

# ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902028843A1

Publication Date

20130905

Applicant

INSTITUT FUER RUNDFUNKTECHNIK GMBH

Title

METHOD AND APPARATUS FOR LOCALIZATION CORRECTION IN  
DOWN-MIXING OF A MULTI-CHANNEL AUDIO SIGNAL INTO A  
TWO-CHANNEL AUDIO SIGNAL.

**TITOLO**

**“METODO E APPARATO PER LA CORREZIONE DI LOCALIZZAZIONE IN FASE DI DOWN-MIXING DI UN SEGNALE AUDIO MULTICANALE IN UN SEGNALE AUDIO BICANALE”**

di Institut für Rundfunktechnik GmbH di nazionalità tedesca con sede in Floriansmühlstraße 60, 80939 Monaco di Baviera, ed elettivamente domiciliata presso i Mandatari Ing. Roberto Dini (No. Iscr. Albo 270 BM), Ing. Corrado Borsano (No. Iscr. Albo 446 BM), Ing. Marco Camolese (No. Iscr. Albo 882 BM), Dott. Giancarlo Reposio (No. Iscr. Albo 1168 BM) c/o Metroconsult S.r.l., Via Sestriere 100, 10060 None (TO).

Inventori designati:

- KNAPPE Jonas
- GROH Jens
- HARTMANN Christian
- GOOSSENS Sebastian

**DESCRIZIONE**

**Campo dell'invenzione**

La presente invenzione riguarda un metodo e un apparato per la correzione di localizzazione in fase di down-mixing di un segnale audio multicanale in un segnale audio bicanale.

**Descrizione dell'arte nota**

Sono note tecniche di conversione di segnali audio multicanale in segnali bicanale, le quali sono normalmente denominate tecniche di “down-mixing”.

Il down-mixing permette di riprodurre un segnale audio multicanale originale mediante un normale apparecchio stereo con due canali e due casse acustiche.

Un esempio di segnale audio multicanale ben noto è quello del cosiddetto sistema sonoro surround. La rappresentazione surround comprende, in aggiunta ai due canali stereo anteriori L e R, un canale anteriore centrale aggiuntivo C e due canali posteriori surround Ls, Rs.

Tali segnali surround vengono inviati, durante la riproduzione, a corrispondenti

diffusori posizionati in una sala d'ascolto, ad esempio come illustrato in Fig. 1, e sono percepiti da un ascoltatore posizionato in una posizione P1.

Come noto, il down-mixing dei segnali surround originali (L, R, C, Ls, Rs) in un segnale stereo (Lo, Ro) si ottiene mediante una combinazione lineare dei segnali originali, ad esempio come quella data dalle formule seguenti:

$$Lo = L + \alpha \cdot C + \beta \cdot Ls$$

$$Ro = R + \alpha \cdot C + \beta \cdot Rs$$

in cui  $\alpha$  e  $\beta$  sono costanti minori di 1, preferibilmente entrambe uguali a 0.7.

Ciascuno dei due segnali stereo Lo, Ro è ottenuto mediante una combinazione lineare dei segnali anteriore e posteriore dello stesso lato e di quello del canale centrale C.

I segnali Lo e Ro vengono forniti ai diffusori sinistro e destro di un impianto stereo per la riproduzione verso un ascoltatore, v. Fig. 2. In questo modo, un ascoltatore che si trovi nella posizione P2 percepisce una sensazione (pseudo) surround anche se il segnale surround viene riprodotto dai due diffusori Lo e Ro in forma trasformata mediante down-mixing.

Tuttavia, così facendo l'ascoltatore percepirà distorsioni nelle componenti di segnale Ls e Rs, in quanto esse saranno ora percepite rispettivamente dalle direzioni "anteriore sinistra" e "anteriore destra", mentre esse sono normalmente percepite (in una situazione di riproduzione a cinque canali) rispettivamente dalle direzioni "posteriore sinistra" e "posteriore destra".

Le distorsioni, ad esempio, non consentono all'ascoltatore di riconoscere la reale origine fisica del suono, come invece si ottiene normalmente riproducendo un segnale multicanale originale con un sistema di riproduzione multicanale.

#### Breve descrizione dell'invenzione

Lo scopo principale della presente invenzione consiste quindi nell'indicare un metodo e un apparato per la correzione di localizzazione in fase di downmixing di un segnale audio multicanale in un segnale audio bicanale in grado di risolvere i suddetti

problemi.

Uno scopo della presente invenzione consiste, secondo la rivendicazione 1, in un metodo per la conversione di un segnale audio n-canale (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) in un segnale audio bicanale (Ro, Lo), in cui  $n \geq 3$  e intero, comprendente il passo di generare ciascuno dei segnali audio bicanale, destro (Ro) o sinistro (Lo), mediante una combinazione di:

- una componente di segnale anteriore (R, L) del segnale audio n-canale dello stesso lato (destro o sinistro), e

- un termine dipendente da n, comprendente una o più ulteriori componenti di segnale del segnale audio n-canale (C, Ls, Rs, Rss, Lss) moltiplicate per almeno un rispettivo coefficiente di filtraggio (H1, H2, H3, H4, H5, H6) dato da un rapporto tra:

una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione della rispettiva componente di segnale del segnale audio n-canale prima del down-mixing e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore, e

una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione di un rispettivo segnale dei segnali audio bicanale downmixati, destro (Ro) o sinistro (Lo), e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore.

Un ulteriore scopo della presente invenzione consiste in un apparato per la conversione di un segnale audio n-canale (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) in un segnale audio stereo bicanale (Ro, Lo), in cui n è un numero intero per cui vale  $n \geq 3$ , comprendente: ingressi per ricevere il segnale audio digitale n-canale; un circuito di down-mixing per convertire il segnale audio n-canale nel segnale audio stereo bicanale; uscite per fornire il segnale audio stereo bicanale a un diffusore sinistro e un diffusore destro, caratterizzato dal fatto che il circuito di down-mixing è provvisto di mezzi per generare ciascuno dei due segnali audio bicanale, destro (Ro) o sinistro (Lo), mediante una combinazione di:

- una componente di segnale anteriore (R, L) del segnale audio n-canale dello stesso

lato (destra o sinistra), e

- un termine dipendente da  $n$ , comprendente una o più ulteriori componenti di segnale del segnale audio  $n$ -canale (C, Ls, Rs, Rss, Lss ) moltiplicate per almeno un rispettivo coefficiente di filtraggio (H1, H2, H3, H4, H5, H6) dato da un rapporto tra:

una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione della rispettiva componente di segnale del segnale audio  $n$ -canale prima del down-mixing e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore, e

una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione di un rispettivo segnale dei segnali audio bicanale downmixati, destro (Ro) o sinistro (Lo), e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore.

Ulteriori scopi consistono in apparati in cui  $n=3$  o  $n=4$  o  $n=5$  o  $n=7$ , in conformità con le caratteristiche dell'apparato precedentemente definito.

Questi e altri scopi sono raggiunti per mezzo di un apparato e un metodo per la correzione di localizzazione in fase di down-mixing di un segnale audio multicanale in un segnale audio bicanale come descritto nelle rivendicazioni allegate, che sono parte integrante della presente descrizione.

#### Breve descrizione dei disegni

L'invenzione risulterà maggiormente chiara dalla descrizione dettagliata che segue, fornita a puro titolo esemplificativo e non limitativo e da leggersi con riferimento ai disegni allegati, in cui:

- la Figura 1 mostra un esempio di disposizione di cinque diffusori per la riproduzione di un segnale sonoro surround;
- la Figura 2 mostra un esempio di disposizione di due diffusori per la riproduzione di un segnale sonoro bicanale donwmixato;
- la Figura 3 mostra un esempio di disposizione di sette diffusori per la riproduzione di un segnale sonoro  $n$ -canale con  $n=7$ ;

- le Figure 4, 5, 6 e 7 mostrano schemi a blocchi di alcuni esempi di realizzazione dell'apparato secondo l'invenzione, rispettivamente in presenza di tre, quattro, cinque e sette segnali sonori.

Nelle figure, gli stessi numeri e lettere di riferimento indicano parti uguali o funzionalmente equivalenti.

#### Descrizione dettagliata delle forme di realizzazione preferite

Il metodo della presente invenzione mira a correggere le distorsioni sopra descritte pre-elaborando le componenti di segnale n-canale prima di combinarle rispettivamente nei segnali Lo e Ro.

In una configurazione tipica si avrà una situazione simile a quella sopra descritta con riferimento alle Figure 1 e 2, in cui: L, R, C, Ls e Rs sono, rispettivamente, le componenti anteriore sinistra, anteriore destra, centrale, posteriore sinistra e posteriore destra del segnale audio multicanale già menzionate in precedenza, riprodotte da rispettivi diffusori. I numeri di canali presenti nel segnale audio multicanale di ingresso possono essere diversi, ossia  $n=3$ , in cui si avranno le componenti di segnale R, L, C;  $n=4$ , con R, L, Rs, Ls;  $n=5$ , con tutte le componenti di segnale L, R, C, Ls e Rs, e così via anche con valori più elevati di n.

Secondo aspetti generali dell'invenzione, il metodo per la conversione di un segnale audio n-canale (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) in un segnale audio bicanale (Ro, Lo), in cui  $n \geq 3$  e intero, comprende il passo di generare ciascuno dei due segnali audio bicanale, destro (Ro) o sinistro (Lo), mediante una combinazione di:

- una componente di segnale anteriore (R, L) del segnale audio n-canale dello stesso lato (destro o sinistro), e
- un termine dipendente da n, comprendente una o più ulteriori componenti di segnale del segnale audio n-canale (C, Ls, Rs, Rss, Lss) moltiplicate per almeno un rispettivo coefficiente di filtraggio (H1, H2, H3, H4, H5, H6) dato da un rapporto tra:
  - una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione della rispettiva componente di segnale del segnale audio n-canale prima del down-

mixing e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore, e

- una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione di un rispettivo segnale dei segnali audio bicanale downmixati, destro (Ro) o sinistro (Lo), e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore.

Di seguito si descriveranno alcuni specifici esempi di realizzazione non limitativi del metodo secondo la presente invenzione.

Un primo aspetto del metodo dell'invenzione prevede la pre-elaborazione di un primo segnale H1 e di un secondo segnale H2 di una componente di segnale surround anteriore centrale del segnale audio n-canale C prima di downmixare il segnale audio n-canale nel segnale audio stereo bicanale. Il passo di pre-elaborazione della componente di segnale surround anteriore centrale C equivale a un pre-filtraggio tramite un primo filtro H1 e un secondo filtro H2, rispettivamente, il quale sostanzialmente soddisfa almeno le formule seguenti:

$$H(c-re) = H1 * H(fr-re), \text{ e}$$

$$H(c-le) = H2 * H(fl-le)$$

in cui H(c-re) e H(c-le) sono le caratteristiche di frequenza dei percorsi trasmissivi tra la posizione del diffusore anteriore centrale e le posizioni dell'orecchio destro e dell'orecchio sinistro, rispettivamente, dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione surround n-canale, e

H(fr-re) è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo bicanale, e

H(fl-le) è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore sinistro" e la posizione dell'orecchio sinistro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo bicanale.

Ulteriori aspetti del metodo prevedono la seguente pre-elaborazione.

Più precisamente, il segnale Rs viene pre-elaborato mediante pre-filtraggio Rs ad opera

di un terzo filtro H3, il quale terzo filtro soddisfa la formula seguente:

$$H3 = H(br-re) / H(fr-re)$$

e Ls viene pre-elaborato mediante pre-filtraggio Ls ad opera di un quarto filtro H4, il quale quarto filtro soddisfa la formula seguente:

$$H4 = H(bl-le) / H(fl-le),$$

in cui:

H(bl-le) è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “posteriore sinistro” e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore nella situazione di riproduzione surround n-canale,

H(br-re) è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “posteriore destro” e la posizione dell’orecchio destro dell’ascoltatore nella situazione di riproduzione surround n-canale,

H(fl-le) e H(fr-re) sono definiti sopra.

In questo modo, l’ascoltatore può percepire con l’orecchio destro la seguente componente di segnale Rs in una situazione di riproduzione stereo:

$$Rs \cdot H3 \cdot \beta \cdot H(fr-re) = Rs \cdot H(br-re) / H(fr-re) \cdot \beta \cdot H(fr-re) = \beta \cdot Rs \cdot H(br-re),$$

che può essere ciò che percepirebbe l’orecchio destro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione surround pentacanale.

Siccome una soluzione esatta per H3 in generale non esiste o non risulta praticamente realizzabile, occorre utilizzare un’approssimazione H3’, in cui:

$$H3' \cdot H(fr-re) \approx H(br-re).$$

Un calcolo equivalente può naturalmente applicarsi anche alla percezione della componente di segnale Ls da parte dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore.

$$Ls \cdot H4 \cdot \beta \cdot H(fl-le) = Ls \cdot H(bl-le) / H(fl-le) \cdot \beta \cdot H(fl-le) = \beta \cdot Ls \cdot H(bl-le),$$

e un’approssimazione equivalente

$$H4' \cdot H(fl-le) \approx H(bl-le).$$

In generale, il metodo di down-mixing genera la componente del canale destro (Ro) del segnale audio stereo nel modo seguente:

$$Ro = \delta \cdot R + \beta \cdot H3 \cdot Rs + A(n)$$



in cui  $R$  è la componente di segnale anteriore destra del canale audio  $n$ -canale,  $\delta$  e  $\beta$  sono fattori di moltiplicazione preferibilmente  $\leq 1$ , e  $A(n)$  è un'equazione dipendente da  $n$ .

Analogamente, l'unità di down-mixing genera la componente del canale sinistro ( $Lo$ ) del segnale audio stereo nel modo seguente:

$$Lo = \delta \cdot L + \beta \cdot H4 \cdot Ls + B(n)$$

in cui  $L$  è la componente di segnale anteriore sinistra del segnale audio  $n$ -canale,  $\delta$  e  $\beta$  sono fattori di moltiplicazione preferibilmente  $\leq 1$ , e  $B(n)$  è un'equazione dipendente da  $n$ .

Per  $n=3$  sono presenti le componenti  $L$ ,  $R$ ,  $C$ , mentre sono assenti le componenti  $Rs$  e  $Ls$ , per cui si avranno le formule seguenti:

$$Ro = \delta \cdot R + \alpha \cdot H1 \cdot C$$

$$Lo = \delta \cdot L + \alpha \cdot H2 \cdot C$$

in cui  $A(n) = \alpha \cdot H1 \cdot C$  e  $B(n) = \alpha \cdot H2 \cdot C$ , e risultano assenti i contributi relativi a  $Rs$  e  $Ls$ .

Per  $n=4$  sono presenti le componenti  $L$ ,  $R$ ,  $Ls$ ,  $Rs$ , mentre è assente la componente  $C$ , per cui nelle suddette formule di  $Lo$ ,  $Ro$  si avrà  $A(n) = B(n) = 0$ .

Per  $n = 5$  sono presenti le componenti  $L$ ,  $R$ ,  $C$ ,  $Ls$ ,  $Rs$ , e nelle suddette formule di  $Ro$ ,  $Lo$  si avrà  $A(n) = \alpha \cdot H1 \cdot C$  e  $B(n) = \alpha \cdot H2 \cdot C$ , in cui  $C$  è la componente di segnale centrale del segnale audio pentacanele già definita in precedenza,  $\alpha$  è un fattore di moltiplicazione minore di 1, e  $H1$ ,  $H2$  sono il primo filtro e il secondo filtro già definiti.

Un'ulteriore forma di realizzazione del metodo dell'invenzione si applica a una situazione con un segnale audio multicanale di ingresso con  $n=7$  canali di ingresso.

Con riferimento a Fig. 3, in questo caso si avranno ancora le cinque componenti del segnale audio multicanale  $L$ ,  $R$ ,  $C$ ,  $Ls$  e  $Rs$ , rispettivamente anteriore sinistra, anteriore destra, centrale, posteriore sinistra e posteriore destra, della situazione con  $n=5$ , con in più due componenti aggiuntive date da un canale laterale destro  $Rss$  e un canale laterale sinistro  $Lss$ .

In questo caso di  $n=7$ , il metodo dell'invenzione prevede una quinta unità di pre-elaborazione del segnale ( $H5$ ) per pre-elaborare la componente di segnale laterale

destra del segnale audio n-canale ( $R_{ss}$ ) prima di downmixare il segnale audio n-canale nel segnale audio stereo bicanale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale destra essendo equivalente a un passo di pre-filtraggio  $H_5$ , il quale passo di filtraggio  $H_5$  sostanzialmente soddisfa almeno la formula seguente:

$$H(sr-re) = H_5 * H(fr-re),$$

in cui  $H(sr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “laterale destro”  $R_{ss}$  e la posizione dell’orecchio destro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione surround eptacanale, e

$H(fr-re)$  è la caratteristica di frequenza sopra definita del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “anteriore destro” e la posizione dell’orecchio destro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo bicanale.

Il metodo dell’invenzione prevede inoltre una sesta unità di pre-elaborazione del segnale ( $H_6$ ) per pre-elaborare la componente di segnale laterale sinistra del segnale audio n-canale ( $L_{ss}$ ) prima di downmixare il segnale audio n-canale nel segnale audio stereo bicanale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale sinistra essendo equivalente a un passo di pre-filtraggio  $H_6$ , il quale passo di filtraggio  $H_6$  sostanzialmente soddisfa almeno la formula seguente:

$$H(sl-le) = H_6 * H(fl-le),$$

in cui  $H(sl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “laterale sinistro”  $L_{ss}$  e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione surround eptacanale, e

$H(fl-le)$  è la caratteristica di frequenza sopra definita del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “anteriore sinistro” e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo bicanale.

Nel caso di  $n=7$ ,  $A(n) = \alpha \cdot H_1 \cdot C + \gamma \cdot H_5 \cdot R_{ss}$  e  $B(n) = \alpha \cdot H_2 \cdot C + \gamma \cdot H_6 \cdot L_{ss}$ .

In generale, la presenza dei fattori di moltiplicazione ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\eta$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ ) nelle varie formule tiene in considerazione l’esigenza di controllare il livello globale del suono generato dal segnale downmixato, riducendo proporzionalmente i contributi delle componenti sonore originali. Ciascuna di esse viene quindi impostata a un valore

minore di 1.

Una modalità preferita di realizzazione della funzionalità di filtraggio delle unità di pre-elaborazione H1, H2, H3, H4, H5, H6 consiste nell'implementare un filtro tempo-discreto a risposta finita all'impulso (FIR, Finite Impulse Response) con coefficienti di filtraggio fissi e calcolati preventivamente.

I coefficienti di filtraggio possono essere derivati dalle risposte all'impulso desiderate K1, K2, K3, K4, K5, K6 dei rispettivi filtri.

Ad esempio, per un filtro in forma diretta il vettore dei coefficienti è identico alla funzione di risposta all'impulso. K1 e K2 sono calcolati come descritto di seguito.

Il calcolo di K1 si basa sulle risposte all'impulso sul percorso trasmissivo  $K(fr-re)$  e  $K(br-re)$ , che sono le controparti nel dominio temporale delle corrispondenti caratteristiche di frequenza del percorso trasmissivo  $H(fr-re)$ ,  $H(br-re)$ .

Lo stesso vale per il calcolo di K2, basato su  $K(fl-le)$  e  $K(bl-le)$ , che corrispondono rispettivamente a  $H(fl-le)$  e  $H(bl-le)$ .

I risultati dei calcoli K1 e K2 sono le controparti nel dominio temporale rispettivamente delle caratteristiche di frequenza dei filtri H1 e H2.

Un metodo comune per determinare dette risposte all'impulso sul percorso trasmissivo consiste nel registrarle direttamente con un apparecchio di misurazione dotato di un diffusore e un microfono opportunamente posizionati in una sala, preferibilmente in una camera anecoica.

L'impiego di un microfono montato su una finta testa umana rappresenta il modo più comune, e in questo caso preferito, di ottenere risposte all'impulso in relazione alla testa umana (HRIR, Head-Related Impulse Response), le quali sono le controparti nel dominio temporale delle funzioni di trasferimento in relazione alla testa umana (HRTF, Head-Related Transfer Functions).

Un metodo preferito per il calcolo di K1 si basa sul concetto noto di approssimazione ai minimi quadrati del sistema di equazione lineare che esprime la convoluzione di un filtro con un segnale di ingresso, identificato con un segnale di uscita.

Questo metodo si basa anche sui concetti noti di filtraggio inverso o deconvoluzione, e

sarà descritto brevemente qui di seguito.

In questo caso si avrà:

$$K(fr-re) (*) K1 = K(br-re) ,$$

in cui (\*) è l'operatore di convoluzione (che denota una convoluzione discreta).

Espandendo il sistema di equazione in forma di matrice, il lato sinistro dell'equazione diventa una matrice Toeplitz formata da  $K(fr-re)$ , moltiplicata per un vettore equivalente a  $K1$ , e il lato destro dell'equazione è un vettore equivalente a  $K(br-re)$ .

Per questo sistema di equazione lineare si esegue quindi uno dei metodi noti di approssimazione ai minimi quadrati, ad esempio una decomposizione ai valori singolari (SVD, Singular Value Decomposition). In tal modo si ottiene una soluzione appropriata per  $K1$ .

Lo stesso calcolo si esegue rispettivamente per  $K2$  con:

$$K(fl-le) (*) K2 = K(bl-le) .$$

Per quanto riguarda alcuni esempi di realizzazione dell'apparato, ai fini dell'implementazione del metodo per la conversione di un segnale audio multicanale in un segnale audio bicanale secondo la presente invenzione sono da ritenersi valide le seguenti considerazioni.

In caso di trasmissione di un segnale (surround) multicanale originale, il metodo dell'invenzione può essere implementato in un normale apparecchio stereo opportunamente modificato per comprendere mezzi atti alla realizzazione del metodo. Con riferimento alle Figure 4, 5, 6 e 7, si descriveranno ora quattro schemi a blocchi di altrettanti esempi di apparati secondo l'invenzione, rispettivamente relativi ai casi di  $n=3$ ,  $n=4$ ,  $n=5$  e  $n=7$ .

In Fig. 4, tre segnali di ingresso provenienti da sorgenti sonore L, R, C sono applicati a circuiti che li moltiplicano per fattori  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $H1$ ,  $H2$  secondo le formule sopra citate per  $n=3$ . I rispettivi risultati sono forniti a due circuiti sommatori AD1, AD2, che forniscono rispettivamente in uscita i segnali stereo downmixati  $Lo$ ,  $Ro$ .

In Fig. 5, quattro segnali di ingresso provenienti da sorgenti sonore L,  $Ls$ ,  $Rs$ , R sono applicati a circuiti che li moltiplicano per fattori  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $H3$ ,  $H4$  secondo le formule sopra

citare per  $n=4$ . I rispettivi risultati sono forniti a due circuiti sommatore AD3, AD4, che forniscono rispettivamente in uscita i segnali stereo downmixati Lo, Ro.

In Fig. 6, cinque segnali di ingresso provenienti da sorgenti sonore L, Ls, C, Rs, R sono applicati a circuiti che li moltiplicano per fattori  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ , H1, H2, H3, H4 secondo le formule sopra citate per  $n=5$ . I rispettivi risultati sono forniti a due circuiti sommatore AD5, AD6, che forniscono rispettivamente in uscita i segnali stereo downmixati Lo, Ro.

In Fig. 7, sette segnali di ingresso provenienti da sorgenti sonore L, Ls, Lss, C, Rss, Rs, R sono applicati a circuiti che li moltiplicano per fattori  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , H1, H2, H3, H4, H5, H6 secondo le formule sopra citate per  $n=7$ . I rispettivi risultati sono forniti a due circuiti sommatore AD7, AD8, che forniscono rispettivamente in uscita i segnali stereo downmixati Lo, Ro.

Il metodo della presente invenzione può essere vantaggiosamente implementato attraverso un programma informatico comprendente mezzi di codifica di programma per l'implementazione di uno o più passi del metodo allorché tale programma viene eseguito su un computer. Resta inteso che l'ambito di protezione si estende a tale programma informatico e anche a mezzi leggibili da computer contenenti un messaggio registrato, detti mezzi leggibili da computer comprendendo mezzi di codifica di programma per l'implementazione di uno o più passi del metodo allorché tale programma viene eseguito su un computer.

L'uomo del ramo potrà apportare cambiamenti, modifiche e variazioni alla presente invenzione o utilizzarla per altre applicazioni sulla base della presente descrizione e dei disegni allegati, che ne illustrano alcune forme di realizzazione preferite.

Non si descrivono qui ulteriori dettagli di implementazione, in quanto l'uomo del ramo sarà in grado di realizzare l'invenzione facendo riferimento agli insegnamenti della presente descrizione.

**RIVENDICAZIONI**

1. Metodo per la conversione di un segnale audio n-canale (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) in un segnale audio bicanale (Ro, Lo), in cui  $n \geq 3$  e intero, comprendente il passo di generare ciascuno dei segnali audio bicanale, destro (Ro) o sinistro (Lo), mediante una combinazione di:

- una componente di segnale anteriore (R, L) del segnale audio n-canale dello stesso lato (destro o sinistro), e
- un termine dipendente da n, comprendente una o più ulteriori componenti di segnale del segnale audio n-canale (C, Ls, Rs, Rss, Lss) moltiplicate per almeno un rispettivo coefficiente di filtraggio (H1, H2, H3, H4, H5, H6) dato da un rapporto tra:

- una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione della rispettiva componente di segnale del segnale audio n-canale prima del down-mixing e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore, e
- una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione di un rispettivo segnale dei segnali audio bicanale downmixati, destro (Ro) o sinistro (Lo), e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore.

2. Apparato per la conversione di un segnale audio n-canale (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) in un segnale audio stereo bicanale (Ro, Lo), in cui n è un numero intero per cui vale  $n \geq 3$ , comprendente:

- ingressi per ricevere il segnale audio digitale n-canale,
- un circuito di down-mixing per convertire il segnale audio n-canale nel segnale audio stereo bicanale,
- uscite per fornire il segnale audio stereo bicanale a un diffusore sinistro e un diffusore destro,

caratterizzato dal fatto che il circuito di down-mixing è provvisto di mezzi per generare ciascuno dei segnali audio bicanale, destro (Ro) o sinistro (Lo), mediante una

combinazione di:

- una componente di segnale anteriore (R, L) del segnale audio n-canale dello stesso lato (destro o sinistro), e
- un termine dipendente da n, comprendente una o più ulteriori componenti di segnale del segnale audio n-canale (C, Ls, Rs, Rss, Lss ) moltiplicate per almeno un rispettivo coefficiente di filtraggio (H1, H2, H3, H4, H5, H6) dato da un rapporto tra:

- una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione della rispettiva componente di segnale del segnale audio n-canale prima del down-mixing e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore, e

- una caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione di un rispettivo segnale dei segnali audio bicanale downmixati, destro (Ro) o sinistro (Lo), e una posizione dell'orecchio destro o dell'orecchio sinistro, rispettivamente, di un ascoltatore.

3. Apparato per la conversione di un segnale audio n-canale (L,C,R) in un segnale audio stereo bicanale (Ro, Lo), in cui n è un numero intero per cui vale  $n \geq 3$ , secondo la rivendicazione 2, in cui:

detto circuito di down-mixing è provvisto di una prima e una seconda unità di pre-elaborazione del segnale (H1, H2) per pre-elaborare una componente di segnale surround anteriore centrale del segnale audio n-canale (C) prima di downmixare il segnale audio n-canale nel segnale audio stereo bicanale, i passi di pre-elaborazione della componente di segnale surround anteriore centrale essendo equivalenti a rispettivi passi di pre-filtraggio H1 e H2, i quali passi di filtraggio H1 e H2 sostanzialmente soddisfano almeno le formule seguenti:

$$H(c-re) = H1 * H(fr-re), e$$

$$H(c-le) = H2 * H(fl-le)$$

in cui H(c-re) e H(c-le) sono le caratteristiche di frequenza dei percorsi trasmissivi tra la posizione del diffusore anteriore centrale e le posizioni dell'orecchio destro e

dell'orecchio sinistro, rispettivamente, dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione surround n-canale, e

$H(fr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo bicanale, e

$H(fl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore sinistro" e la posizione dell'orecchio sinistro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo bicanale.

4. Apparato per la conversione di un segnale audio n-canale (L, R, Ls, Rs) in un segnale audio stereo bicanale (Ro, Lo), in cui n è un numero intero per cui vale  $n \geq 4$ , secondo la rivendicazione 2, in cui:

detto circuito di down-mixing è provvisto di una terza unità di pre-elaborazione del segnale (H3) per pre-elaborare la componente di segnale surround posteriore destra del segnale audio n-canale (Rs) prima di downmixare il segnale audio n-canale nel segnale audio stereo bicanale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale surround posteriore destra essendo equivalente a un passo di pre-filtraggio H3, il quale passo di filtraggio H3 sostanzialmente soddisfa almeno la formula seguente:

$$H(br-re) = H3 * H(fr-re),$$

in cui  $H(br-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "posteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione surround n-canale, e

$H(fr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo bicanale.

5. Apparato per la conversione di un segnale audio n-canale (L,R,Ls,Rs) in un segnale audio stereo bicanale (Ro,Lo), in cui n è un numero intero per cui vale  $n \geq 4$ , in cui:



detto circuito di down-mixing è provvisto di una quarta unità di pre-elaborazione del segnale (H4) per pre-elaborare la componente di segnale surround posteriore sinistra del segnale audio n-canale (Ls) prima di downmixare il segnale audio n-canale nel segnale audio stereo bicanale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale surround posteriore sinistra essendo equivalente a un passo di pre-filtraggio H4, il quale passo di filtraggio H4 sostanzialmente soddisfa almeno la formula seguente:

$$H(bl-le) = H4 * H(fl-le)$$

in cui H(bl-le) è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "posteriore sinistro" e la posizione dell'orecchio sinistro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione surround n-canale, e

H(fl-le) è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore sinistro" e la posizione dell'orecchio sinistro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo bicanale.

6. Apparato secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che l'unità di down-mixing è atta a generare la componente del canale destro (Ro) del segnale audio stereo nel modo seguente:

$$Ro = \delta \cdot R + \beta \cdot H3 \cdot Rs + A(n)$$

in cui R è la componente di segnale anteriore destra del segnale audio n-canale,  $\delta$  e  $\beta$  sono fattori di moltiplicazione preferibilmente  $\leq 1$ , e A(n) è un'equazione dipendente da n.

7. Apparato secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che l'unità di down-mixing è atta a generare la componente del canale sinistro (Lo) del segnale audio stereo nel modo seguente:

$$Lo = \delta \cdot L + \beta \cdot H4 \cdot Ls + B(n)$$

in cui L è la componente di segnale anteriore sinistra del segnale audio n-canale,  $\delta$  e  $\beta$  sono fattori di moltiplicazione preferibilmente  $\leq 1$ , e B(n) è un'equazione dipendente da n.

8. Apparato secondo le rivendicazioni 6 e 7, caratterizzato dal fatto che, per  $n = 4$ ,  $A(n) = B(n) = 0$ .

9. Apparato secondo le rivendicazioni 6 e 7, caratterizzato dal fatto che, per  $n = 5$ ,  $A(n) = \alpha \cdot \underline{H1} \cdot C$  e  $B(n) = \alpha \cdot \underline{H2} \cdot C$ , in cui  $C$  è la componente di segnale centrale del segnale audio pentacanele,  $\alpha$  essendo un fattore di moltiplicazione minore di 1.

10. Apparato secondo le rivendicazioni 6 e 7, caratterizzato dal fatto che  $n = 7$  e che il circuito di down-mixing è provvisto di una quinta unità di pre-elaborazione del segnale ( $H5$ ) per pre-elaborare una componente di segnale laterale destra del segnale audio n-canale ( $R_{ss}$ ) prima di downmixare il segnale audio n-canale nel segnale audio stereo bicanale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale destra essendo equivalente a un passo di pre-filtraggio  $H5$ , il quale passo di filtraggio  $H5$  sostanzialmente soddisfa almeno la formula seguente:

$$H(sr-re) = H5 * H(fr-re),$$

in cui  $H(sr-re)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "laterale destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione surround eptacanele, e

$H(fr-re)$  è la caratteristica di frequenza sopra definita del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore "anteriore destro" e la posizione dell'orecchio destro dell'ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo bicanale.

11. Apparato secondo le rivendicazioni 6 e 7, caratterizzato dal fatto che  $n = 7$  e che il circuito di down-mixing è provvisto di una sesta unità di pre-elaborazione del segnale ( $H6$ ) per pre-elaborare una componente di segnale laterale sinistra del segnale audio n-canale ( $L_{ss}$ ) prima di downmixare il segnale audio n-canale nel segnale audio stereo bicanale, il passo di pre-elaborazione della componente di segnale laterale sinistra essendo equivalente a un passo di pre-filtraggio  $H6$ , il quale passo di filtraggio  $H6$  sostanzialmente soddisfa almeno la formula seguente:

$$H(sl-le) = H6 * H(fl-le),$$

in cui  $H(sl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “laterale sinistro” e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione surround eptacanale, e

$H(fl-le)$  è la caratteristica di frequenza del percorso trasmissivo tra la posizione del diffusore “anteriore sinistro” e la posizione dell’orecchio sinistro dell’ascoltatore in una situazione di riproduzione stereo bicanale.

12. Apparato secondo le rivendicazioni 10 e 11, caratterizzato dal fatto che, per  $n = 7$ ,  $A(n) = \alpha \cdot H1 \cdot C + \gamma \cdot H5 \cdot Rss$  e  $B(n) = \alpha \cdot H2 \cdot C + \gamma \cdot H6 \cdot Lss$ .

13. Programma informatico comprendente mezzi di codifica di programma informatico atti ad eseguire tutti i passi della rivendicazione 1 allorquando detto programma viene eseguito su un computer.

14. Mezzo leggibile da computer su cui è registrato un programma, detto mezzo leggibile da computer comprendendo mezzi di codifica di programma informatico atti ad eseguire tutti i passi della rivendicazione 1 allorquando detto programma viene eseguito su un computer.

**CLAIMS**

1. Method for conversion of a n-channel audio signal (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) into a two-channel audio signal (Ro, Lo), where  $n \geq 3$  and integer, comprising the step of generating each one of the two-channel audio signals, right (Ro) or left (Lo), by a combination of:

- a front (R, L) signal component of the n-channel audio signal of the same side (right or left), and
- a term dependent of n, comprising one or more of further signal components of the n-channel audio signal (C, Ls, Rs, Rss, Lss) multiplied by at least one respective filtering coefficient (H1, H2, H3, H4, H5, H6) given by a ratio between:

- a frequency characteristic of the transmission path between the position of the respective signal component of the n-channel audio signal prior to down-mixing, and a position of the right ear or left ear, respectively, of a listener, and
- a frequency characteristic of the transmission path between the position of a respective one of the two-channel audio down-mixed signals, right (Ro) or left (Lo), and a position of the right ear or left ear, respectively, of a listener.

2. Apparatus for converting an n-channel audio signal (L, R, C, Ls, Rs, Rss, Lss) into a two-channel stereo audio signal (Ro, Lo), where n is an integer for which holds  $n \geq 3$ , comprising

- inputs for receiving the n-channel digital audio signal,
- a down-mixing circuit for converting the n-channel audio signal into the two-channel stereo audio signal,
- outputs for supplying the two-channel stereo audio signal to a left and a right loudspeaker,

characterized in that the down-mixing circuit is provided with means for generating each one of the two-channel audio signals, right (Ro) or left (Lo), by a combination of:

- a front (R, L) signal component of the n-channel audio signal of the same side (right or left), and
- a term dependent of n, comprising one or more of further signal components of the

n-channel audio signal (C, Ls, Rs, Rss, Lss ) multiplied by at least one respective filtering coefficient (H1, H2, H3, H4, H5, H6) given by a ratio between:

- a frequency characteristic of the transmission path between the position of the respective signal component of the n-channel audio signal prior to down-mixing, and a position of the right ear or left ear, respectively, of a listener, and
- a frequency characteristic of the transmission path between the position of a respective one of the two-channel audio down-mixed signals, right (Ro) or left (Lo), and a position of the right ear or left ear, respectively, of a listener.

3. Apparatus for converting an n-channel audio signal (L,C,R) into a two-channel stereo audio signal (Ro, Lo), where n is an integer for which holds  $n \geq 3$ , as in claim 2, wherein:

said down-mixing circuit is provided with first and second signal pre-processing units (H1, H2) for pre-processing a front-center surround signal component of the n-channel audio signal (C) prior to down-mixing the n-channel audio signal into the two-channel stereo audio signal, the pre-processing steps on the front-center surround signal component being equivalent to pre-filtering steps H1 and H2 respectively, which filtering steps H1 and H2 at least substantially satisfy the following formulae:

$$H(c-re) = H1 * H(fr-re), \text{ and}$$

$$H(c-le) = H2 * H(fl-le)$$

where H(c-re) and H(c-le) are the frequency characteristics of the transmission paths between the position of the front-center loudspeaker and the positions of the right ear and left ear, respectively, of the listener, in an n-channel surround reproduction situation, and

H(fr-re) is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the "front-right" loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in a two-channel stereo reproduction situation, and

H(fl-re) is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the "front-left" loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in a two-channel stereo reproduction situation.

4. Apparatus for converting an n-channel audio signal (L, R, Ls, Rs) into a two-channel stereo audio signal (Ro, Lo), where n is an integer for which holds  $n \geq 4$ , as in claim 2, wherein:

said down-mixing circuit is provided with a third signal pre-processing unit (H3) for pre-processing the back right surround signal component of the n-channel audio signal (Rs) prior to down-mixing the n-channel audio signal into the two-channel stereo audio signal, the pre-processing step on the back right surround signal component being equivalent to a pre-filtering step H3, which filtering step H3 at least substantially satisfies the following formula:

$$H(\text{br-re}) = H3 * H(\text{fr-re}),$$

where  $H(\text{br-re})$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “back-right” loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in an n channel surround reproduction situation, and

$H(\text{fr-re})$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “front-right” loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in a two-channel stereo reproduction situation.

5. Apparatus for converting an n-channel audio signal (L,R,Ls,Rs) into a two-channel stereo audio signal (Ro,Lo), where n is an integer for which holds  $n \geq 4$ , wherein:

said down-mixing circuit is provided with a fourth signal pre-processing unit (H4) for pre-processing the back left surround signal component of the n-channel audio signal (Ls) prior to down-mixing the n-channel audio signal into the two-channel stereo audio signal, the pre-processing step on the back left surround signal component being equivalent to a pre-filtering step H4, which filtering step H4 at least substantially satisfies the following formula:

$$H(\text{bl-le}) = H4 * H(\text{fl-le})$$

where  $H(\text{bl-le})$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “back-left” loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in an n channel surround reproduction situation, and

$H(\text{fl-le})$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “front-left” loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in a two-

channel stereo reproduction situation.

6. Apparatus as claimed in claim 4, characterized in that the down-mixing unit is adapted to generate the right hand channel component ( $R_o$ ) of the stereo audio signal in the following way:

$$R_o = \delta \cdot R + \beta \cdot H_3 \cdot R_s + A(n)$$

where  $R$  is the front right signal component of the  $n$ -channel audio signal,  $\delta$  and  $\beta$  are multiplication factors preferably  $\leq 1$ , and  $A(n)$  an equation dependent of  $n$ .

7. Apparatus as claimed in claim 5, characterized in that the down-mixing unit is adapted to generate the left hand channel component ( $L_o$ ) of the stereo audio signal in the following way:

$$L_o = \delta \cdot L + \beta \cdot H_4 \cdot L_s + B(n)$$

where  $L$  is the front left signal component of the  $n$ -channel audio signal,  $\delta$  and  $\beta$  are multiplication factors preferably  $\leq 1$ , and  $B(n)$  an equation dependent of  $n$ .

8. Apparatus as claimed in claim 6 and 7, characterized in that for  $n = 4$ ,  $A(n) = B(n) = 0$ .

9. Apparatus as claimed in claim 6 and 7, characterized in that for  $n = 5$ ,  $A(n) = \alpha \cdot H_1 \cdot C$  and  $B(n) = \alpha \cdot H_2 \cdot C$ , where  $C$  is the centre signal component of the five-channel audio signal,  $\alpha$  being a multiplication factor smaller than 1.

10. Apparatus as claimed in claim 6 and 7, characterized in that  $n = 7$ , that the down-mixing circuit is provided with a fifth signal pre-processing unit ( $H_5$ ) for pre-processing a side right signal component of the  $n$ -channel audio signal ( $R_{ss}$ ) prior to down-mixing the  $n$ -channel audio signal into the two-channel stereo audio signal, the pre-processing step on the side right signal component being equivalent to a pre-filtering step  $H_5$ , which filtering step  $H_5$  at least substantially satisfies the following formula:

$$H(sr-re) = H_5 * H(fr-re),$$

where  $H(sr-re)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the "side-right" loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in a seven channel surround reproduction situation, and

$H(fr-re)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “front-right” loudspeaker and the position of the right ear of the listener, in a two-channel stereo reproduction situation.

11. Apparatus as claimed in claim 6 and 7, characterized in that  $n = 7$ , that the down-mixing circuit is provided with a sixth signal pre-processing unit ( $H6$ ) for pre-processing a side left signal component of the  $n$ -channel audio signal ( $Lss$ ) prior to down-mixing the  $n$ -channel audio signal into the two-channel stereo audio signal, the pre-processing step on the side left signal component being equivalent to a pre-filtering step  $H6$ , which filtering step  $H6$  at least substantially satisfies the following formula:

$$H(sl-le) = H6 * H(fl-le),$$

where  $H(sl-le)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “side-left” loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in a five-channel surround reproduction situation, and

$H(fl-le)$  is the frequency characteristic of the transmission path between the position of the “front-left” loudspeaker and the position of the left ear of the listener, in a two-channel stereo reproduction situation.

12. Apparatus as claimed in claim 10 and 11, characterized in that for  $n = 7$ ,  $A(n) = \alpha \cdot H1 \cdot C + \gamma \cdot H5 \cdot Rss$  and  $B(n) = \alpha \cdot H2 \cdot C + \gamma \cdot H6 \cdot Lss$ .

13. Computer program comprising computer program code means adapted to perform all the steps of claim 1, when said program is run on a computer.

14. A computer readable medium having a program recorded thereon, said computer readable medium comprising computer program code means adapted to perform all the steps of claim 1, when said program is run on a computer.



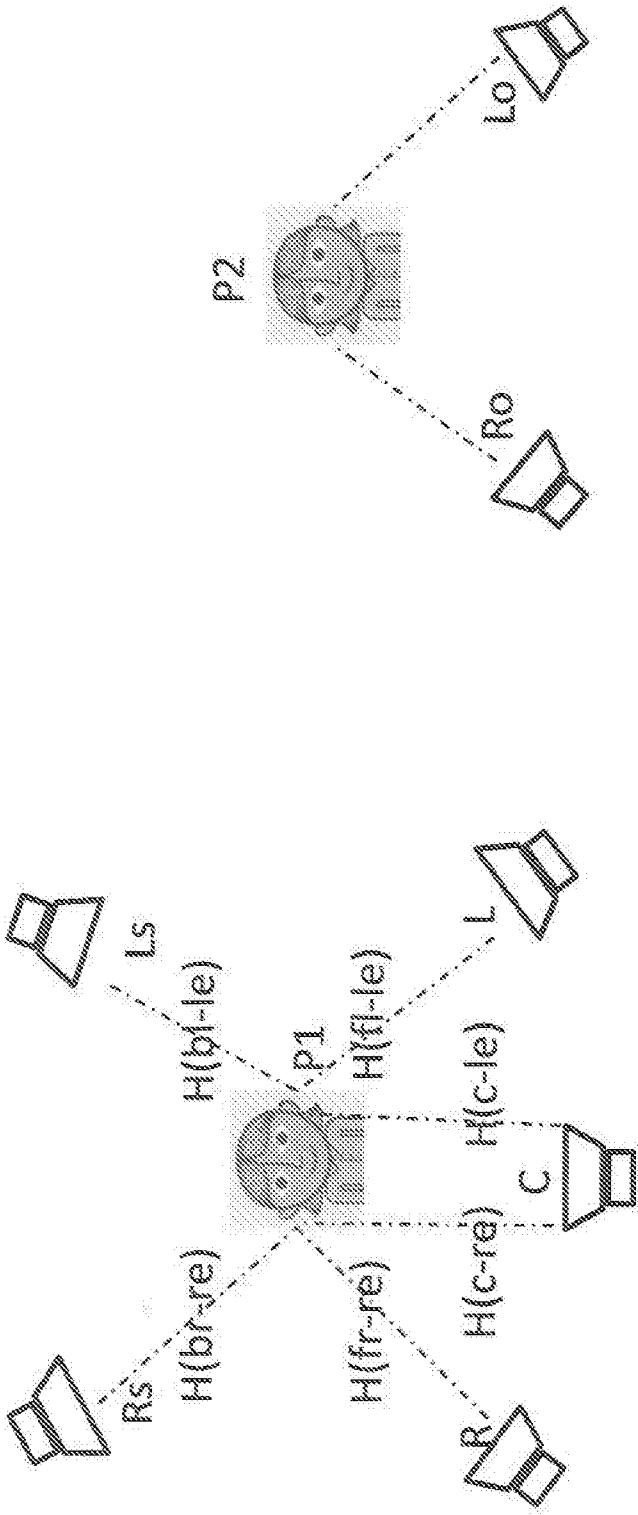
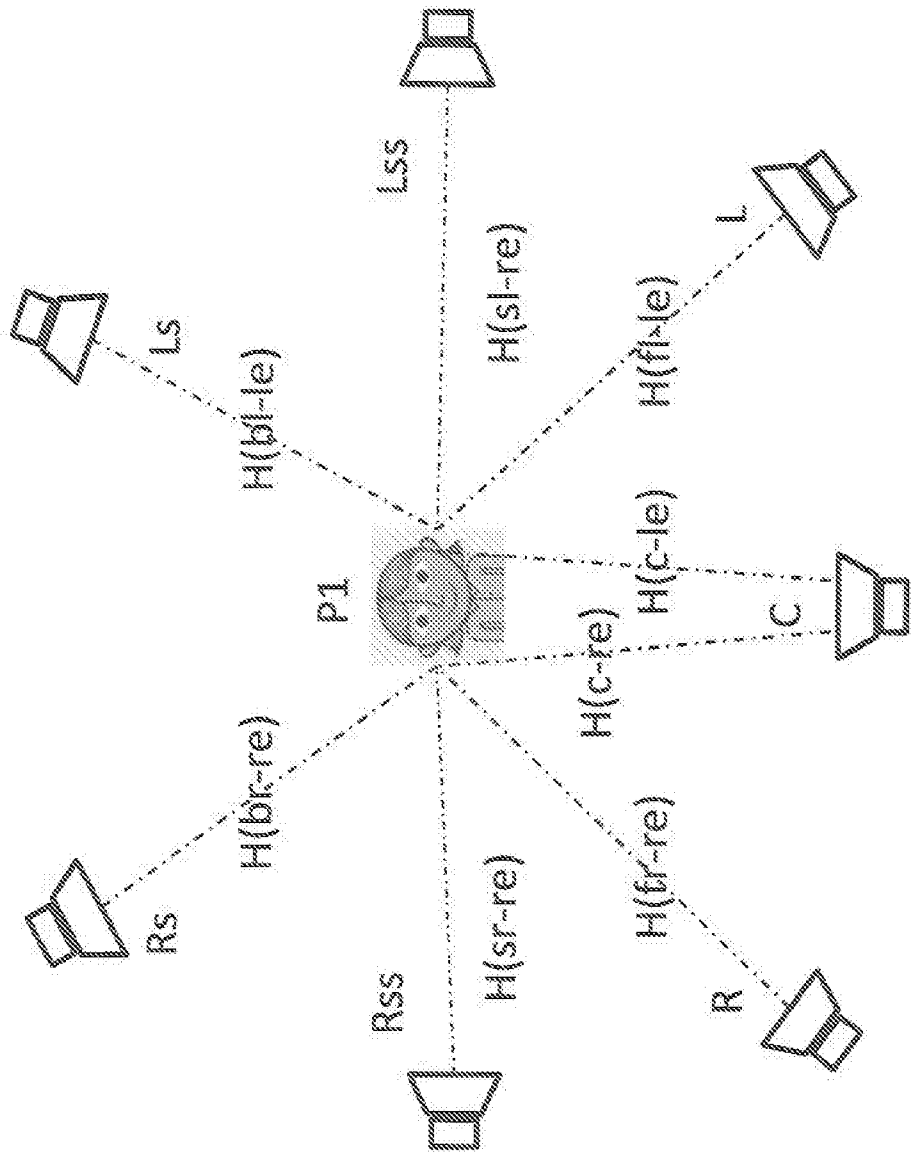


FIG. 1

FIG. 2



**FIG. 3**

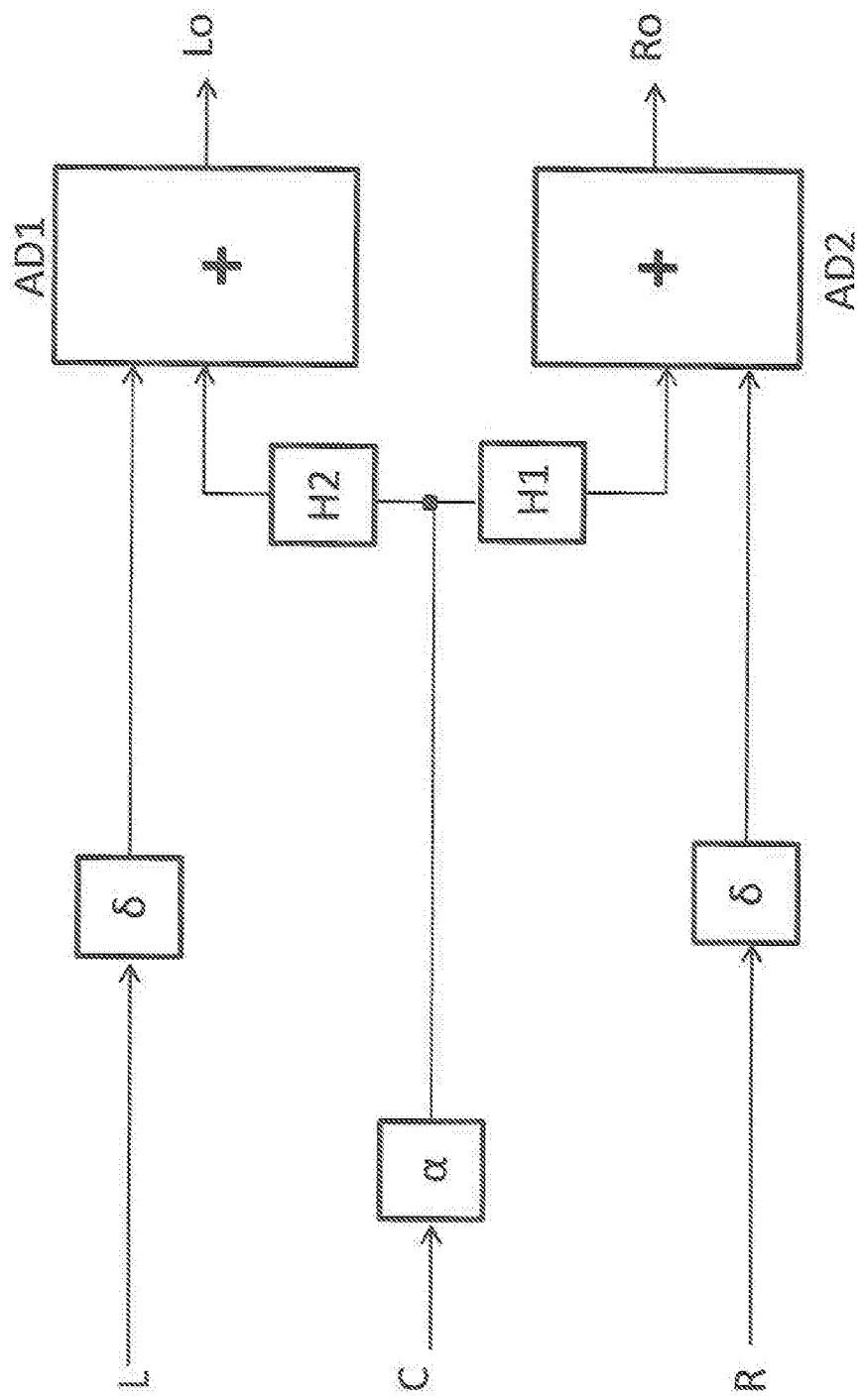


FIG. 4

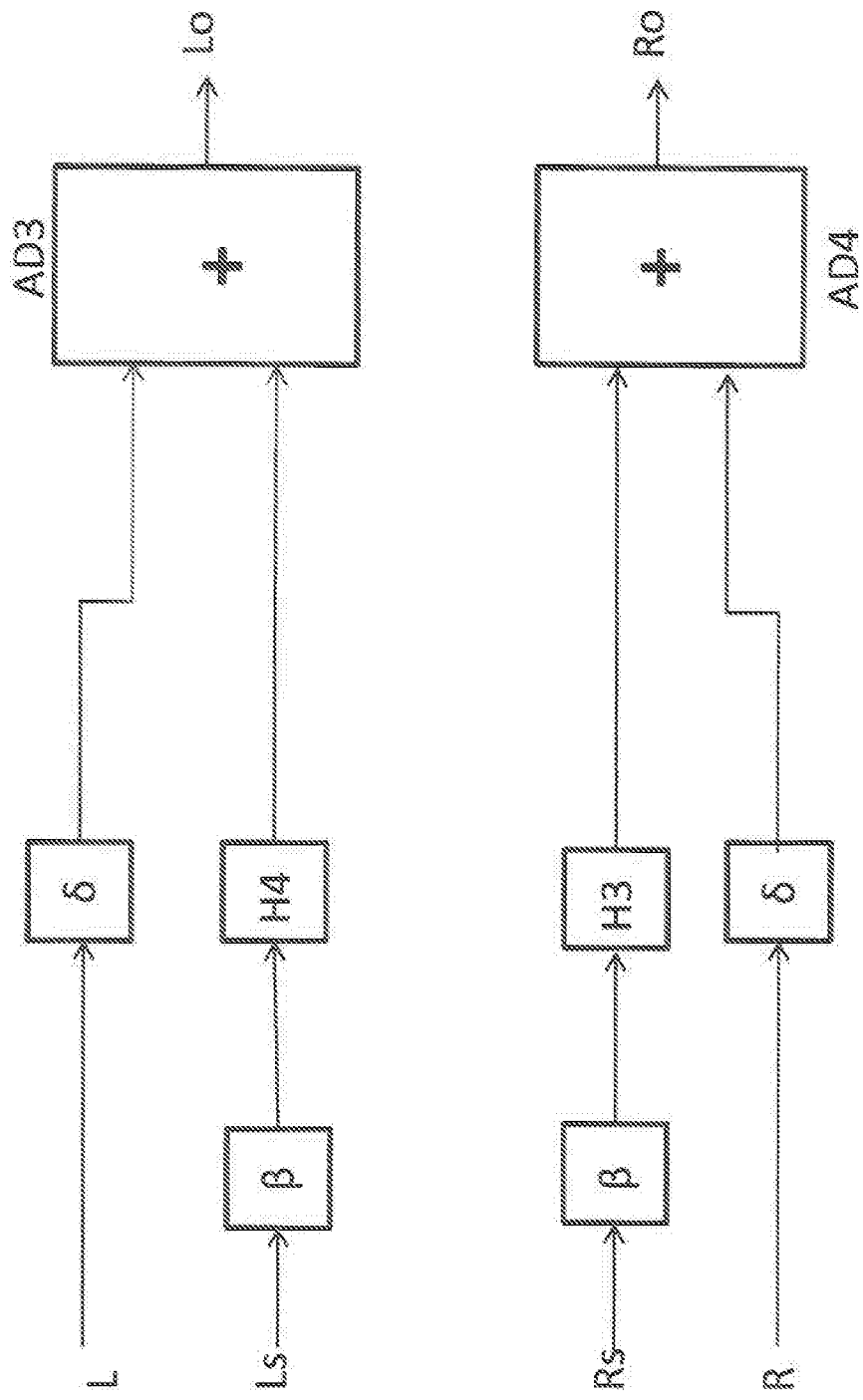


FIG. 5

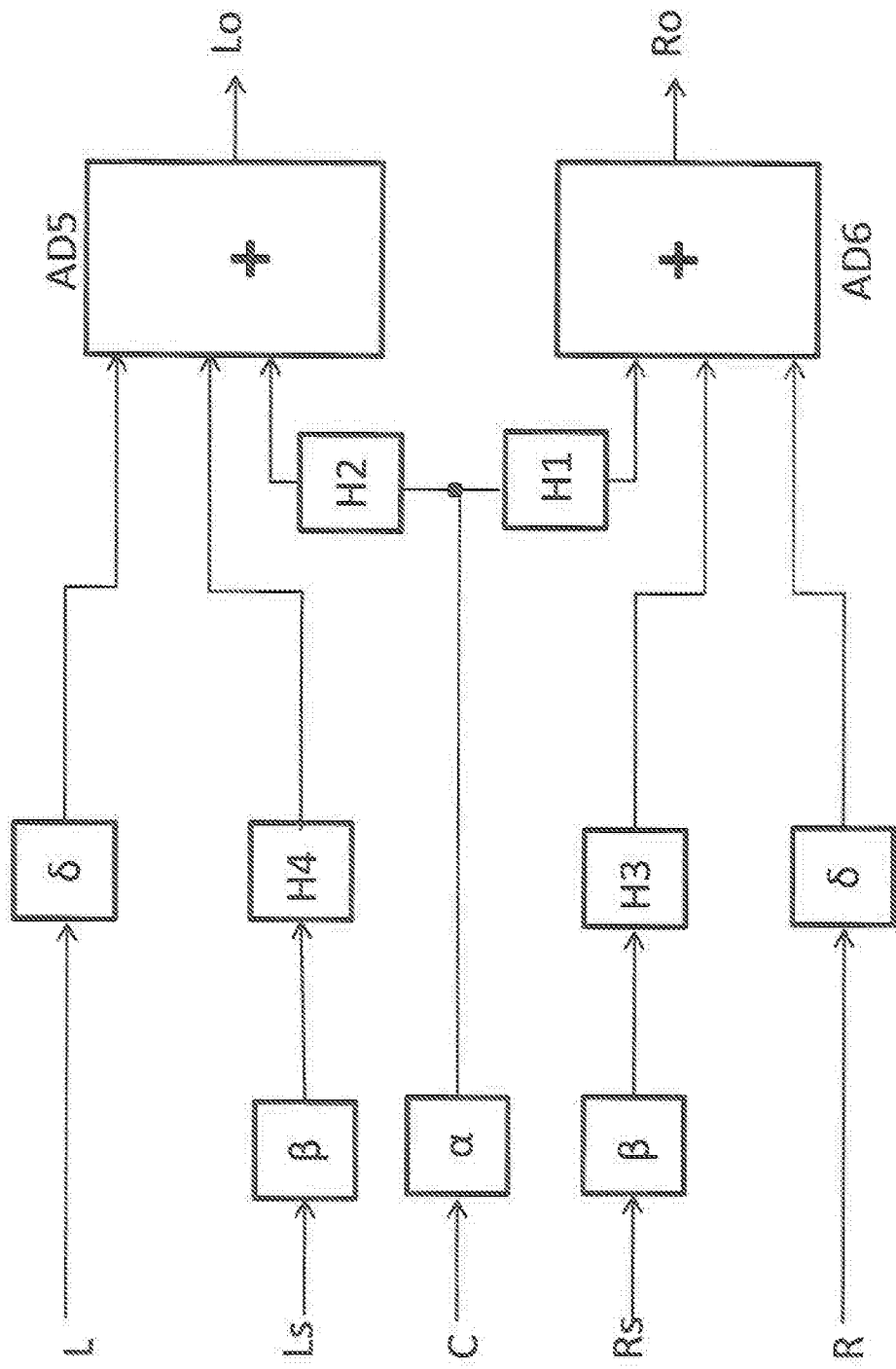


FIG. 6

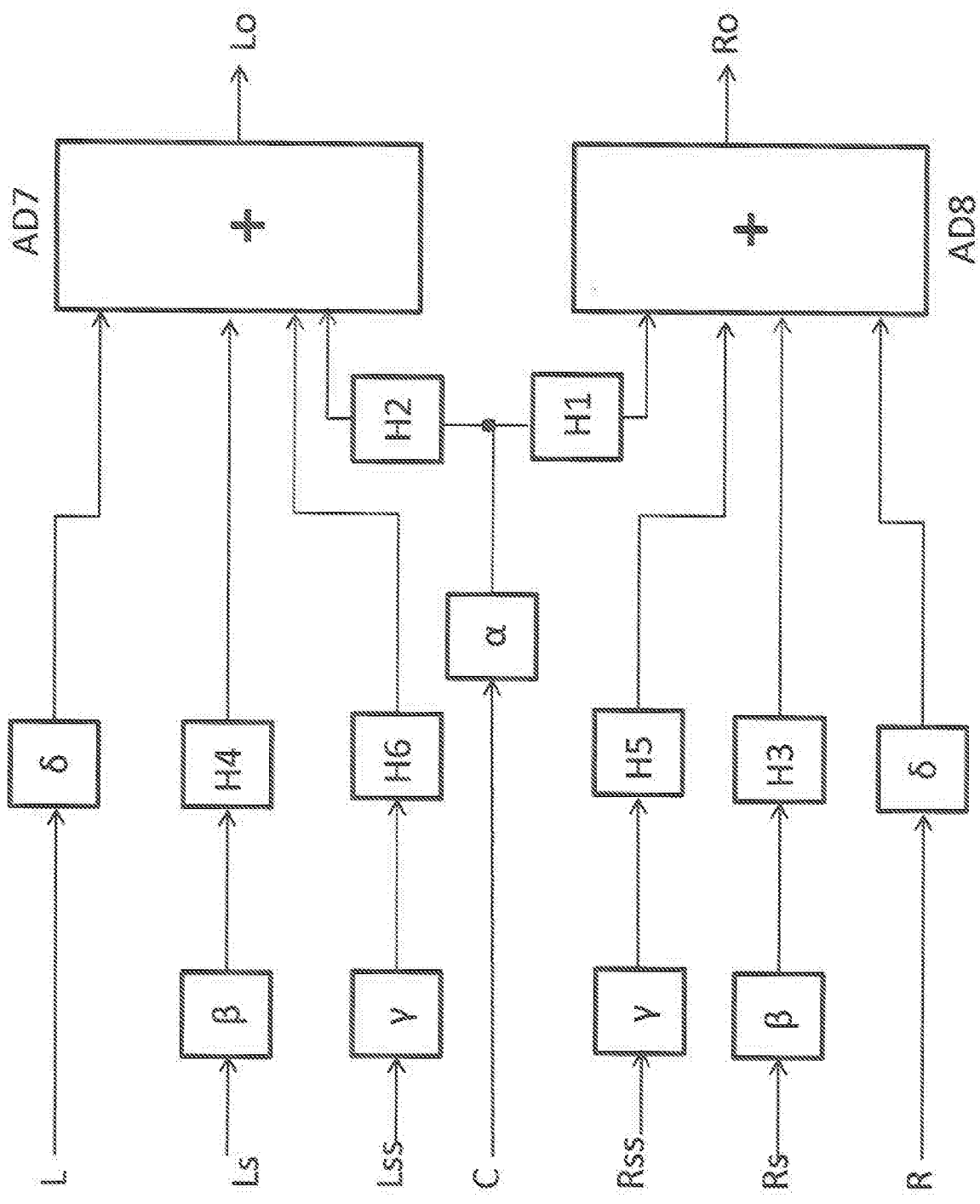


FIG. 7