ms - 500 ms. Perinteinen lähestymistä-

pa kaiun kumoamiseksi käyttää hyväksi adaptiivista poikittaissuodatinta, jonka pituus on M , jolloin M on yhtä suuri kuin näytteiden lukumäärä, jotka tarvitaan kaiun pituuden kattamiseksi. Sellaisen suodattimen toteuttamiseksi tarvittava laskenta on LMS-algoritmien (LMS: least mean squares; pienin keskineliö) ryhmällä verrannollinen lukuun $2M$, ja RLS-algoritmien (RLS: recursive least squares; rekursiivinen keskineliö) osalta verrannollinen lukuun M^2 tai suurempi. Voimakkaammat algoritmit (joista RLS on eräs esimerkki) ovat parantaneet konvergenssiominaisuuksia tekniikan tason algoritmeihin verrattuna, mutta niiden laskentakuorma kasvaa dramaattisesti luvun M kasvaessa. Lisäksi konvergenssiaika kasvaa lukuun M verrannollisesti useimpien algoritmien osalta. Nopea konvergenssi on tärkeä kriteeri kaiun kumoamisessa, erityisesti akustisen puheen kaiun kumoamisessa, koska kaikutie voi olla jatkuvasti muuttuva ihmisten ja esineiden liikkeessa ympäristössään. Tekniikan tason kaiun kumoajilla, joissa käytetään adaptiivisia poikittaissuodattimia, jotka pystyvät kumoamaan kaikusignaalin jonka pituus on 500 ms tai enemmän, on havaittu olevan ongelmia liian suuren laskentatarpeen muodossa ja konvergoitinopeuden osalta.

Osakaistakäsittelyä on pidetty houkuttelevana vaihtoehtona yhden adaptiivisen poikittaissuodattimen käyttämiselle akustisen puheen kaiun kumoamiseen, koska se pienentää laskentatarvetta. Kun signaali jaetaan N osakaistaksi, yhden suodattimen sijasta on käytettävä suodatinryhmää, jossa on N adaptiivista suodatinta. Osakaistaisignaalit voidaan kuitenkin alinäytteistää kertoimella N . Vastaavasti suodattimen lähdöt on laskettava vain $1/N$ -kertaisella taajuudella. Lisäksi suodattimien pituutta sinänsä voidaan pienentää arvosta M arvoon M/N . Tämän kokonaisvaikutuksena laskentatarve pienenee, ollen LMS-tyyppisillä adaptiivisilla suodattimilla suuruusluokkaa $2M/N$, ja samalla myös konvergenssikäyttäytyminen paranee lyhyempien LMS-suodattimien käytöstä johtuen. Voidaan nähdä, että kun M on suuri, laskentakuormituksessa tapahtuu merkittävä pieneneminen, jonka ansiosta suodatinryhmien toteuttamiseksi tarvittavat yleiskulut käyvät merkityksettömiksi.

Ongelmana suodatinryhmien käyttämisessä osakaistakäsittelyyn on se, että siirtymien kaistojen välillä tekee mahdottomaksi eristää kaistat jokaisesta viereisestä kaistasta käyttämättä "ihanteellisia" kaistanpäästösuodattimia (eli suodattimia, joilla on äärettömän jyrkkä rajataajuus). Tunnetulla tavalla on tehtävä kompromisseja kaiun kumoamisen määrän, suodattimen rajataajuuden, suodatinryhmän viivevääristymän, ja osakaistojen uudelleen muodostettavuuden välillä, kun osakaistat kootaan alun perin syötetyn signaalin muodostamiseksi uudelleen ilman vääristymää. Suodatin-tyyppi, joka tunnetaan nimellä QMF (Quadrature Mirror Filter), tarjoaa suodatin-

ryhmän suunnittelua varten erään menetelmän, jota aikaisemmin on käytetty pyrittäessä näiden ongelmien voittamiseen. QMF on suodatintyyppi, joka on suunniteltu jakamaan signaalin osakaistoiksi, ja sitten yhdistämään kaistat ilman signaalin vääristymää. QMF-suodattimen käyttö kaiun kumoamiseen sisältää myös ongelmia, jotka liittyvät vierastumisilmiön aiheuttamaan vääristymään, jota yksityiskohtaisemmin tarkastellaan alla.

Jakaminen ja kokoaminen alkioaallon avulla mahdollistaa sen, että näytteistetty datasignaali jaetaan erillisiksi "alkioaaltopaketeiksi" kaiun kumoamista varten, ja sen jälkeen alkuperäinen signaali kootaan uudelleen ilman lisättyä vääristymää tai signaalin heikkenemistä. Itse asiassa alkuperäinen signaali voidaan koota täydellisesti.

Eräänä ongelmana kaiun kumoamisessa alkioaallon avulla tapahtuvaa jakamista käytettäessä on se, kuten edellä mainittiin, että alinäytteistysprosessi muodostaa alkioaaltopaketteihin vääristymää vierastumisilmiön takia. Tämä ilmiö aiheuttaa sen, että kaikukanava on ajallisesti vaihteleva, joka rikkoo lähtökohtana olevan oletuksen ajallisesti muuttumattomasta kanavasta, jota vaaditaan jotta voitaisiin soveltaa tunnettuja adaptiivisen suodatuksen menetelmiä puhekaiun kumoamiseen. Kaikukanavan on oltava sekä lineaarinen että ajallisesti muuttumaton. Kaikukanavan ollessa ajallisesti muuttuva alkioaaltopakettien mahdollinen käsittely rikkoo kaiun kumoamisprosessin niin, että siitä seuraa signaalin vääristymistä. Tämä rajoittaa mahdollista kaiun kumoamisen kokonaismäärää, kun käytetään alkioaallon avulla tapahtuvaa jakamisen ja kokoamisen menetelmää.

Esillä olevan keksinnön mukaan on kehitetty "optimaalinen" alkioaalto siten, että jakaminen ja kokoaminen alkioaallon avulla puhekaiun kumoamiseksi on optimaalista. Jakamis/kokoamisprosessi toteutetaan FIR-suodattimia käyttäen, joiden suodatinkertoimet johdetaan tästä "optimaalisesta" alkioaallost. Edullisen suoritusmuodon mukaan aikaansaadaan "kaistat ylittävä" kumoamismenetelmä niin, että alkioaaltopakettien käsittelystä johtuva viereisten kaistojen välinen vääristymä pienenee. Tämä johtaa kaiun kumoamiseen paremmalla tasolla kuin tekniikan tason järjestelmissä.

Alla esitetään edullisen suoritusmuodon yksityiskohtainen selitys oheisiin piirustuksiin viitaten, joissa:

kuvassa 1 on kaaviollinen esitys kaiun syntymisestä kaiutintoimintaa käyttävässä puhelin- tai neuvottelupuhelujärjestelmässä, sekä tekniikan tason lähestymistavasta sellaisen kaiun kumoamiseksi;

kuvassa 2 on esillä olevan keksinnön mukaisen osakaistoilla toimivan kaiun kumoajan lohkokaavio sen laajimmassa mielessä;

kuvassa 3 on esitetty kolmitasoinen jakaminen alkioaallon avulla, jolloin tulosaali jaetaan kahdeksaksi alkioaaltopaketiksi esillä olevan keksinnön mukaisesti;

- 5 kuvassa 4 on esitetty kuvan 3 mukaan pituuden $N = 20$ omaavia FIR-suodattimia käyttäen jaetun optimaalisen alkioaallon taajuusvaste;

kuva 5 esittää adaptiivisen suodatinrakenteen käytettäväksi esillä olevan keksinnön kaiun kumoajassa, jolloin kuvassa 5A on sen lohkokaavio ja kuva 5B esittää sen poikittaissuodatinkomponentin yksityiskohtaisen rakenteen;

- 10 kuva 6 esittää esillä olevan keksinnön mukaisen adaptiivisten suodattimien ryhmän;

kuvassa 7 on kaavioesitys kolmitasoisesta signaalin kokoamisesta, jossa signaali kootaan kahdeksasta alkioaaltopaketista esillä olevan keksinnön mukaan;

kuvassa 8 on edullisen suoritusmuodon mukaisen kaistat ylittävää kumoamista käyttävän kaiun kumoajan lohkokaavio;

- 15 kuva 9 esittää adaptiivisen suodatinryhmän rakenteen kuvan 8 kaistat ylittävää kumoamista käyttävän kaiun kumoajaa varten;

kuva 10 esittää vaihtoehtoisen adaptiivisen suodatinryhmän rakenteen kuvan 8 kaistat ylittävää kumoamista käyttävän kaiun kumoajaa varten;

- 20 kuva 11 esittää simuloitua koetulokset käyttäessä edullisen suoritusmuodon mukaan kaista kaistat ylittävää kumoamista käyttävän kaiun kumoajaa; ja

kuva 12 esittää kaiun kumoajan todelliset koetulokset, jotka on saatu puhelimen kaikkanaavalta käytettäessä edullisen suoritusmuodon mukaan kaista kaistat ylittävää kumoamista käyttävän kaiun kumoajaa.

- 25 Kuva 1 esittää miten kaikuongelmia voi syntyä kaiutintoimintaa käyttävissä puhelin- tai neuvottelupuhelujärjestelmissä, sekä perinteisen lähestymistavan kaiun kumoamiseksi. Etäällä olevan osapuolen puhesignaali kaiutetaan kaiuttimen 1 kautta. Sen jälkeen tämä signaali heijastuu kaiutinpuhelimen ympäristössä olevista seinistä, huonekaluista, jne, ja vastaanotetaan mikrofonilla 3. Vakiintuneen kaiun kumoamismenetelyn mukaan käytetään digitaalista signaaliprosessoria (DSP) 5 muodostamaan kaikusignaalin kopio, joka vähennetään mikrofonin signaalista (eli kaiun
- 30

siirtofunktiota mallinnetaan adaptiivisella suodattimella). Kaiutinsignaali muodostaa referenssisignaalin DSP:n 5 adaptiiviselle suodatintulolle, ja kun kaiun kopio on vähennetty kaikusignaalista (eli tässä tapauksessa mikrofonitulosta), tuloksena oleva signaali sisältää virhesignaalin, joka ilmaistaan DSP:llä 5 ja jota käytetään kaiun siirtofunktion mallin muuttamiseksi.

Siirrytään kuvaan 2, jossa on esitetty osakaistoilla toimivan kaiun kumoajan esillä olevan keksinnön mukainen lähestymistapa. Käytössä kaikusignaali $x(n)$ jaetaan useaksi "osakaistaksi" tai "alkioaaltopaketiksi" lohkokolla 21, joka toimii jakamalla alkioaallon avulla. Siihen on järjestetty adaptiivinen suodatinryhmä 23, joka käsittää 10 joukon adaptiivisia suodattimia, yhden jokaista "osakaistaa" tai "alkioaaltopakettia" varten. Referenssisignaali $u(n)$ jaetaan osakaistoiksi alkioaalloiksi jakamisen lohkokolla 25. Kaiun kumoaminen tehdään erikseen jokaista osakaistaa varten käyttäen useita vähentäjiä 26 (kuvassa 2 vähentäjien joukkoa edustaa yksi summauslohko esityksen helpottamiseksi). Vähennyslaskun tulokset ovat virhesignaaleja, jotka 15 syötetään takaisin adaptiivisille suodattimille 23. Virhesignaalit (jotka sisältävät mahdolliset kaikuun kuulumattomat signaalit, jotka lähtevät kaiutinpuhelimen ympäristöstä) kootaan kokoamislohkokolla 27 alkioaallon avulla, niin että muodostuu jäännössignaali $e(n)$, josta kaiku on poistettu.

Kuvassa 2 jakaminen ja kokoaminen on esitetty kahdeksan alkioaaltopaketin osalta, 20 vaikka keksintöä voidaan soveltaa käyttäen suurempaa tai pienempää alkioaaltopakettien lukumäärää. Esillä olevan keksinnön mukaan alkioaallot lisäksi optimoidaan valitsemalla määrätyt kertoimet FIR-suodattimia varten kaiun kumoamisen maksimoimiseksi, kuten alla yksityiskohtaisemmin selitetään.

Kuvassa 3 on esitetty kolmitasoinen jakaminen alkioaallon avulla, jolloin tulosisignaali (esimerkiksi referenssisignaali $u(n)$ tai kaikusignaali $x(n)$ kuvassa 2) jaetaan 25 kahdeksaksi alkioaaltopaketiksi (eli osakaistasignaaliksi). Ensimmäisellä tasolla tulosisignaali yhdistetään "isä"-alkioaaltoon $h_1(n)$ ja "äiti"-alkioaaltoon $h_2(n)$. Tämä jakaa signaalin kahdeksi erilliseksi "paketiksi". Tämä yhdistäminen tehdään käyttäen FIR-suodattimia, joiden pituus on N ja joiden kertoimet vastaavat alkioaaltoja. 30 Eräässä suoritusmuodossa $N = 20$. Sen jälkeen tuloksena olevat signaalit "alinäyteistetään" kertoimella 2, eli prosessissa, jossa joka toinen näyte jätetään huomiotta, jolloin välitetyt datan määrä pienenee kertoimella 2. Tässä on huomattava, että käsillä oleva selitys on käsitteellinen eikä kirjaimellinen, jotta selvästi selitettäisiin keksinnön perustana olevia periaatteita. Itse asiassa todellisessa toteutuksessa ei laskettaisi FIR-suodattimen kaikkia lähtöjä, kun suodattimen lähdöt alinäyteistetään, 35

koska tämä olisi laskennan tuhlaamista. Jakamisen toisella tasolla nämä kaksi pakettia jaetaan uudestaan, jolloin muodostuu neljä "alkioaaltopakettia". Nämä neljä pakettia vuorostaan alinäytteistetään kertoimella 2. Tässä on huomattava, että FIR-suodattimet $h_1(n)$ ja $h_2(n)$, joita tarkasteltiin edellä, ovat samanlaiset kuin ensimmäisellä tasolla käytetyt suodattimet (ja samanlaiset kuin kolmannella tasolla). Jakamisen kolmannella tasolla signaalit jaetaan kahdeksaksi "paketiksi", ja jälleen ne alinäytteistetään kertoimella 2. Tuloksena oleva näytteenottotaajuus on kahdeksasosa alkuperäisestä näytteenottotaajuudesta.

Kuva 4 esittää kuvan 3 mukaan pituuden $N = 20$ omaavia FIR-suodattimia käyttäen jaetun optimaalisen alkioaallon taajuusvaste. Tarkasteltaessa asiaa suodatinryhmän kannalta taajuusalueessa, jakoprosessi "alkioaaltopaketeiksi" alkioaallon avulla mahdollistaa itse asiassa sen, että kaistat jonkin verran limittyvät, koska alinäytteistuksen prosessi sallii vierastumisilmiön esiintymisen. Kokoamisprosessissa vierastumiskomponentit kumotaan, joka johtaa alkuperäisen signaalin täydelliseen palauttamiseen.

Kuva 5A esittää adaptiivisen poikittaissuodattimen 51 (joka on esitetty yksityiskohdaisemmin kuvaan 5B viitaten), jolla on määrittelemätön adaptiivinen painotuksen säätömekanismi 53, käyttäen tunnettua rakennetta. Adaptiivinen painotuksen säätömekanismi 53 voidaan toteuttaa käyttäen mitä tahansa useammasta tunnetusta rakenteesta. Edullisessa suoritusmuodossa käytetään LMS-rakennetta sen yksinkertaisuudesta johtuen, jolloin sovitusaskel on kooltaan normalisoitu signaalin tehon suhteen. Edullisesti voidaan kuitenkin käyttää mitä tahansa muuta LMS-algoritmin muunnelmaa.

Kuva 6 esittää adaptiivisten suodattimien ryhmän, jotka käytetään eräässä esillä olevan keksinnön mukaisessa, osakaistoja käyttävän kaiun kumoajan suoritusmuodossa. Kuvassa 6 jokainen kahdeksasta adaptiivisesta LMS-suodattimesta vastaanottaa referenssipakettisignaalin $u^{(k)}(n)$ (eli Ref Packet #1, Ref Packet #2, jne) sekä virhesignaalin $e^{(k)}(n)$ (eli Error Signal #1, Error Signal #2, jne), vasteeksi se muodostaa suodattimen lähdön $y^{(k)}(n)$ (eli Filter output #1, Filter output #2, jne).

Kuva 7 esittää signaalin uudelleen muodostamisen käyttäen kokoamista alkioaallon avulla esillä olevan keksinnön periaatteiden mukaan. Siinä on esitetty kolme tasoa, ja jokaisella tasolla käytetään samanlaisia FIR-suodattimia, nimittäin $h_1^{(-1)}(n)$ ja $h_2^{(-1)}(n)$. Havaitaan, että nämä FIR-suodattimet ovat ajan suhteen käänteiset kuvassa 3 esitettyjen jakosuodattimien $h_1(n)$ ja $h_2(n)$ suhteen. Kuten kuvassa 7 on esitetty, ennen kulloistakin kokoamistasoa suoritetaan ylinäytteistäminen kertoimella 2 (eli se

toteutetaan sijoittamalla nolla jokaisen erillisen näytteen väliin).

Esillä olevan keksinnön mukaan jokainen alkioaalto suunnitellaan niin, että kaiun kumoaminen optimoidaan kulloistakin sovellutusta ajatellen alla olevien ehtojen mukaisesti:

- 5 1) Minimoidaan vääristymät, jotka johtuvat toisilta kaistoilta peräisin olevien taajuuskomponenttien vierastumisesta alinäytteistysten jälkeen, niin että jäännössignaalin keskineliövirhe (MSE: mean square error) minimoituu kaiun kumoamisen jälkeen.
- 2) Minimoidaan alkioaallon kertoimien lukumäärä (eli jakamista ja kokoamista varten käytetyissä FIR-suodattimissa olevien kertoimien lukumäärä).
- 10 3) Annetaan alkioaallon tulla kvasiortogonaaliseksi toisin kuin tavallisen ortogonaalisuusoletuksen mukaan, niin että "täydellisen kokoamisen" mahdollisuus tarkoituksella pienenee, jolloin taajuuskomponenttien vierastumisen minimoimista voidaan lisätä. Tällä lisätään virhettä kokoamisessa, mutta pienennetään vierastumisvirhettä, jolloin kaiun kumoaminen paranee.
- 15

Edullisessa suoritusmuodossa käytetyt alkioaallon kertoimet olivat:

Isä-alkioaalto:

$$\overline{h_1} = [-0,0160; 0,0367; -0,0142; -0,0387; -0,0309; 0,0411; -0,0445; -0,0473; 0,0588; 0,0598; -0,0762; -0,0829; 0,0970; 0,1304; -0,1202; -0,2418; 0,1101; 0,5976; 0,6492; 0,2829];$$

Äiti-alkioaalto:

$$h_2(n) = (-1)^{1-n} h_1[1-n]$$

jossa $h_1[n]$ on vektorin $\overline{h_1}$ n:s elementti.

- Optimisuodatin $\overline{h_1}$ saadaan seuraavasti: Olkoon suodattimen pituus N. Osakais-
 25 toiksi tapahtuvassa jakamisessa vierastumisen minimoiva suodatin $\overline{h_1}$ on se, joka säilyttää suurimman osan energiastaan alipäästösuodatetulla kaistalla, eli

$$\overline{h_1^{\max}} = \frac{1}{2} \pi \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |H_1(\omega)|^2 d\omega \quad (1)$$

ottaen huomioon kaksoisortogonaalinen rajoitus:

$$\sum_n h_1(n-2\ell)h_1(n) = \begin{cases} 1, & \text{kun } \ell \neq 0 \\ 0, & \text{kun } \ell = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Yhtälössä (1) vektorin $\overline{h_1}$ Fourier-muunnos on:

$$H_1(\omega) = \sum_n h_1[n]e^{-j\omega n}$$

Koska

$$5 \quad \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |H_1(\omega)|^2 d\omega = \sum_n \sum_k h_1[n]h_1[k] \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} e^{j\omega(n-k)} \frac{d\omega}{2\pi}$$

voidaan yhtälö (1) kirjoittaa muodossa

$$\overline{h_1^{\max}} = \overline{h_1} \Sigma \overline{h_1}^T \quad (3)$$

jossa T edustaa vektorimuunnosta ja Σ on $N \times N$ -matriisi, jonka k :nnes elementti on

$$\Sigma[k, n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} e^{j\omega(n-k)} d\omega = \frac{1}{2} \frac{\sin(n-k) \frac{\pi}{2}}{(n-k) \frac{\pi}{2}}$$

- 10 Yhtälön 3 optimiongelma voidaan muotoilla seuraavana normalisoituna sakkoalgoritmienä, kun otetaan huomioon yhtälön 2 rajoitus:

$$\overline{h_1^{\max}} \left\{ \frac{\overline{h_1} \Sigma \overline{h_1}^T}{\overline{h_1} \overline{h_1}^T} - \lambda \sum_{\ell=1}^{N-1} \left(\frac{\sum_{n=2\ell}^{N-1} h_1[n-2\ell]h_1[n]}{\overline{h_1} \cdot \overline{h_1}^T} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

jossa λ on sakkotermi, joka ohjaa yhtälön 2 kaksoisortogonaalista rajoitusta.

- 15 Edullisen suoritusmuodon mukaan on järjestetty “kaistat ylittävä” kaiun kumoajan rakenne, jolla dramaattisesti nostetaan kaiun kumoamisen määrää käytettäessä jakamista alkioaallon avulla. Kuva 8 esittää perusrakenteen. Tämä kaavio poikkeaa kuvasta 2 siinä, että adaptiivinen suodatuslohko 83 on adaptiivisen suodatinryhmän 23 suhteen muutettua rakennetta. Alkioaallon avulla toimivat jakamislohkot 81 ja 85, alkioaallon avulla toimiva kokoamislohko 87 ja useammat vähennyslohkot 86
- 20 ovat samanlaiset kuin kuvan 2 lohkot 21, 25, 27 ja vastaavasti 26. Kaistat ylittävän

suodattimen 83 rakenne on esitetty yksityiskohtaisesti kuvassa 9. Kahdeksan alkioaaltopakettia vastaanotetaan kaistat ylittävällä suodattimella 83 samaan tapaan kuin kuvassa 2. Lisäksi kaistat ylittävä suodatin sisältää joukon adaptiivisia suodattimia, jotka kaaviossa on merkitty $C_{k,k}$, vastaten kuvan 6 suorituserityksen adaptiivisia suodattimia. Edullisen suorituserityksen kaistat ylittävä suodatin sisältää myös joukon muita “kaistat ylittäviä” suodattimia (jotka on merkitty $C_{k,k+1}$ ja $C_{k,k-1}$). Näitä adaptiivisia lisäsuodattimia käytetään kumoamaan vierekkäisten alkioaaltopakettien välisiä “kaistan ylittäviä” signaaleja.

Edellä esitetyn optimoidun alkioaallon käyttämisestä saatu yllättävä tulos on se, ettei tarvitse järjestää adaptiivisten suodattimien täydellistä matriisia, jotka olisi kytketty kaikkien alkioaaltopakettien väliin. Sellainen matriisirakenne vaatisi yhteensä 64 adaptiivista suodatinta. Koska esillä olevan keksinnön optimoidulle alkioaallolle on ominaista säädetty vierastuminen, kaistat ylittävää kumoamista tarvitaan vain vierekkäisten alkioaaltopakettien osalta. Tämä pienentää adaptiivisten suodattimien tarvittavan lukumäärän 22:ksi, kuten kuvassa 9 on esitetty.

Keksijät ovat lisäksi havainneet, että puheen kaiun kumoamista varten “kaistat ylittävillä” komponenteilla on vähemmän merkitystä suuremman taajuuden kaistoilla, niin että eräät kaistat ylittävistä suodattimista $C_{k,k+1}$ ja $C_{k,k-1}$ voidaan jättää pois vaarantamatta suorituseritystä merkittävästi. Esimerkki tällaisesta yksinkertaisemman rakenteen omaavasta kaiun kumoajasta on esitetty kuvassa 10, joka on samanlainen kuin kuvan 9 kaiun kumoaja, paitsi että adaptiiviset suodattimet $C_{k,k+1}$ ja $C_{k,k-1}$ on jätetty pois käsiteltäessä alkioaaltopaketteja Ref Packet #5, Ref Packet #6, Ref Packet #7 ja Ref Packet #8. Voidaan toteuttaa kaiun kumoajia, joille erilaiset suorituseritykset ovat ominaisia, kun jätetään pois pienempi tai suurempi määrä kaistat ylittävistä adaptiivisista suodattimista. Kaiun kumoajan laskentakuorma voi vaihdella arvojen $2M/N$ ja $5M/N$ välillä, riippuen adaptiivisten suodattimien lukumäärästä riippuen.

Kuva 11 esittää koetulokset kuvan 10 mukaisella kaistat ylittävän kaiun kumoajan rakenteella. Ylempi signaali on 8 sekunnin mittainen näyte kaikusignaalin reitiltä otetusta puheesta. Keskellä oleva signaali on kaiun jälleesignaali kaiun kumoamisen jälkeen, ja alin käyrä vastaa ERLE-mittaa dB:nä, perustuen 1000 näytteen lohkoille (lyhenne ERLE tarkoittaa echo return loss enhancement; kaikutien heijastushäviön korostusta, joka on yleisesti tunnettu menetelmä kaiun kumoajan suorituserityksen mittaamiseksi). Tämä ERLE-mittaus yksikkönä dB edustaa määrää, jolla kaikusignaali on pienentynyt.

Kuva 12 esittää koetulokset käyttäen samaa 8 sekunnin referenssisignaalia, jolloin kaikusignaali (ylin signaali) on otettu todellisen puhelinjärjestelmän kaikukanavasta. Tälle kaikukanavalle on tyypillisesti ominaista pienet epälineaarisuudet ja jonkin verran esiintyvä (lähipään) taustakohina, joka pienentää saavutettavissa olevaa kaiun kumoamista. Kuvan 12 keskellä oleva signaali esittää jäljelle jääneen kaiun kumoamisen jälkeen, ja alin käyrä esittää ERLE-mitan, yksikkönä dB, joka perustuu 1000 näytteen lohkoihin.

Kuten edellä selitettiin, käyttämällä edellä kuvattua optimoitua alkioaaltoa ei tarvitse järjestää kaikkien alkioaaltopakettien väliin kytkettyjen adaptiivisten suodattimien täyttämatriisia. Alkioaallon rakennetta voidaan vielä optimoida käytettäväksi kaistat ylittävän adaptiivisen suodatinryhmärakenteen kanssa, seuraavien ehtojen mukaisesti:

1) Minimoidaan vääristymät, jotka johtuvat toisilta kaistoilta (vierekkäisten kaistojen lisäksi) peräisin olevien taajuuskomponenttien vierastumisesta alinäytteistykseen jälkeen, niin että jäännössignaalin keskineliövirhe (MSE: mean square error) minimoituu kaiun kumoamisen jälkeen.

2) Minimoidaan alkioaallon näytteiden lukumäärä (eli suodatinkertoimien lukumäärä jakamista ja kokoamista varten käytetyissä FIR-suodattimissa).

Kaistat ylittävässä kaiun kumoamisessa käytetyt alkioaallon kertoimet ovat edullisessa suoritusmuodossa:

Isä-alkioaalto:

$$\overline{h_1} = [-0,0004; 0,0771; 0,0101; -0,1475; -0,0657; 0,1128; -0,0308; -0,4977; -0,7157; 0,3840; 0,0754; 0,1743; 0,0179; -0,0280; 0,0367; 0,0110; -0,0753; -0,0226; 0,0445; 0,0046]$$

Äiti-alkioaalto:

$$h_2(n) = (-1)^{1-n} \overline{h_1}[1-n]$$

jossa $h_1[n]$ on vektorin $\overline{h_1}$ n:s elementti.

Kaistat ylittävän rakenteen osalta sallitaan määrätty vierastuminen viereisille kaistoille, niin että vierastuminen muille kaistoille voidaan minimoida. Algoritmi, jolla suunnitellaan vastaava vektori h_1 on samanlainen kuin edellä kuvattu yhtälö (4), paitsi että matriisin Σ k:nnes elementti on

$$\Sigma[k, n] = \frac{1}{2} \frac{\sin[\alpha(n-k)\pi]}{\alpha(n-k)\pi}$$

jossa α valitaan sen perusteella, miten monta alkioaallon avulla tapahtuvan jakamisen tasoa käytetään, joka vuorostaan määrää jokaisen osakaistan kaistanleveyden.

- Edellisessä, kuviin 7 ja yhtälöön 4 viitaten selitettyssä rakenteessa suureen α arvoksi on asetettava $\alpha = 0,5$, jotta voitaisiin minimoida osakaistalta toiselle osakaistalle vierastuminen. Kaistat ylittävässä rakenteessa tätä rajoitusta voidaan lieventää niin, että vierastuminen viereisille kaistoille sallitaan, niin että vierastumista muilla kaistoilla voidaan edelleen vähentää. Kolmitasoisessa jakamisessa alkioaallon avulla, jolloin osakaistoja on kahdeksan, jokaisen erillisen osakaistan normalisoitu kaistanleveys on $\frac{1}{8} = 0,125$. Jotta tämä yksi osakaista ei häiritsisi muita osakaistoja, paitsi viereisiä osakaistoja, α on rajoitettava alueelle $\alpha - 0,5 < 0,125$. Kun täytetään ehto $\alpha < 0,625$, suureen α nostaminen johtaa pienempää vierastumiseen muille kaistoille. Edullisimpana pidetyn suoritusmuodon mukaan $\alpha = 0,62$.

- Yhteenvetona voidaan todeta, että esillä olevan keksinnön mukaan on käytetty hyväksi jakamista ja kokoamista alkioaallon avulla niin, että onnistuneesti voidaan toteuttaa kaiun kumoaja, kehittämällä "optimaalinen" alkioaalto. Jakamis/kokoamisprosessi toteutetaan käyttäen FIR-suodattimia, joiden suodatinkertoimet johdetaan tästä "optimaalisesta" alkioaallosta. Edullisen suoritusmuodon mukaan aikaansaadetaan kaistat ylittävä kaiun kumoamien, niin että alkioaaltopakettien käsittelyn aiheuttama viereisten kaistojen välinen vääristymä pienenee. Tämä johtaa suurempaan kaiun kumoamiseen kuin tekniikan tason järjestelmillä (saadaan esimerkiksi suuremmat ERLE-arvot).

Henkilö, joka ymmärtää esillä olevan keksinnön periaatteet voi ajatella sen vaihtoehtoisia suoritusmuotoja tai niiden muunnelmia poikkeamatta oheisissa patenttivaatimuksissa esitetyltä suoja-alalta.

Patenttivaatimukset

1. Kaiun kumoaja, joka käsittää:

- ensimmäisen alkioaallon avulla toimivan jakamislohkon, jolla referenssisignaali jaetaan referenssi-alkioaaltopakettien joukoksi;
- 5 - toisen alkioaallon avulla toimivan jakamislohkon, jolla mainitun referenssisignaalin kaikusignaali jaetaan kaiun alkioaaltopakettien joukoksi;
- adaptiivisen suodatinryhmän, jolla vastaanotetaan ja suodatetaan mainittu referenssi-alkioaaltopakettien joukko ja joka vasteena muodostaa suodatettujen alkioaaltopakettien joukon, jotka kahdentavat mainitut kaiun alkioaaltopaketit;
- 10 - joukon vähentäjiä, joilla kulloinkin vastaanotetaan ja vähennetään yksi mainituista suodatetuista alkioaaltopaketeista mainitusta kaiun alkioaaltopaketista ja jotka vasteena muodostavat virhesignaalien joukon, joka johdetaan mainitulle adaptiiviselle suodatinryhmälle mainitun adaptiivisen suodatinryhmän siirtofunktion muuttamiseksi mainittujen kaiun alkioaaltopakettien toistamisen jatkamista varten; ja
- 15 - alkioaallon avulla toimivan kokoamislohkon, jolla vastaanotetaan ja kootaan mainittujen virhesignaalien joukko jäännössignaalin muodostamiseksi, josta mainitun referenssisignaalin mainittu kaikusignaali on kumottu;

tunnettu siitä, että sekä mainittu ensimmäinen että toinen jakamislohko käsittää:

- ensimmäisen tason, joka käsittää ensimmäisen FIR-suodattimien parin tulossignaalin yhdistämiseksi äiti-alkioaallon ja vastaavasti isä-alkioaallon kanssa, jolloin mainitun FIR-suodattimien ensimmäisen parin kertoimet vastaavat mainittua äiti-alkioaaltoa ja vastaavasti isä-alkioaaltoa, sekä ensimmäisen alinäytteistäjien parin jaettujen signaalien alinäytteistämiseksi kertoimella kaksi;
- toisen tason, joka käsittää kaksi toisten FIR-suodattimien paria, jolloin jokainen toisten FIR-suodattimien pari on täysin samanlainen kuin mainittu ensimmäinen FIR-suodattimien pari mainitulta ensimmäiseltä tasolta tulevien alinäytteistettyjen signaalien yhdistämiseksi mainitun äiti-alkioaallon ja vastaavasti mainitun isä-alkioaallon kanssa, sekä kaksi toisten alinäytteistäjien paria edelleen yhdistettyjen signaalien alinäytteistämiseksi kertoimella kaksi; ja
- 25 - kolmannen tason, joka käsittää neljä paria muita FIR-suodattimia, jolloin jokainen muiden suodattimien pareista on täysin samanlainen kuin mainittu ensimmäinen FIR-suodattimien pari mainitulta toiselta tasolta tulevien edelleen alinäytteistettyjen signaalien yhdistämiseksi mainitun äiti-alkioaallon ja vastaavasti mainitun isä-alkioaallon kanssa, sekä kaksi toisten alinäytteistäjien paria edelleen yhdistettyjen signaalien alinäytteistämiseksi kertoimella kaksi, niin että muodostuu kahdeksan
- 30 lähtevää alkioaaltopakettia.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen kaiun kumoaja, **tunnettu** siitä, että mainitut kokoamislohkot käsittävät:

- ensimmäisen tason, joka käsittää neljä paria ylinäytteistäjiä kahdeksan tulevan alkioaaltopaketin ylinäytteistämistä varten, jolloin alkioaaltopaketit edustavat mainittua virhesignaalien joukkoa, neljä paria toisia FIR-suodattimia mainitulta neljältä ylinäytteistäjien parilta saatavien ylinäytteistettyjen alkioaaltopakettien yhdistämiseksi kulloiseen äiti-alkioaaltoon ja vastaavasti isä-alkioaaltoon, jolloin mainitun kaikkien toisten FIR-suodattimien parien kertoimet vastaavat ajan suhteen käänteisiä, mainittujen FIR-suodattimien ensimmäisen parin mainittuja kulloisiakin kertoimia, sekä neljä paria summaimia toisten FIR-suodattimien kulloisenkin parin tuottamisen signaalien summaamiseksi;
- toisen tason, joka käsittää kaksi muuta ylinäytteistäjien paria kulloisenkin mainitun summaimen tuottaman summasignaalin näytteistämiseksi, kaksi muuta FIR-suodattimien paria, jolloin mainittujen FIR-suodattimien kummatkin mainitut muut parit ovat täysin samanlaiset kuin FIR-suodattimien neljä toista paria mainitulta kahdelta muulta ylinäytteistäjien parilta saatavien näytteistettyjen summasignaalien yhdistämiseksi mainittuihin ajan suhteen käänteisen äiti-alkioaalton ja vastaavasti isä-alkioaalton kanssa, sekä kaksi toista summainta FIR-suodattimien mainitun kahden muun parin kulloistenkin suodattimien tuottamien lähtösignaalien summaamiseksi; ja
- kolmannen tason, joka käsittää ylinäytteistäjien lisäparin kahden toisen summaimen kulloisenkin summaimen tuottaman summasignaalin näytteistämiseksi, toisten FIR-suodattimien toisen parin, jolloin toisten FIR-suodattimien toisen parin molemmat suodattimet ovat identtiset mainittujen toisten FIR-suodattimien neljän parin kulloisenkin FIR-suodattimen kanssa mainittujen ylinäytteistäjien toisen parin ylinäytteistettyjen summasignaalien yhdistämiseksi ajan suhteen käänteisiin äiti- ja vastaavasti isä-alkioaaltoihin, sekä yhden toisen summaimen FIR-suodattimien mainitun toisen parin tuottamien signaalien summaamiseksi ja mainitun jäännössignaalin muodostamiseksi vasteeksi.

3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen kaiun kumoaja, **tunnettu** siitä, että mainituille FIR-suodattimen kertoimille on ominaista isä-alkioaalto, joka on:

$$\overline{h_1}(n) = [-0,0160; 0,0367; -0,0142; -0,0387; -0,0309; 0,0411; -0,0445; -0,0473; 0,0588; 0,0598; -0,0762; -0,0829; 0,0970; 0,1304; -0,1202; -0,2418; 0,1101; 0,5976; 0,6492; 0,2829];$$

ja että mainittu äiti-alkioaalto on: $h_2(n) = (-1)^{1-n} h_1[1-n]$.

4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen kaiun kumoaja, jossa mainittu adaptiivinen suodatinryhmä käsittää joukon poikittaissuodattimia, jolloin jokaisella mainitulla

suodattimella on signaalitulo kulloisenkin mainitun referenssialkioaaltopaketin vastaanottamiseksi, signaalilähtö kulloisenkin suodatetun alkioaaltopaketin muodostamiseksi mainitussa suodatettujen alkioaaltopakettien joukossa, sekä adaptiivinen painotuksen säätötulo kulloisenkin mainitun virhesignaalin vastaanottamiseksi ja

5 mainitun siirtofunktion muuttamiseksi tämän vasteena, ja mainittu adaptiivinen suodatinryhmä lisäksi käsittää joukon toisia adaptiivisia suodattimia kaistat ylittävien signaalien kumoamiseksi ennalta määrättyjen mainittujen referenssi-alkioaaltopakettien välillä, **tunnettu** siitä, että sekä mainittu ensimmäinen että toinen jakamislohko käsittää:

10 - ensimmäisen tason, joka käsittää ensimmäisen FIR-suodattimien parin tulossignaalin yhdistämiseksi äiti-alkioaalton ja vastaavasti isä-alkioaalton kanssa, jolloin mainitun FIR-suodattimien ensimmäisen parin kertoimet vastaavat mainittua äiti-alkioaaltoa ja vastaavasti isä-alkioaaltoa, sekä ensimmäisen alinäytteistäjien parin jaettujen signaalien alinäytteistämiseksi kertoimella kaksi;

15 - toisen tason, joka käsittää kaksi toisten FIR-suodattimien paria, jolloin jokainen toisten FIR-suodattimien pari on täysin samanlainen kuin mainittu ensimmäinen FIR-suodattimien pari mainitulta ensimmäiseltä tasolta tulevien alinäytteistettyjen signaalien yhdistämiseksi mainitun äiti-alkioaalton ja vastaavasti mainitun isä-alkioaalton kanssa, sekä kaksi toisten alinäytteistäjien paria edelleen yhdistettyjen

20 signaalien alinäytteistämiseksi kertoimella kaksi; ja

- kolmannen tason, joka käsittää neljä paria muita FIR-suodattimia, jolloin jokainen muiden suodattimien pareista on täysin samanlainen kuin mainittu ensimmäinen FIR-suodattimien pari mainitulta toiselta tasolta tulevien edelleen alinäytteistettyjen signaalien yhdistämiseksi mainitun äiti-alkioaalton ja vastaavasti mainitun isä-alkioaalton kanssa, sekä kaksi toisten alinäytteistäjien paria edelleen yhdistettyjen

25 signaalien alinäytteistämiseksi kertoimella kaksi, niin että muodostuu kahdeksan lähtevää alkioaaltopakettia.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen kaiun kumoaja, **tunnettu** siitä, että mainituille FIR-suodattimien kertoimille on ominaista isä-alkioaalto, joka on:

30 $\bar{h}_1(n) = [-0,0004; 0,0771; 0,0101; -0,1475; -0,0657; 0,1128; -0,0308; -0,4977; -0,7157; 0,3840; 0,0754; 0,1743; 0,0179; -0,0280; 0,0367; 0,0110; -0,0753; -0,0226; 0,0445; 0,0046]$; ja että mainittu äiti-alkioaalto on: $h_2(n) = (-1)^{1-n} h_1[1-n]$.

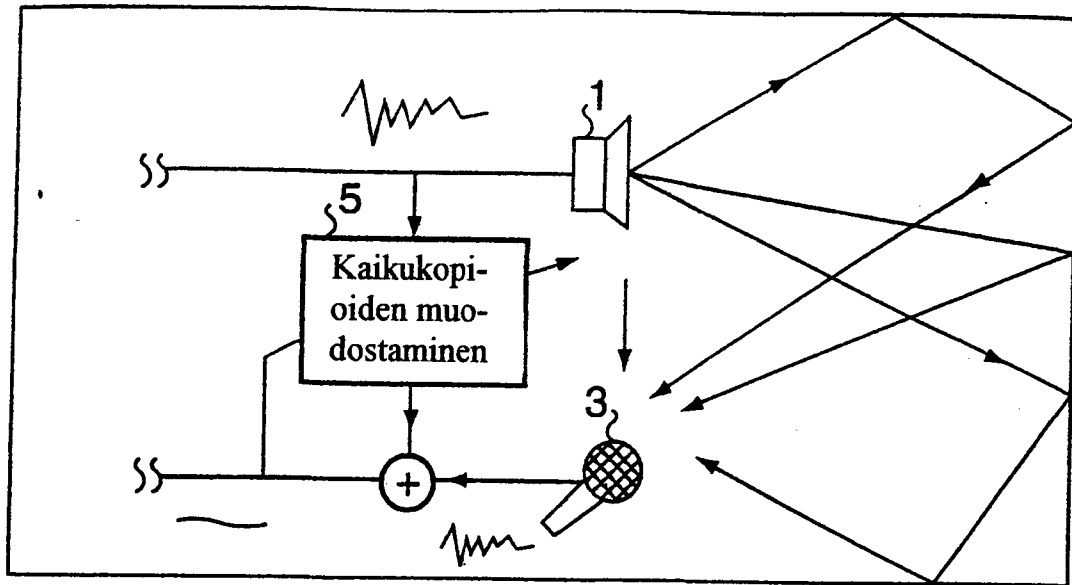


FIG. 1 TEKNIKAN TASO

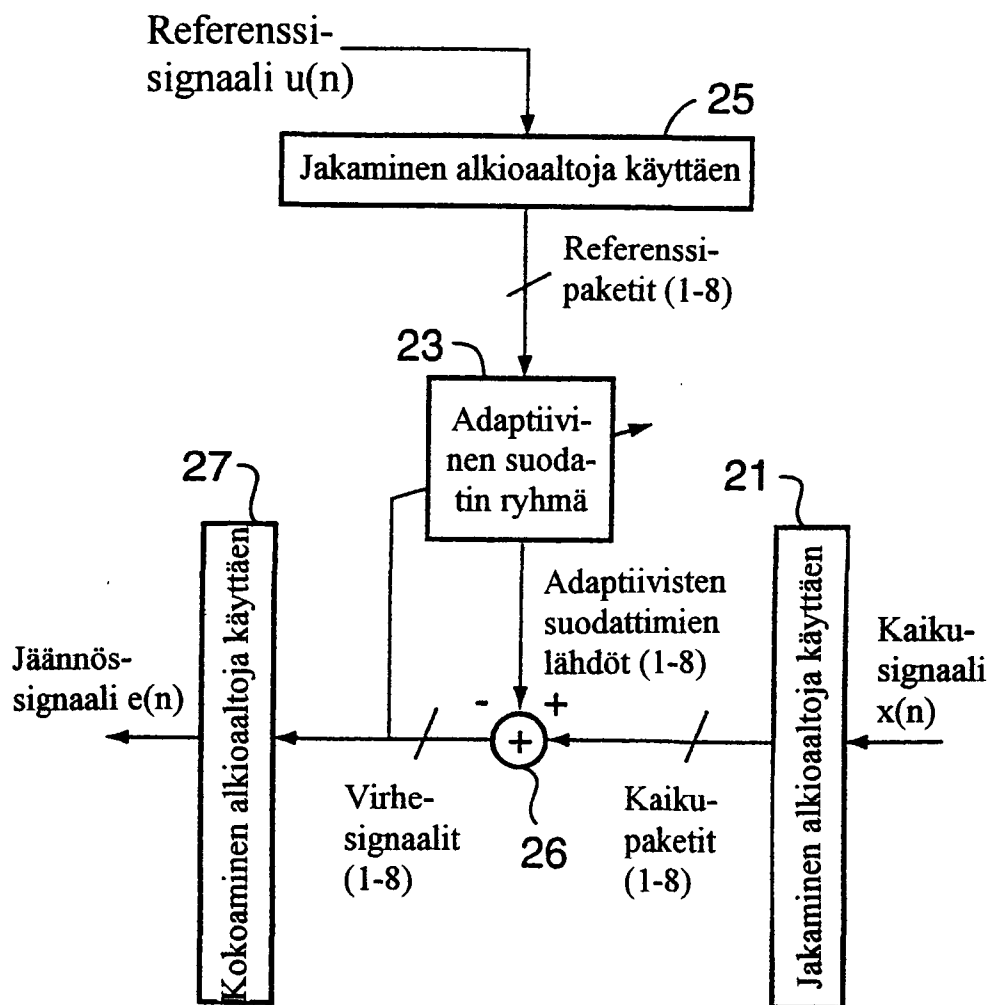


FIG. 2

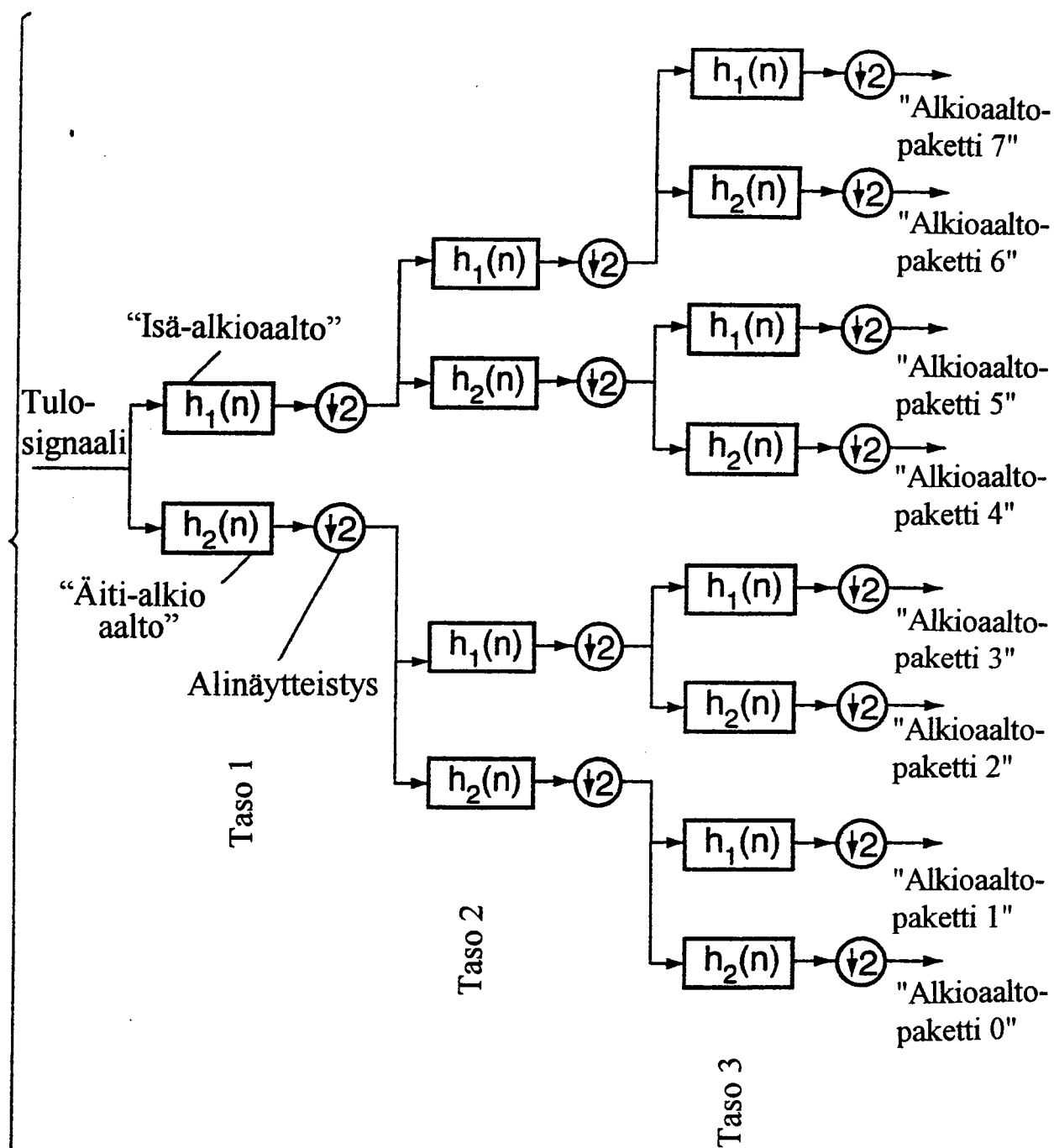


FIG. 3

Optimaalisen alkioaallon taajuusvaste ($N=20$)

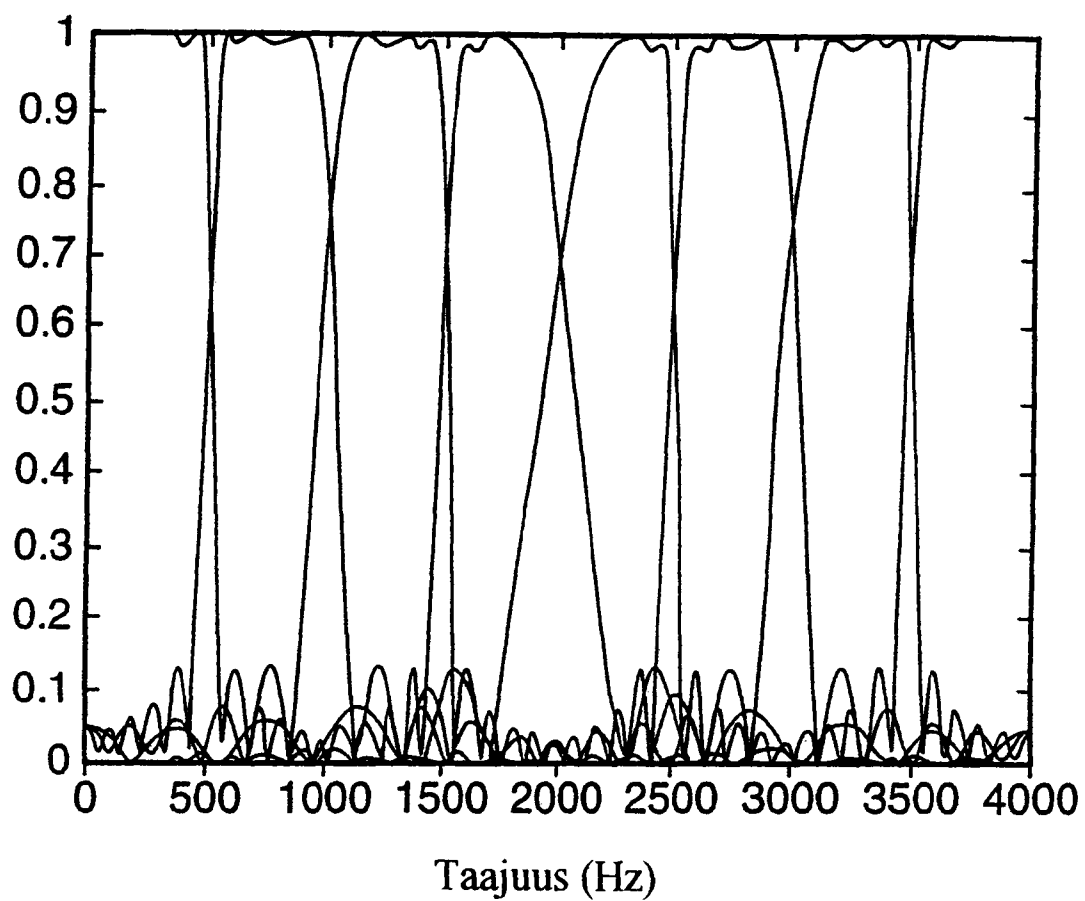


FIG. 4

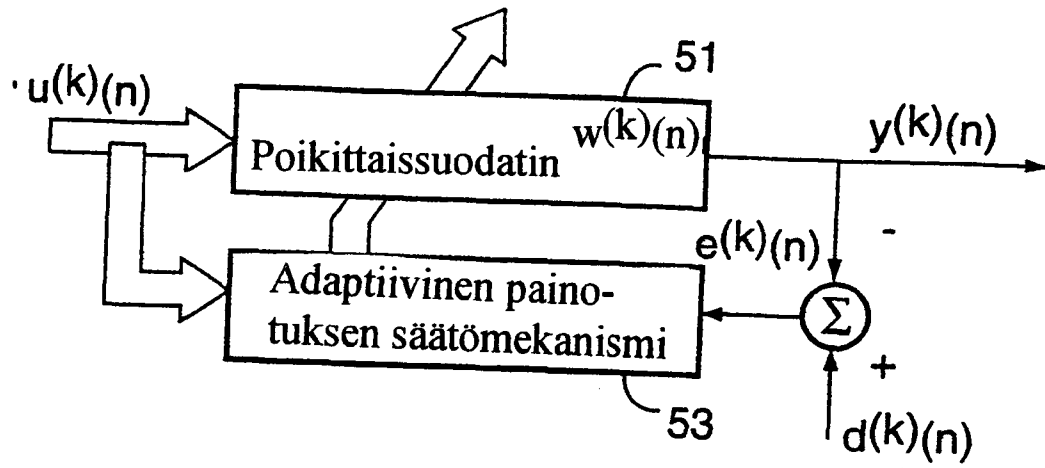


FIG. 5A

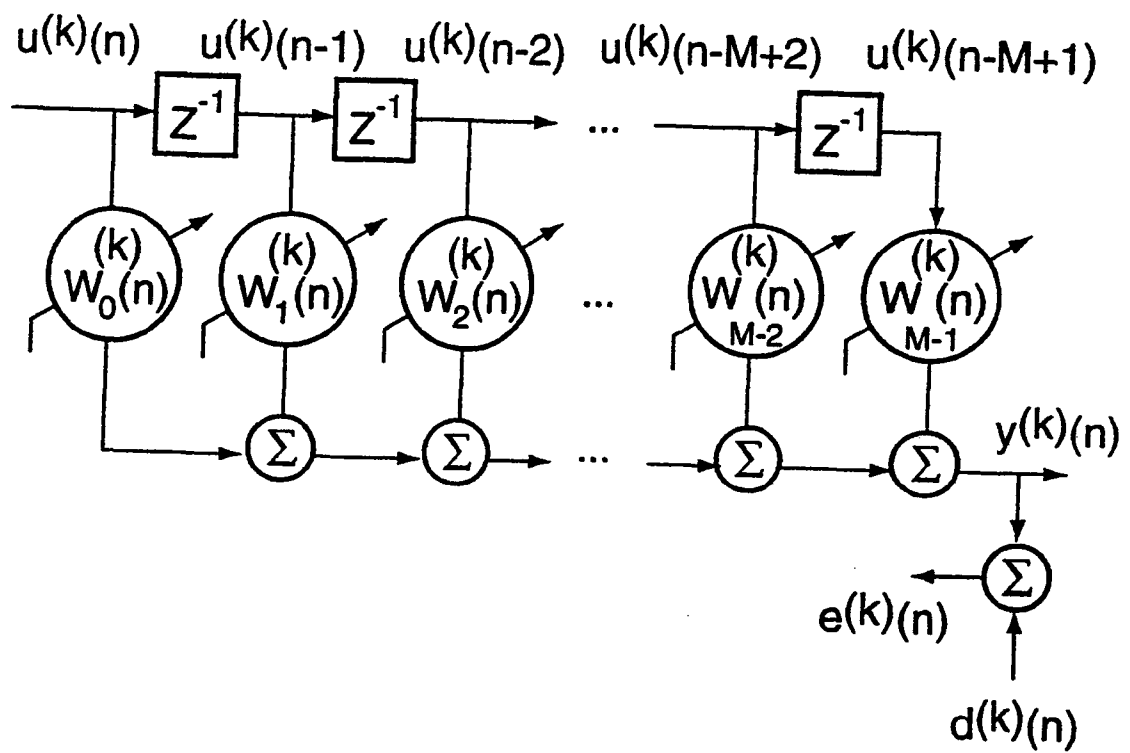


FIG. 5B

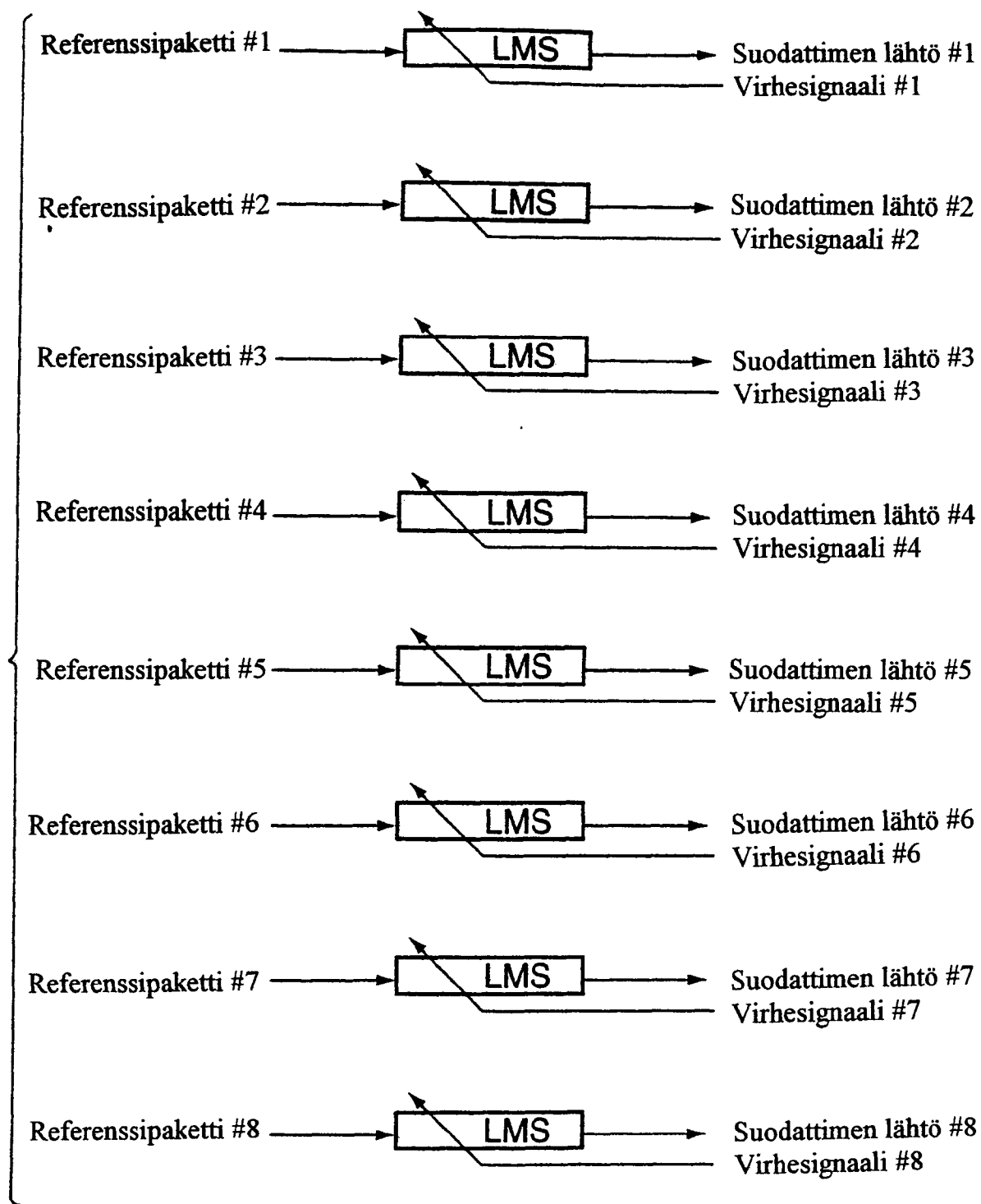


FIG. 6

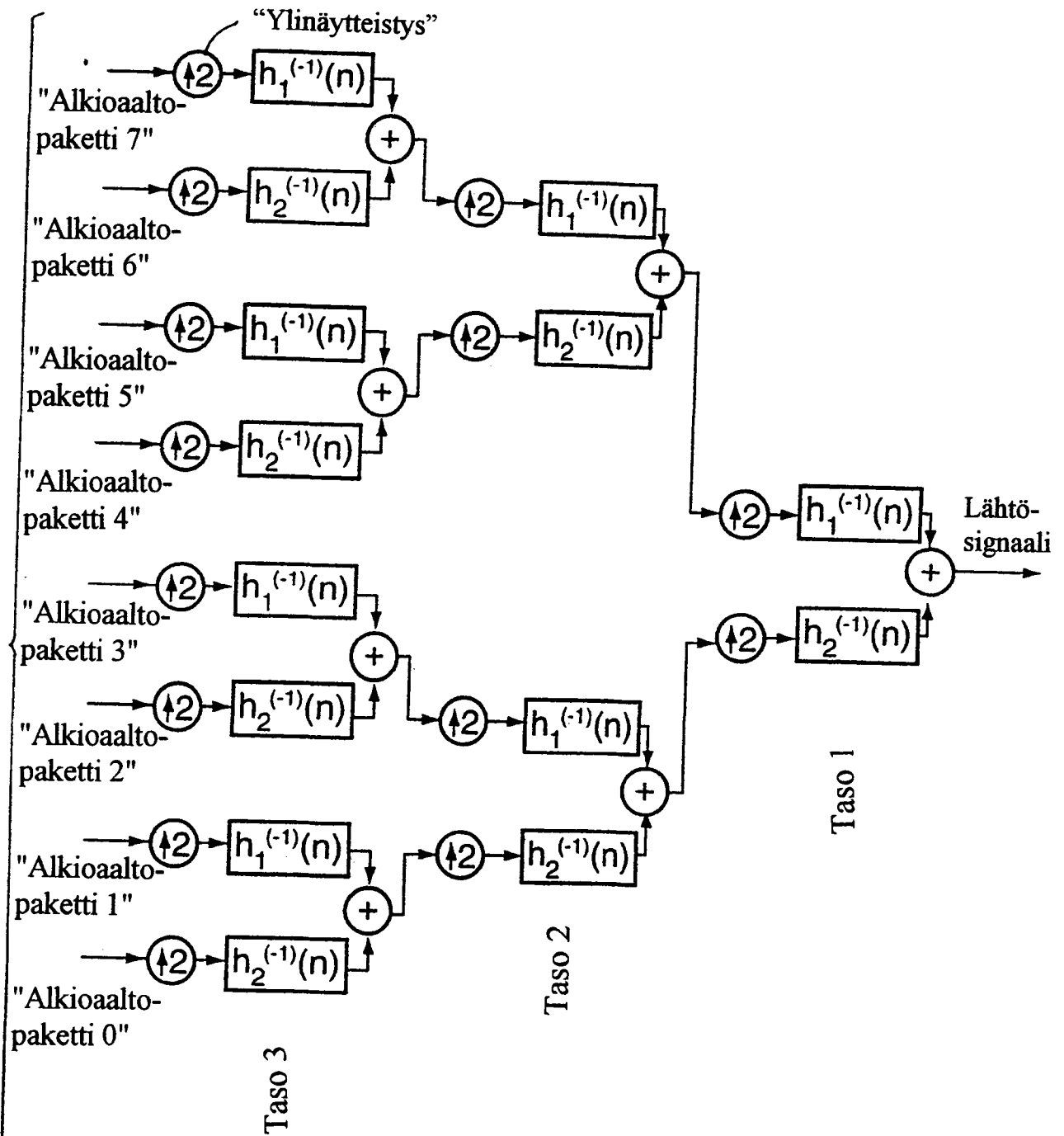


FIG. 7

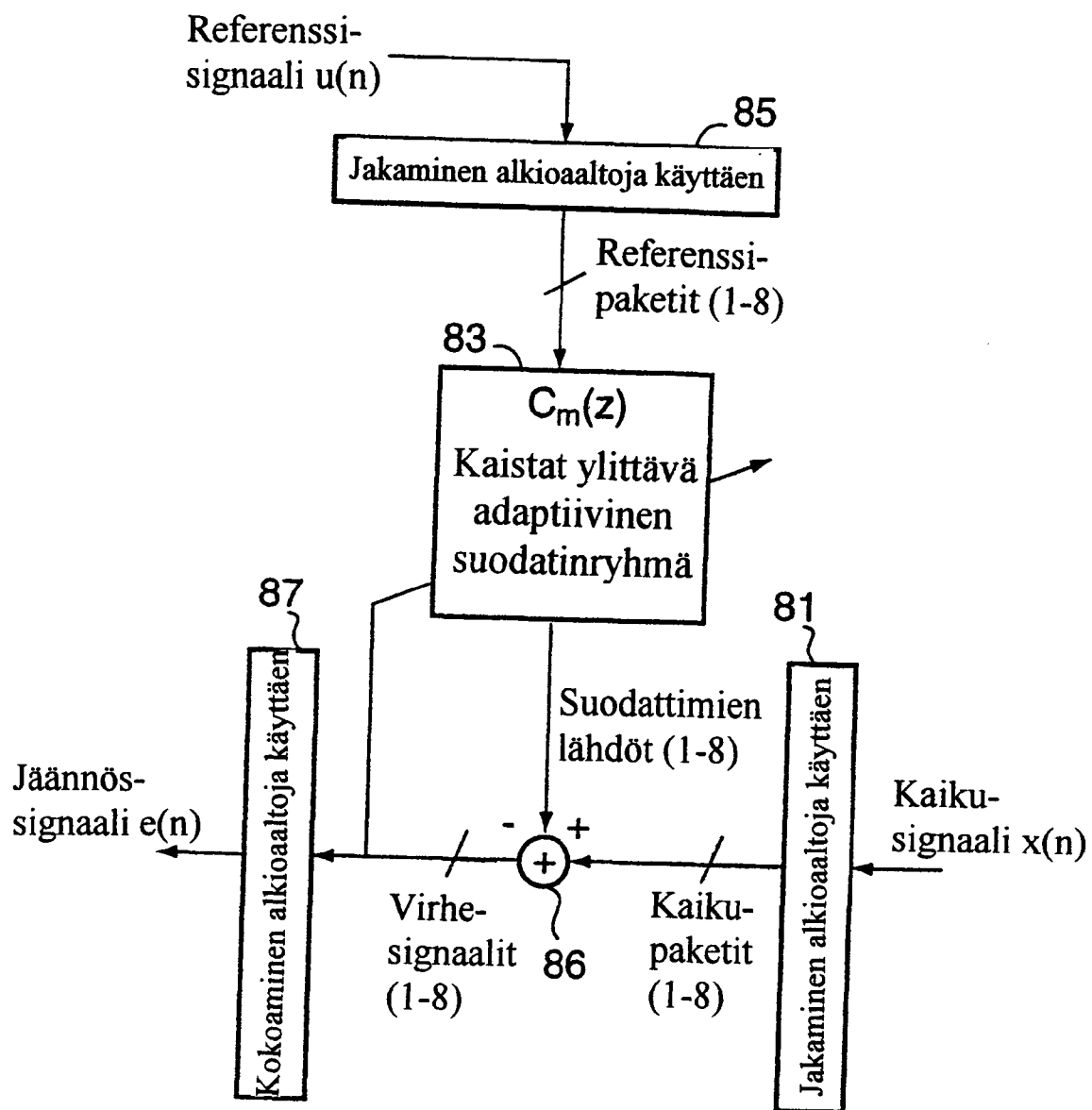


FIG. 8

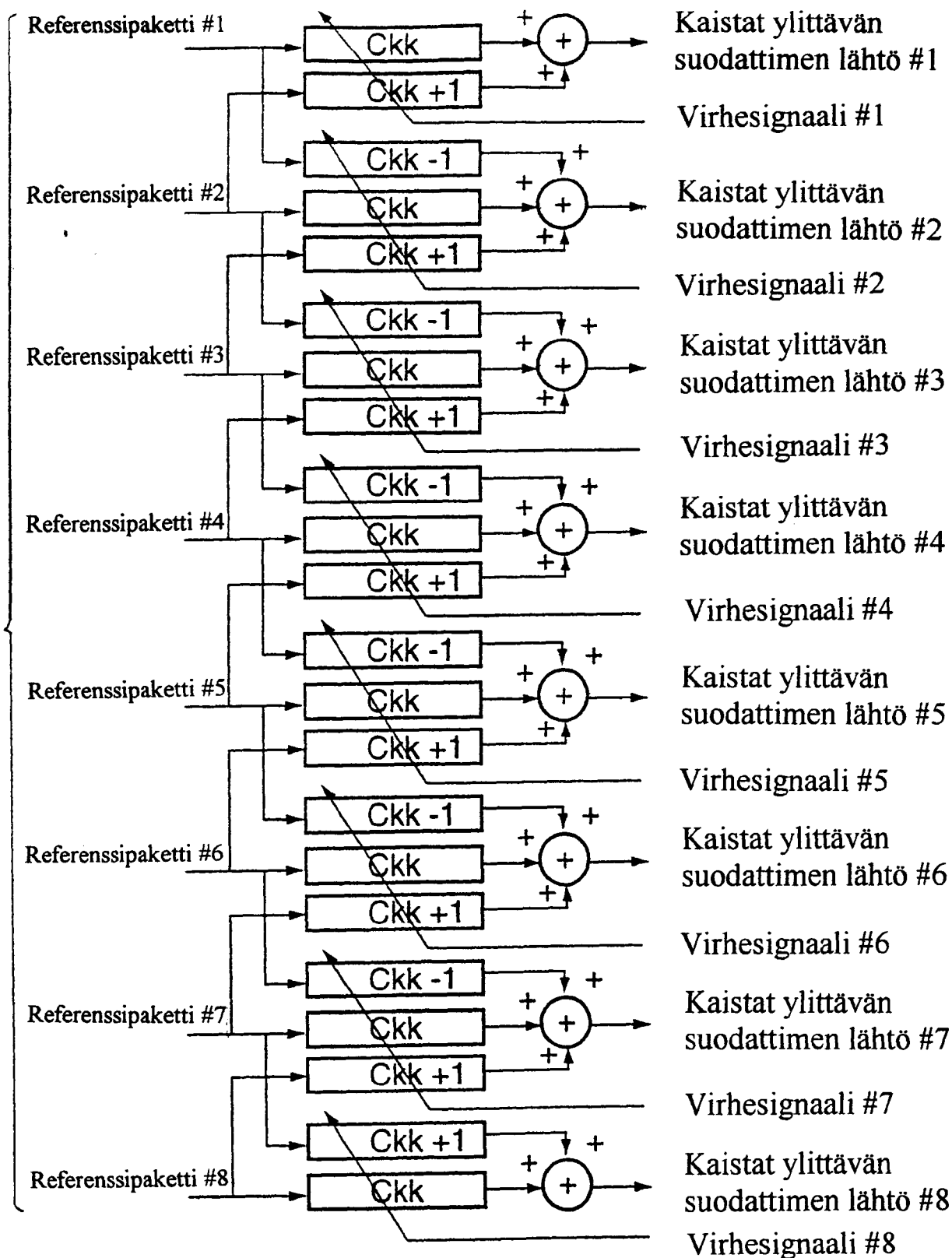


FIG. 9

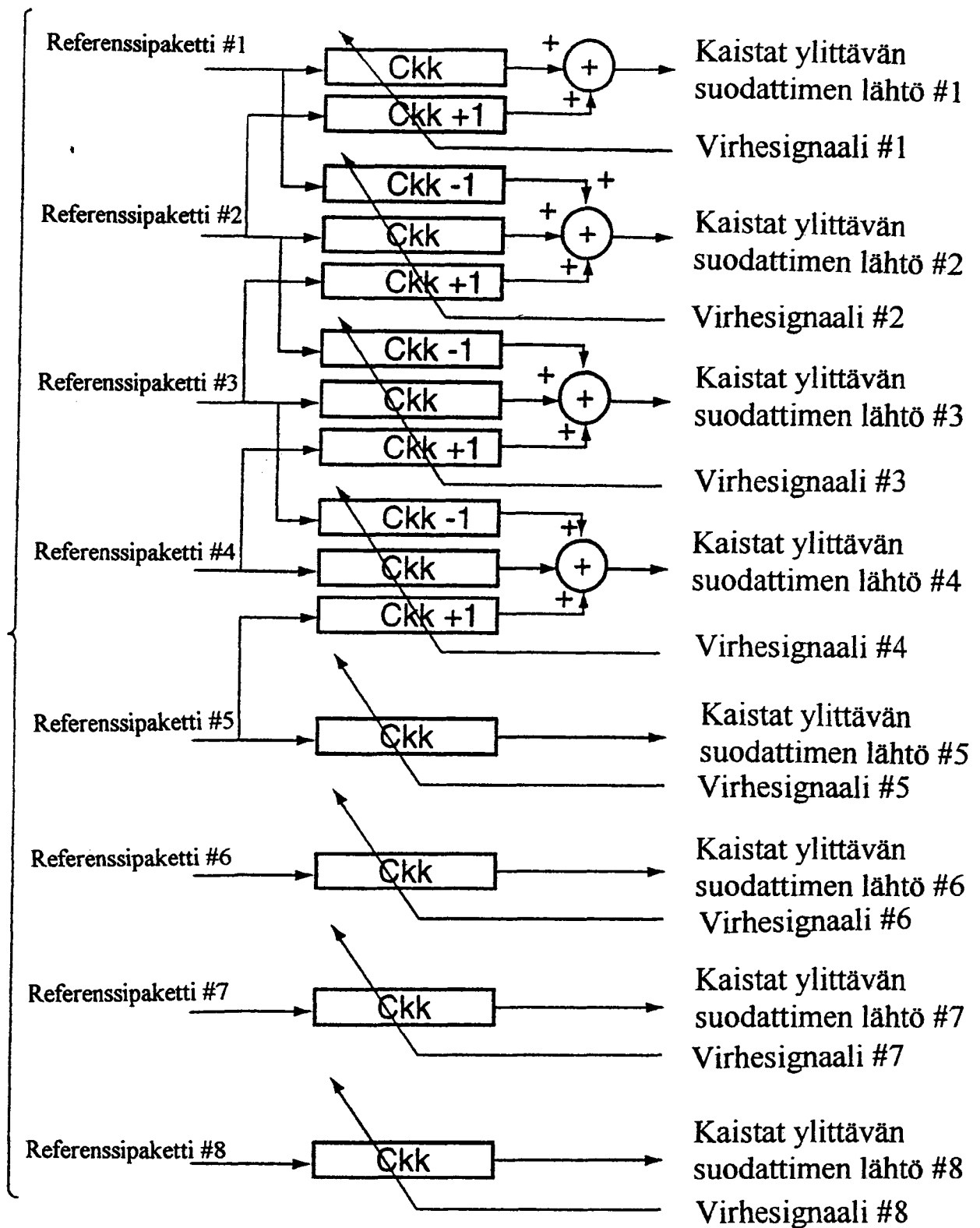


FIG. 10

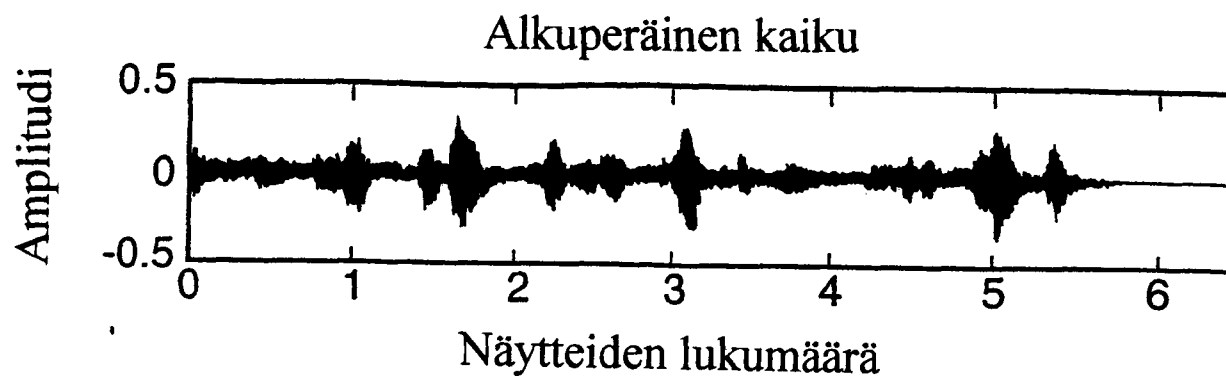


FIG. 11A

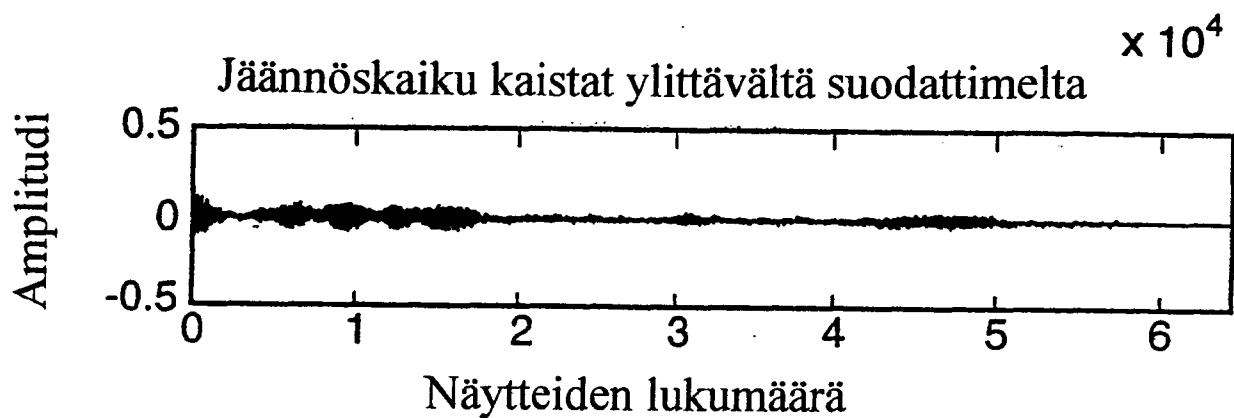


FIG. 11B

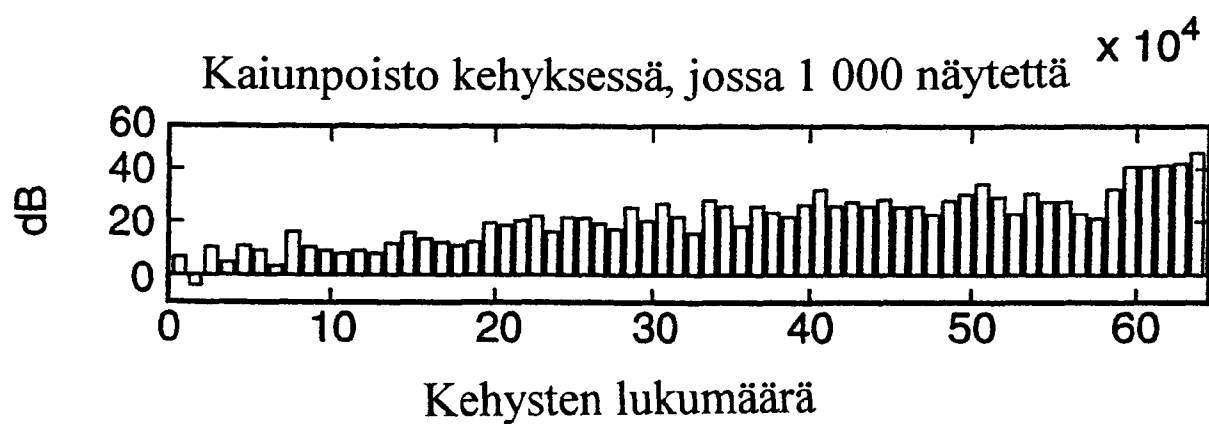


FIG. 11C

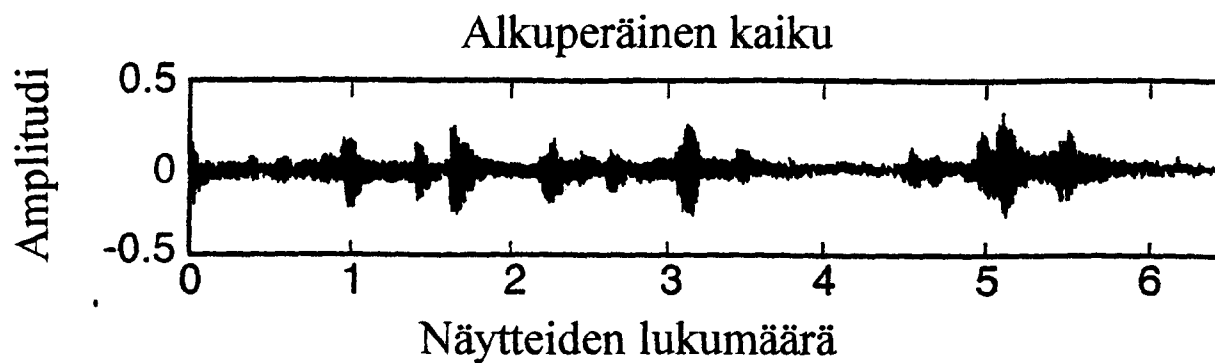


FIG. 12A

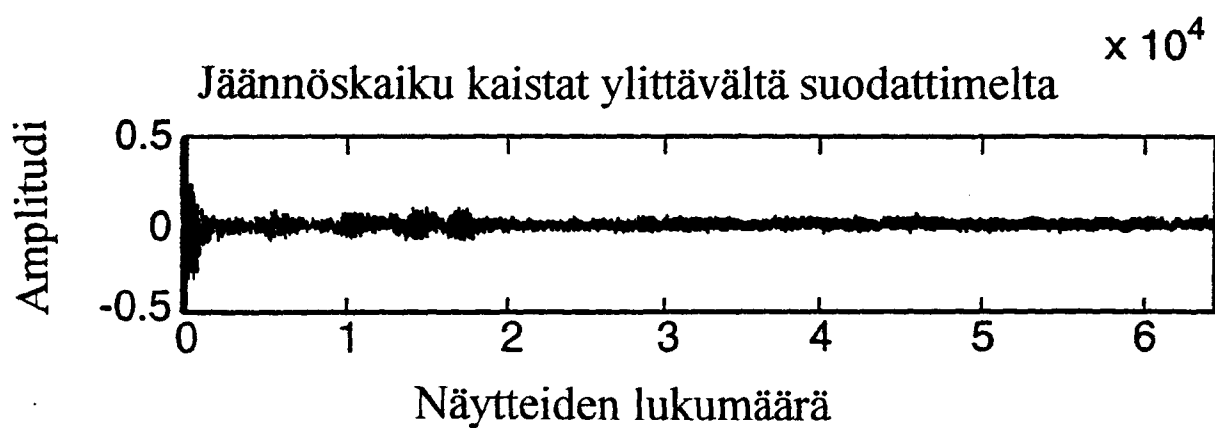


FIG. 12B

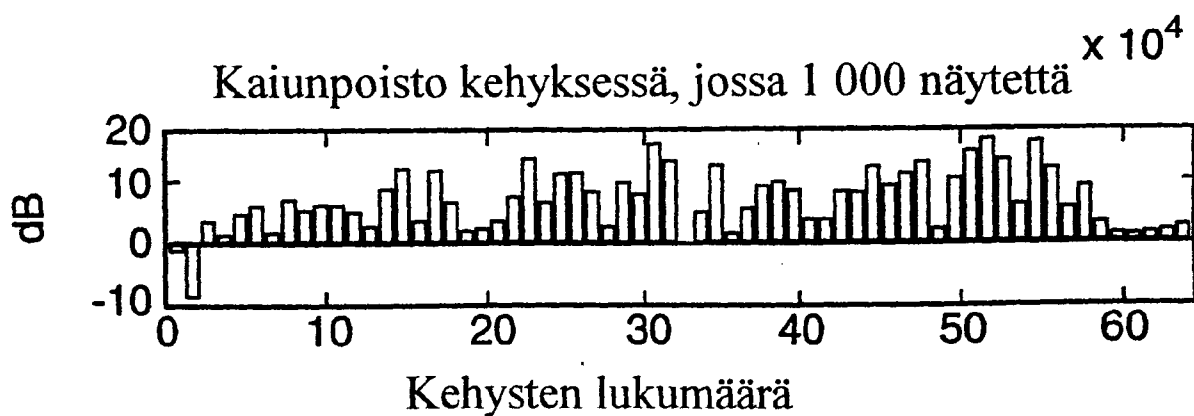


FIG. 12C