



(11) **EP 4 554 256 A2**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
14.05.2025 Bulletin 2025/20

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H04S 7/00 (2006.01) H04R 29/00 (2006.01)
H04R 3/00 (2006.01) H04R 3/14 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **24211384.3**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H04R 29/001; H04S 7/30; H04R 3/007; H04R 3/14;
H04S 2400/05; H04S 2400/13

(22) Date de dépôt: **07.11.2024**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
GE KH MA MD TN

(71) Demandeur: **SAGEMCOM BROADBAND SAS**
92270 Bois-Colombes (FR)

(72) Inventeurs:
• **BOURGOIN, Gilles**
92270 BOIS-COLOMBES (FR)
• **NAVION, Guillaume**
92270 BOIS-COLOMBES (FR)

(30) Priorité: **07.11.2023 FR 2312068**

(74) Mandataire: **Cabinet Boettcher**
5, rue de Vienne
75008 Paris (FR)

(54) **REPARTITION DES SIGNAUX AUDIO POUR L'OPTIMISATION THERMIQUE DES HAUT-PARLEURS**

(57) Procédé de diffusion d'un signal audio par un système audio (1) comportant une pluralité de voies audio (4, 5a, 5b, 6a, 6b, 7), comprenant les étapes de :
- diffuser le signal audio en utilisant une répartition primaire du signal audio ;
- évaluer la température d'un haut-parleur (9)
- lorsque la température du haut-parleur devient supérieure à un premier seuil de température, modifier la répartition primaire pour obtenir une répartition optimisée du signal audio, dans laquelle le signal audio primaire du haut-parleur est appliqué au moins partiellement sur au moins une autre voie audio ;
- diffuser le signal audio en utilisant la répartition optimisée.

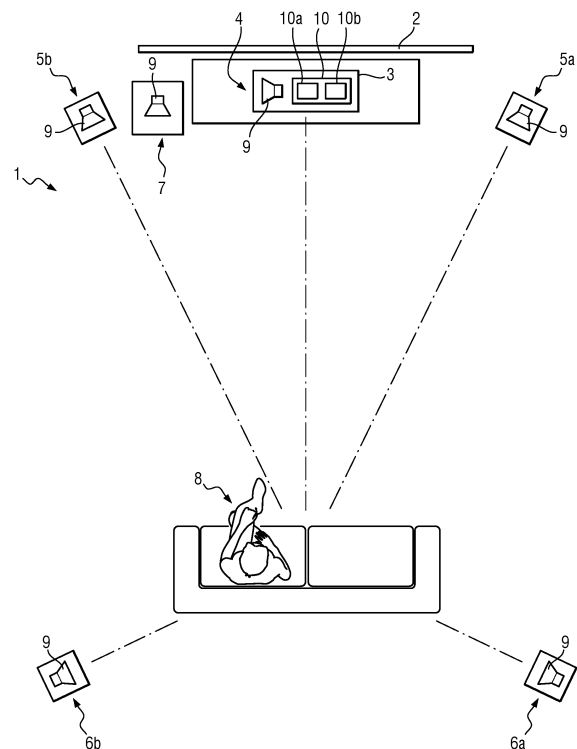


Fig. 1

Description

[0001] L'invention concerne le domaine des systèmes audio multi-canal, intégrés dans un ou plusieurs équipements de restitution audio.

ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

[0002] Un boîtier décodeur, ou STB (pour *Set-Top Box*), est un équipement électrique dont la fonction primaire est d'acquérir un flux audio-vidéo, de décoder ce flux, et de faire diffuser le signal vidéo par un téléviseur et le signal audio par les haut-parleurs du téléviseur et/ou éventuellement par d'autres équipements de restitution audio (barre de son, enceintes connectées, etc.).

[0003] Certains boîtiers décodeurs récents intègrent un ou plusieurs haut-parleurs. Le ou les haut-parleurs peuvent être utilisés dans une fonction d'assistant vocal, voire même pour mettre en oeuvre un système audio multi-canal.

[0004] Le système audio multi-canal comporte alors une ou des voies audio comprenant un ou des haut-parleurs du boîtier décodeur, ainsi éventuellement que des voies audio comprenant des haut-parleurs d'équipements connectés au boîtier décodeur (barre de son et/ou enceintes connectées par exemple).

[0005] La conception d'un tel boîtier décodeur et, plus généralement, de tout équipement compact intégrant un ou des haut-parleurs, engendre des difficultés en matière de dissipation thermique car tous les composants, y compris les haut-parleurs, se trouvent dans un espace très réduit et peu ou pas ventilé. En conséquence, les haut-parleurs peuvent être très sollicités thermiquement dans leur volume d'air réduit, ce qui nuit à leur durée de vie.

[0006] On connaît un certain nombre de solutions de l'art antérieur pour tenter de résoudre ce problème.

[0007] Une solution connue consiste à contrôler, en fonction de la température, la puissance envoyée au haut-parleur après l'amplificateur. Cette solution nécessite donc un convertisseur analogique-numérique pour mesurer et numériser le signal en sortie de l'amplificateur, ainsi qu'un capteur mesurant la température du haut-parleur à protéger. Le signal est atténué si la température mesurée dépasse une limite définie par le fabricant.

[0008] Une autre solution connue consiste à connecter un circuit résistif à l'aimant du haut-parleur à protéger. La résistance de ce circuit varie avec la température de l'aimant. On mesure donc la résistance, et on en déduit la température. L'information est transmise à un limiteur de signal. Le signal audio est atténué si la température estimée dépasse une limite définie par le fabricant.

[0009] Ces solutions connues présentent les inconvénients suivants.

[0010] Elles nécessitent d'ajouter des capteurs et des composants électroniques, ce qui augmente la complexité et le coût des équipements dans lesquels elles sont intégrées.

[0011] De plus, ces solutions proposent toutes de protéger le haut-parleur en atténuant le signal envoyé en cas de dépassement de la température limite. Il en résulte une baisse du niveau sonore global du produit et donc une nette détérioration de l'expérience utilisateur.

OBJET DE L'INVENTION

[0012] L'invention a pour objet une solution permettant de limiter les risques de dégradation prématurée et donc d'augmenter la durée de vie des haut-parleurs d'un système audio multi-canal, ladite solution étant simple et peu coûteuse à mettre en oeuvre, et ne dégradant pas l'expérience utilisateur.

RESUME DE L'INVENTION

[0013] En vue de la réalisation de ce but, on propose un procédé de diffusion d'un signal audio multi-canal par un système audio comportant une pluralité de voies audio comprenant chacune au moins un haut-parleur, le procédé de diffusion étant mis en oeuvre par une unité de traitement et comprenant les étapes de :

- diffuser le signal audio multi-canal en utilisant une répartition primaire du signal audio multi-canal, qui définit un signal audio primaire pour chaque voie audio, et en appliquant lesdits signaux audio primaires sur les voies audio ;
- évaluer une température opérationnelle d'au moins un haut-parleur particulier appartenant à une voie audio particulière ;
- lorsque la température opérationnelle du haut-parleur particulier devient supérieure à un premier seuil de température prédéfini, modifier la répartition primaire pour obtenir une répartition optimisée du signal audio multi-canal, dans laquelle un signal audio primaire particulier de la voie audio particulière est appliqué au moins partiellement sur au moins une autre voie audio, la répartition optimisée définissant ainsi un signal audio optimisé pour chaque voie audio ;
- diffuser le signal audio multi-canal en appliquant les signaux audio optimisés sur les voies audio jusqu'à ce que la

température opérationnelle du haut-parleur particulier devienne inférieure à un deuxième seuil de température prédéfini.

[0014] Ainsi, lorsqu'un haut-parleur s'échauffe ou risque de s'échauffer de manière trop importante, l'unité de traitement répartit au moins partiellement le signal audio dudit haut-parleur sur les autres voies audio, jusqu'à ce que la température dudit haut-parleur se normalise. On reproduit ainsi virtuellement la voie audio en surchauffe et on réduit ainsi la température du haut-parleur sans dégrader l'expérience utilisateur. On limite de la sorte les risques de dégradation prématurée et on augmente la durée de vie des haut-parleurs.

[0015] La température des haut-parleurs peut être évaluée sans ajouter de capteur de température dans l'équipement électrique. La mise en œuvre du procédé de diffusion nécessite donc pas (ou très peu) de composants électroniques (*hardware*) additionnels et est donc simple et peu coûteuse à mettre en œuvre.

[0016] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, dans lequel la modification de la répartition primaire comprend l'étape d'appliquer au moins une partie d'un niveau global du signal audio primaire particulier sur au moins une autre voie audio.

[0017] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, la pluralité de voies audio comprenant une voie centrale et deux voies latérales, la voie audio particulière étant la voie centrale, au moins une partie du niveau global du signal audio primaire particulier étant appliquée sur les deux voies latérales.

[0018] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, la pluralité de voies audio comprenant une voie centrale, deux voies latérales avant et deux voies latérales arrière, la voie audio particulière étant une voie latérale particulière, au moins une partie du niveau global du signal audio primaire particulier étant appliquée sur la voie centrale et sur une autre voie latérale d'un même côté que ladite voie latérale particulière.

[0019] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, la pluralité de voies audio comprenant deux voies latérales avant et deux voies latérales arrière, la voie audio particulière étant une voie latérale avant (ou arrière), au moins une partie du niveau global du signal audio primaire particulier étant appliquée sur une autre voie latérale d'un même côté que ladite voie latérale particulière, et sur l'autre voie latérale avant (ou arrière).

[0020] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, dans lequel la modification de la répartition primaire comprend l'étape d'appliquer au moins une partie de composantes fréquentielles du signal audio primaire particulier sur au moins une autre voie audio.

[0021] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, dans lequel la modification de la répartition primaire comprend l'étape de modifier une fréquence de coupure d'un filtre crossover.

[0022] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, la pluralité de voies audio comprenant une voie basses fréquences et au moins une autre voie audio, la voie audio particulière étant l'une des au moins une autre voie audio, des composantes fréquentielles de fréquences inférieures à un seuil de fréquence prédéfini du signal audio primaire particulier étant appliquées sur la voie basses fréquences.

[0023] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, dans lequel l'étape d'appliquer au moins une partie des composantes fréquentielles du signal audio primaire particulier sur au moins une autre voie audio est mise en œuvre si un nombre de haut-parleurs particuliers, dont la température opérationnelle devient supérieure au premier seuil de température prédéfini, est supérieur à un nombre prédéfini.

[0024] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, dans lequel le signal audio primaire particulier continue à être appliqué partiellement sur la voie audio particulière jusqu'à ce que la température opérationnelle du haut-parleur particulier devienne inférieure au deuxième seuil de température prédéfini.

[0025] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, dans lequel le signal audio primaire particulier est atténué progressivement sur la voie audio particulière.

[0026] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, dans lequel l'évaluation de la température opérationnelle du haut-parleur particulier comprend les étapes de :

- réaliser une analyse fréquentielle du signal audio primaire particulier pour évaluer des niveaux de différentes composantes fréquentielles du signal audio primaire particulier ;
- évaluer une température en temps réel du haut-parleur particulier en fonction desdits niveaux.

[0027] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, comprenant l'étape d'appliquer une enveloppe ADSR sur la température en temps réel pour obtenir la température opérationnelle.

[0028] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, dans lequel la température opérationnelle est une température future.

[0029] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, dans lequel l'évaluation de la température opérationnelle est basée sur une analyse du signal audio primaire particulier réalisée préalablement à sa diffusion.

[0030] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, dans lequel l'évaluation de la

température opérationnelle est réalisée à partir d'une température passée et d'une température courante.

[0031] On propose de plus un procédé de diffusion tel que précédemment décrit, comprenant l'étape de mettre en œuvre un contrôleur d'asservissement, qui reçoit en entrée une consigne et une mesure, et qui produit en sortie une commande, la consigne étant une température maximale, la mesure étant l'évaluation de la température opérationnelle, et la commande étant une partie du signal audio primaire particulier à appliquer sur la au moins une autre voie audio.

[0032] On propose de plus un équipement comprenant une unité de traitement dans laquelle est mis en œuvre le procédé de diffusion tel que précédemment décrit.

[0033] On propose de plus un équipement tel que précédemment décrit, l'équipement étant un boîtier décodeur.

[0034] On propose de plus un équipement tel que précédemment décrit, dans lequel le boîtier décodeur intègre au moins un haut-parleur de la pluralité de voies audio.

[0035] On propose de plus un programme d'ordinateur comprenant des instructions qui conduisent l'unité de traitement de l'équipement tel que précédemment décrit à exécuter les étapes du procédé de diffusion tel que précédemment décrit.

[0036] On propose de plus un support d'enregistrement lisible par ordinateur, sur lequel est enregistré le programme d'ordinateur tel que précédemment décrit.

[0037] L'invention sera mieux comprise à la lumière de la description qui suit de modes de mise en œuvre particuliers non limitatifs de l'invention.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0038] Il sera fait référence aux dessins annexés parmi lesquels :

[Fig. 1] la figure 1 représente un système audio multi-canal ;

[Fig. 2] la figure 2 représente un graphique comprenant une courbe de mesures de la température d'un haut-parleur en fonction du temps, une courbe équivalente mais sans signal appliqué, et une courbe théorique équivalente ;

[Fig. 3] la figure 3 représente un graphique comprenant une courbe de la température d'un haut-parleur en fonction de la fréquence, et une courbe de la puissance du signal audio appliqué en fonction de sa fréquence ;

[Fig. 4] la figure 4 représente un graphique comprenant une courbe de l'impédance d'un haut-parleur en fonction de la fréquence ;

[Fig. 5] la figure 5 représente un graphique comprenant une courbe d'une enveloppe ADSR ;

[Fig. 6] la figure 6 est une figure similaire à la figure 1, illustrant un premier scénario de surchauffe ;

[Fig. 7] la figure 7 est une figure similaire à la figure 1, illustrant un deuxième scénario de surchauffe ;

[Fig. 8] la figure 8 est une figure similaire à la figure 1, illustrant un troisième scénario de surchauffe ;

[Fig. 9] la figure 9 est une figure similaire à la figure 1, illustrant un quatrième scénario de surchauffe ;

[Fig. 10] la figure 10 illustre le traitement par une matrice de mixage de signaux audio d'entrée pour produire des signaux audio de sortie ;

[Fig. 11] la figure 11 représente une première matrice de mixage ;

[Fig. 12] la figure 12 représente une deuxième matrice de mixage, correspondant à une répartition primaire du signal audio multi-canal ;

[Fig. 13] la figure 13 représente la deuxième matrice de mixage, correspondant cette fois à une répartition optimisée ;

[Fig. 14] la figure 14 représente un graphique comprenant une courbe de la réponse fréquentielle d'un haut-parleur d'une voie centrale et d'un woofer ;

[Fig. 15] la figure 15 représente des étapes du procédé de diffusion ;

[Fig. 16] la figure 16 représente un schéma bloc implémenté dans l'unité de traitement pour mettre en œuvre le procédé de diffusion.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0039] En référence à la figure 1, un système audio multi-canal 1 est intégré dans un système de restitution audio-vidéo comprenant un téléviseur 2 et un boîtier décodeur 3.

[0040] Le système audio multi-canal comporte ici une pluralité de voies audio comprenant une voie centrale 4, deux voies latérales avant 5a, 5b (droite et gauche), deux voies latérales arrière 6a, 6b (droite et gauche) et une voie basses fréquences 7.

[0041] Ici, par « avant », on entend les voies latérales les plus proches du téléviseur 2 et par « arrière », on entend les voies latérales les plus proches de l'emplacement d'écoute idéal, aussi appelé *sweet spot*, de l'auditeur 8.

[0042] Dans le format 5.1, la voie avant droite 5a correspond au canal droit, la voie avant gauche 5b au canal gauche, la voie centrale 4 au canal centre, la voie arrière droite 6a au canal *surround* latéral et arrière droit, la voie arrière gauche 6b au canal *surround* latéral et arrière gauche, et la voie basses fréquences 7 au canal LFE (pour *Low Frequency Effects*).

[0043] Ici, la voie centrale 4 est intégrée dans le boîtier décodeur 3. Les voies latérales 5a, 5b, 6a, 6b sont chacune

intégrées dans des enceintes connectées (donc quatre enceintes connectées). La voie basses fréquences 7 est intégrée dans un caisson de basse.

[0044] Le boîtier décodeur 3 intègre donc au moins un haut-parleur 9. Tous les haut-parleurs 9 des différentes voies sont des haut-parleurs de type « *midrange* » (ou medium, médial), sauf le haut-parleur de la voie basses fréquences 7 qui est un haut-parleur de graves, appelé aussi « *boomer* » ou « *woofer* ».

[0045] La conception des haut-parleurs *midrange* est optimisée pour la restitution des moyennes fréquences et des hautes fréquences (fréquences comprises par exemple entre 500 Hz et 5 kHz).

[0046] La conception du haut-parleur *boomer* est optimisée pour la restitution des basses fréquences (fréquences comprises par exemple entre 50 Hz et 500 Hz).

[0047] On note que l'invention peut être mise en oeuvre dans un système audio multi-canal différent de celui de la figure 1. L'invention s'applique à tout type de système audio multi-canal. Il serait possible en particulier d'intégrer dans le boîtier décodeur 3 plusieurs voire la totalité des voies audio (et donc la totalité des haut-parleurs 9).

[0048] Le boîtier décodeur 3 comporte une unité de traitement 10 (électronique et logicielle). L'unité de traitement 10 comprend au moins un composant de traitement 10a, qui est par exemple un processeur « généraliste », un processeur spécialisé dans le traitement du signal (ou DSP, pour *Digital Signal Processor*), un processeur spécialisé pour les algorithmes d'intelligence artificielle (de type NPU, pour *Neural Processing Unit*), un microcontrôleur, ou bien un circuit logique programmable tel qu'un FPGA (pour *Field Programmable Gate Arrays*) ou un ASIC (pour *Application Specific Integrated Circuit*).

[0049] L'unité de traitement 10 comprend aussi une ou des mémoires 10b, reliées à ou intégrées dans le composant de traitement 10a. Au moins l'une de ces mémoires 10b forme un support d'enregistrement lisible par ordinateur, sur lequel est enregistré au moins un programme d'ordinateur comprenant des instructions qui conduisent le composant de traitement 10a à exécuter au moins certaines des étapes du procédé de diffusion qui va être décrit.

[0050] Le procédé de diffusion est un procédé de diffusion d'un signal audio multi-canal.

[0051] Le signal audio multi-canal provient par exemple (mais pas nécessairement) d'un flux audio-vidéo, le signal vidéo étant diffusé par le téléviseur 2.

[0052] L'unité de traitement 10 du boîtier décodeur 3 diffuse normalement le signal audio multi-canal en utilisant une répartition primaire du signal audio multi-canal, qui définit un signal audio primaire (distinct) pour chaque voie audio. L'unité de traitement 10 applique lesdits signaux audio primaires sur les voies audio. Cependant, lorsque la température d'un ou de plusieurs haut-parleurs 9 devient trop élevée, l'unité de traitement 10 modifie cette répartition primaire pour réduire la température dudit ou desdits haut-parleurs 9.

[0053] L'unité de traitement 10 évalue donc une température opérationnelle d'au moins un haut-parleur particulier 9 appartenant à une voie audio particulière. Ici, l'unité de traitement 10 évalue la température opérationnelle de chaque haut-parleur 9 du système audio multi-canal 1.

[0054] Lorsque la température opérationnelle d'un haut-parleur particulier 9 d'une voie audio particulière devient supérieure à un premier seuil de température prédéfini, l'unité de traitement 10 modifie la répartition primaire pour obtenir une répartition optimisée du signal audio multi-canal, dans laquelle le signal audio primaire particulier de la voie audio particulière est appliqué au moins partiellement sur au moins une autre voie audio. Le premier seuil de température prédéfini peut être différent selon les voies audio et les haut-parleurs 9.

[0055] On réduit donc le signal audio sur le haut-parleur 9 dont la température est trop importante, et on le répartit sur une ou plusieurs autres voies audio.

[0056] La répartition optimisée définit ainsi un signal audio optimisé (distinct) pour chaque voie audio. L'unité de traitement 10 diffuse le signal audio multi-canal en appliquant les signaux audio optimisés sur les voies audio jusqu'à ce que la température opérationnelle du haut-parleur particulier 9 devienne inférieure à un deuxième seuil de température prédéfini. Le deuxième seuil de température prédéfini peut être égal au premier seuil de température prédéfini, mais pas nécessairement. Le deuxième seuil de température prédéfini peut être différent selon les voies audio et les haut-parleurs 9.

[0057] Pour chaque haut-parleur 9, l'évaluation de la température dudit haut-parleur 9 est ici réalisée sans capteur de température.

[0058] La température opérationnelle est évaluée selon un procédé d'évaluation de température décrit ci-après. Ici, dans un mode de réalisation, la température opérationnelle est la température courante, c'est-à-dire la température au temps présent. On note que le procédé d'évaluation de température peut aussi permettre d'évaluer la température à un temps futur (on parle alors de « température future »).

[0059] Des analyses théoriques et des mesures en laboratoire ont permis de déterminer l'évolution de la température d'un haut-parleur en fonction du temps, à fréquence fixe.

[0060] La courbe C1, sur la figure 2, représente l'évolution temporelle de la température d'un haut-parleur alors qu'un signal audio est appliqué (zone 12), puis sans signal audio appliqué (zone 13). Cette courbe C1 a été obtenue à partir de mesures réalisées avec une fréquence fixe de 1 kHz, avec un signal audio de puissance 1 W en entrée du haut-parleur. La courbe C2 est une courbe équivalente à la courbe C1, alors qu'aucun signal audio n'est appliqué.

[0061] Sur la base de ces essais, on a déduit les lois mathématiques de croissance et de décroissance de la température **Temp(time)** d'un haut-parleur en fonction du temps selon les formules suivantes (courbe C3) :

- Pour la partie croissante de la courbe C3 :

$$Temp(time) = Temp_{init} + (Temp_{asymptote} - Temp_{init}) \cdot (1 - e^{Q \cdot (time - time_{init})})$$

- Pour la partie décroissante de la courbe C3 :

$$Temp(time) = Temp_{init} + (Temp_{asymptote} - Temp_{init}) \cdot e^{Q \cdot (time - time_{init})}$$

[0062] Le coefficient Q est représentatif de la capacité thermique spécifique du système. Ce paramètre est fixe et peut être évalué en laboratoire. Il est de l'ordre de 0,001.

[0063] Il en est de même pour **Temp_{asymptote}** qui dépend du haut-parleur, de son environnement (paramètres fixes), et du niveau du signal audio appliqué aux bornes du haut-parleur, qui est connu. Pour un signal électrique de 2 W, **Temp_{asymptote}** est de l'ordre de 70 °C. Sur la figure 2, elle est de l'ordre de 55 °C.

[0064] La température initiale du haut-parleur **Temp_{init}** (égale à 25 °C par exemple) est également connue car sa valeur est basée sur la température ambiante de l'équipement et sur l'évolution thermique du système selon les deux lois précédemment formulées, y compris le temps d'application du signal connu également.

[0065] On comprend donc qu'à un instant t, la température d'un haut-parleur dépend des paramètres suivants :

- La température ambiante ;
- Le niveau du signal envoyé aux bornes du haut-parleur ;
- La température initiale du haut-parleur (**Temp_{init}**) ;
- Le temps d'application du signal **time_{init}**

[0066] La température ambiante est fournie à l'unité de traitement 10 par un capteur intégré dans le boîtier décodeur 3. Tous les équipements électriques numériques modernes (ou presque) comprennent en effet un capteur thermique. Le capteur de température est donc déjà présent et n'est pas dédié à la mise en oeuvre du procédé de diffusion ici décrit.

[0067] La température du haut-parleur 9 dépend aussi de la fréquence du signal audio.

[0068] A tension électrique égale aux bornes d'un haut-parleur (par exemple 2 Vrms), en utilisant un signal audio mono-fréquentiel, l'élévation de la température du haut-parleur dépend de la fréquence du signal audio appliqué à ses bornes. Ceci s'explique car l'impédance d'un haut-parleur (monté dans une enceinte ou non) dépend de la fréquence du signal audio.

[0069] On voit sur la figure 3 l'élévation de la température en fonction de la fréquence (courbe C4), et la puissance électrique du signal audio en fonction de la fréquence (courbe C5).

[0070] On voit sur la figure 4 l'impédance du haut-parleur en fonction de la fréquence du signal audio appliqué à ses bornes (courbe C6).

[0071] La puissance aux bornes du haut-parleur peut être estimée par la formule suivante :

$$Puissance = tension^2 / impédance$$

[0072] En comparant l'élévation de la température par fréquence avec la puissance aux bornes du haut-parleur, on constate une similitude, ce qui est cohérent avec les règles de base de la thermique :

$$Température = Constante \times Puissance$$

[0073] Le signal audio « réel », appliqué aux bornes de chaque haut-parleur 9 du système audio multi-canal 1, comprend une pluralité de composantes fréquentielles associées chacune à un niveau de puissance.

[0074] On peut donc, en connaissant la répartition fréquentielle du signal audio, définir l'élévation de température d'un haut-parleur qui restitue ce signal audio, et donc la température dudit haut-parleur.

[0075] L'unité de traitement 10 réalise ici un calcul de FFT (pour *Fast Fourier Transform*) pour connaître la répartition fréquentielle du signal audio. L'unité de traitement 10 détermine donc des composantes fréquentielles associées chacune à un niveau de puissance.

[0076] L'unité de traitement 10 détermine ensuite l'élévation de température du haut-parleur 9 résultant des contributions de chacune de ces composantes fréquentielles, en utilisant les lois mathématiques décrites plus tôt.

[0077] Pour chaque haut-parleur 9, l'unité de traitement 10 réalise donc une analyse fréquentielle du signal audio primaire appliqué sur la voie audio comprenant ledit haut-parleur 9 pour évaluer des niveaux de différentes composantes fréquentielles du signal audio primaire, puis évalue une température en temps réel du haut-parleur 9 en fonction desdits niveaux (et de la température ambiante, de la température initiale et du temps d'application du signal).

[0078] L'unité de traitement 10 connaît donc en permanence la température en temps réel de chaque haut-parleur 9 au temps t .

[0079] Afin d'assurer la stabilité du système à l'échelle du système et de la perception utilisateur, les effets de bords doivent être considérés. Si l'on considère une approche très dynamique avec une réponse instantanée du système, l'application de la correction entraînera une compensation des risques thermiques et donc rebasculera le système dans un état d'équilibre, réduisant de ce fait l'action du procédé. Le système risque d'osciller entre des états d'équilibre et de risque, perturbant potentiellement l'expérience utilisateur par des allers-retours incessants. C'est ce qu'on assimile à un effet de « pompage » d'un point de vue dynamique.

[0080] Certains algorithmes dynamiques, comme les compresseurs audio par exemple, intègrent des solutions pour empêcher ces effets d'oscillations.

[0081] Ces solutions se présentent généralement sous la forme de quatre paramètres groupés dans un ensemble appelé enveloppe ADSR, pour *Attack Decay Sustain Release*.

- Attack (attaque) : c'est la durée de temps nécessaire pour atteindre le niveau maximal d'action de l'algorithme après le dépassement du seuil. Ce temps est égal typiquement à quelques minutes ;
- Decay (décroissance) : c'est la durée de temps nécessaire pour réduire l'action de l'algorithme après le pic d'attaque. Ce temps est égal typiquement à quelques minutes ;
- Sustain (soutien) : c'est le niveau d'action de l'algorithme maintenu pendant que le signal se maintient au-delà du seuil de déclenchement.
- Release (relâchement) : c'est la durée de temps nécessaire pour que l'effet de l'algorithme se dissipe complètement après être redescendu sous le seuil de déclenchement. Ce temps est égal typiquement à quelques minutes.

[0082] On voit une enveloppe ADSR sur la figure 5 (courbe C7).

[0083] On applique ici, de manière astucieuse et originale, l'enveloppe ADSR non pas sur le signal audio mais sur la température en temps réel qui est évaluée comme cela vient d'être expliqué.

[0084] Ici, on utilise par exemple les valeurs suivantes pour les paramètres de l'enveloppe :

- Attack : 5 mn ;
- Decay : 5 mn ;
- Release : 5 mn.

[0085] Ces paramètres peuvent être réglés pour réagir à différentes contraintes. Ici, il convient de se rapprocher des valeurs permettant de lisser l'effet de l'algorithme sur des temps assez longs.

[0086] On note que, pour un haut-parleur 9 intégré dans un boîtier décodeur 3, la température limite d'utilisation du haut-parleur 9 est habituellement autour de 80°C (cette valeur étant indiquée précisément sur la fiche technique du haut-parleur 9, et dépend bien sûr du modèle du haut-parleur 9) .

[0087] Compte tenu de l'inertie, un seuil de température sécurisé peut être 15°C sous ce seuil pour assurer de ne pas atteindre la température critique.

[0088] Sur la figure 2, sur laquelle on voit l'évolution temporelle de la température d'un haut-parleur 9 avec signal audio en entrée puis sans signal audio, on constate que la température se stabilise après un certain temps, pour atteindre la valeur **Temp_{asymptote}**.

[0089] Cette valeur correspond à la stabilisation thermique du système pour un signal simple et de niveau constant.

[0090] Or, un signal audio réellement rencontré, tel qu'une musique, une voix, etc., fluctue. La stabilisation est déterminée dynamiquement en intégrant le niveau instantané du signal et sa répartition fréquentielle, lissée par un coefficient d'enveloppe.

[0091] La température en temps réel comprend des échantillons numériques qui sont appliqués en entrée d'un filtre numérique formant l'enveloppe ADSR. Les échantillons numériques en sortie du filtre sont les valeurs de la température courante.

[0092] Pour chaque haut-parleur 9, l'unité de traitement 10 applique donc une enveloppe ADSR sur la température en temps réel pour obtenir la température courante.

[0093] Pour chaque haut-parleur 9 des différentes voies audio, l'unité de traitement 10 connaît la température courante dudit haut-parleur 9 et donc la marge par rapport à la température limite d'utilisation dudit haut-parleur 9, à l'aide du retour d'information thermique basé sur le calcul prédictif décrit précédemment.

[0094] Lorsqu'un haut-parleur particulier 9 (ou plusieurs) dépasse le premier seuil de température prédéfini, ce qui

risque de provoquer une surchauffe dangereuse pour le haut-parleur (température > 80 °C par exemple), l'unité de traitement 10 répartit sur une ou plusieurs autres voies audio son signal audio primaire particulier, dynamiquement et de manière équilibrée, ce qui permet de réduire la température du haut-parleur particulier sans baisse de niveau sonore globale ni dégradation de l'expérience utilisateur.

[0095] Le premier seuil prédéfini est par exemple égal à 65 °C (soit 15°C sous la température « dangereuse » de 80 °C).

[0096] L'unité de traitement 10 modifie donc la répartition primaire pour obtenir une répartition optimisée du signal audio multi-canal. Les signaux audio optimisés sont appliqués sur les voies audio jusqu'à ce que la température courante du haut-parleur particulier 9 « en surchauffe » devienne inférieure à un deuxième seuil de température prédéfini. Le deuxième seuil de température prédéfini est par exemple (mais pas nécessairement) lui aussi égal à 65 °C.

[0097] On s'intéresse maintenant au choix des voies audio sur lesquelles le signal audio primaire particulier (ou les signaux audio primaires particuliers) est au moins partiellement reporté. On présente quelques scénarii susceptibles de se produire dans le système audio 1.

[0098] Le premier scénario est applicable pour un système audio comprenant une voie centrale et deux voies latérales (au moins). La voie audio particulière, comprenant le haut-parleur particulier 9 en surchauffe, est ici la voie centrale 4. Dans ce cas, au moins une partie du niveau global du signal audio primaire particulier est appliquée sur les deux voies latérales.

[0099] Par « niveau global », on entend ici un niveau correspondant à la somme de l'énergie acoustique procurée par l'ensemble des composantes fréquentielles du signal.

[0100] Ici, en référence à la figure 6, le haut-parleur particulier 9p dont la température opérationnelle devient supérieure au premier seuil de température prédéfini est donc le haut-parleur de la voie centrale 4.

[0101] Le signal audio primaire de ladite voie centrale 4 est par exemple appliqué sur les deux voies latérales avant (voie avant droite 5a et voie avant gauche 5b).

[0102] Le signal audio primaire de la voie centrale 4 continue à être appliqué partiellement sur la voie centrale 4 en étant progressivement atténué (durant une minute par exemple), jusqu'à ce que la température opérationnelle du haut-parleur 9p de la voie centrale 4 devienne inférieure au deuxième seuil de température prédéfini et donc jusqu'à un rétablissement de la température qui sécurisera le haut-parleur 9p après stabilisation. Ici, « partiellement » s'entend comme une partie du niveau global du signal audio primaire.

[0103] Dans les mêmes proportions, le signal audio primaire supprimé de la voie centrale 4 sera déporté identiquement sur les haut-parleurs 9 des voies avant droite 5a et avant gauche 5b, pour créer une voie centrale virtuelle, soulageant ainsi le haut-parleur 9 de la voie centrale 4 sans aucune dégradation ni de la spatialisation, ni du niveau sonore global.

[0104] On note que dans ce premier scénario, le signal audio primaire de la voie centrale 4 pourrait aussi être appliqué sur les voies latérales arrière 6a, 6b. Le premier scénario peut donc mis en oeuvre même lorsque le système audio comporte uniquement deux voies latérales (c'est-à-dire avant droite et avant gauche ou arrière droite et arrière gauche).

[0105] Le deuxième scénario est applicable pour un système audio comprenant une voie centrale, deux voies latérales avant et deux voies latérales arrière (au moins). La voie audio particulière, comprenant le haut-parleur particulier en surchauffe, est une voie latérale particulière.

[0106] Dans ce cas, au moins une partie du niveau global du signal audio primaire particulier est appliquée sur la voie centrale 4 et sur une autre voie latérale d'un même côté que ladite voie latérale particulière.

[0107] Ici, en référence à la figure 7, le haut-parleur particulier 9p dont la température opérationnelle devient supérieure au premier seuil de température prédéfini est le haut-parleur d'une voie latérale particulière, qui est par exemple ici la voie avant droite 5a.

[0108] Le signal audio primaire de la voie avant droite 5a est appliqué sur la voie centrale 4 et sur la voie arrière droite 6a.

[0109] Le signal audio primaire de la voie avant droite 5a continue à être appliqué partiellement sur la voie avant droite 5a en étant progressivement atténué (durant une minute par exemple), jusqu'à ce que la température opérationnelle du haut-parleur 9p de la voie avant droite 5a devienne inférieure au deuxième seuil de température prédéfini et donc jusqu'à un rétablissement de la température qui sécurisera le haut-parleur après stabilisation. Ici, « partiellement » s'entend comme une partie du niveau global du signal audio primaire.

[0110] Dans les mêmes proportions, le signal audio primaire supprimé de la voie avant droite 5a sera déporté identiquement sur le haut-parleur 9 de la voie arrière droite 6a et sur le haut-parleur 9 de la voie centrale 4, pour créer une voie latérale virtuelle, soulageant ainsi le haut-parleur 9p de la voie avant droite 5a sans aucune dégradation ni de la spatialisation, ni du niveau sonore global.

[0111] On note que si le système n'a pas de voie arrière, alors l'intégralité du signal audio primaire de la voie avant droite 5a sera déportée sur le haut-parleur 9 de la voie centrale 4 pour soulager le haut-parleur concerné. Dans ce cas, il pourrait y avoir une légère réduction subjective de l'effet de spatialisation, mais sans modification du niveau sonore global.

[0112] Ce scénario peut s'appliquer à une autre voie latérale : arrière droite, avant gauche, arrière gauche.

[0113] Le troisième scénario est applicable pour un système audio comprenant deux voies latérales avant et deux voies latérales arrière. La voie audio particulière, comprenant le haut-parleur particulier 9p en surchauffe, est une voie latérale avant (ou arrière).

[0114] Dans ce cas, au moins une partie du niveau global du signal audio primaire particulier est appliquée sur une autre

voie latérale d'un même côté que ladite voie latérale particulière, et sur l'autre voie latérale avant (ou arrière).

[0115] Ici, en référence à la figure 8, le haut-parleur particulier 9p dont la température opérationnelle devient supérieure au premier seuil de température prédéfini est le haut-parleur de la voie arrière droite 6a.

[0116] Le signal audio primaire de la voie arrière droite 6a est donc appliqué sur la voie arrière gauche 6b et sur la voie avant droite 5a.

[0117] Le signal audio primaire de la voie arrière droite 6a va être progressivement atténué (durant une minute par exemple), jusqu'à un rétablissement de la température qui sécurisera le haut-parleur 9p après stabilisation.

[0118] Le signal audio primaire de la voie arrière droite 6a continue donc à être appliqué partiellement sur la voie arrière droite 6a en étant progressivement atténué (durant une minute par exemple), jusqu'à ce que la température opérationnelle du haut-parleur 9p de la voie arrière droite 6a devienne inférieure au deuxième seuil de température prédéfini et donc jusqu'à un rétablissement de la température qui sécurisera le haut-parleur après stabilisation. Ici, « partiellement » s'entend comme une partie du niveau global du signal audio primaire.

[0119] Ce scénario peut s'appliquer à une autre voie latérale : avant droite, avant gauche, arrière gauche.

[0120] Le quatrième scénario est applicable pour un système audio comprenant une voie basses fréquences et au moins une autre voie audio. La voie audio particulière, comprenant le haut-parleur particulier en surchauffe, est l'une des au moins une autre voie audio.

[0121] Dans ce cas, des composantes fréquentielles de fréquences inférieures à un seuil de fréquence prédéfini du signal audio primaire particulier sont appliquées sur la voie basses fréquences 7. Le seuil de fréquence prédéfini est par exemple égal à 100 Hz.

[0122] On peut prévoir qu'il faut qu'un nombre de haut-parleurs particuliers 9, dont la température opérationnelle devient supérieure au premier seuil prédéfini, soit supérieur à un nombre prédéfini, pour que ce scénario s'applique (c'est-à-dire une situation dans laquelle il y a trop de haut-parleurs en surchauffe). Le nombre prédéfini est par exemple égal à 3.

[0123] Ici, en référence à la figure 9, les haut-parleurs particuliers 9p dont la température opérationnelle devient supérieure au premier seuil de température prédéfini sont les haut-parleurs des voies avant droite 5a, arrière droite 6a, avant gauche 5b et arrière gauche 6b.

[0124] Les composantes fréquentielles basses fréquences sont alors appliquées sur la voie basses fréquences 7.

[0125] Les basses fréquences des signaux audio primaires des voies avant droite 5a, arrière droite 6a, avant gauche 5b et arrière gauche 6b vont être progressivement atténuées (durant une minute par exemple), jusqu'à un rétablissement de la température qui sécurisera les haut-parleurs 9p après stabilisation.

[0126] Les basses fréquences des signaux audio primaires des voies avant droite 5a, arrière droite 6a, avant gauche 5b et arrière gauche 6b continuent donc à être appliquées partiellement (durant une minute par exemple), jusqu'à ce que la température opérationnelle des haut-parleurs 9p devienne inférieure au deuxième seuil de température prédéfini et donc jusqu'à un rétablissement de la température qui sécurisera les haut-parleurs après stabilisation. Ici, « partiellement » s'entend comme une partie des composantes fréquentielles.

[0127] Ces scénarii peuvent être combinés ou mis en oeuvre successivement en fonction par exemple des températures des haut-parleurs non en surchauffe : on pourra ainsi par exemple privilégier un scénario qui ne reporte pas de signal sur un haut-parleur dont la température est élevée sans pour autant dépasser le premier seuil de température prédéfini.

[0128] On s'intéresse maintenant à la manière dont le signal audio primaire particulier d'une voie audio particulière comprenant un haut-parleur particulier dont la température est trop élevée, est réparti sur les autres voies audio.

[0129] La modification de la répartition primaire peut consister à appliquer au moins une partie d'un niveau global du signal audio primaire particulier sur au moins une autre voie audio. On ajuste donc le niveau d'atténuation ou de gain dans chaque canal indépendamment.

[0130] Pour ne pas perturber l'expérience de l'utilisateur et conserver l'équilibre tonal du son, il faut assurer une robustesse du niveau acoustique par fréquence. Le signal primaire soustrait au haut-parleur à sécuriser est réparti sur les haut-parleurs d'autres voies audio selon la logique suivante. En suivant les propriétés d'acoustique fondamentale, on peut évaluer le niveau du signal à injecter à chaque haut-parleur pour assurer un niveau et un équilibre tonal stables.

[0131] On se place dans le cas de la répartition du signal d'une enceinte à risque vers deux enceintes latérales supports.

[0132] On considère, avant correction, que :

- Le niveau global du signal audio primaire du haut-parleur 9 de la voie centrale 4 est égal à L1 [dB] ;
- Le niveau global des signaux audio primaires des voies latérales avant droite 5a et avant gauche 5b est respectivement L2a [dB] et L2b [dB].

[0133] L'unité de traitement 10 soustrait N dB au signal primaire du haut-parleur de la voie centrale 4 et réinjecte N2a et N2b sur les voies latérales avant droite 5a et avant gauche 5b.

[0134] On considère la notation :

$$A \boxplus B = 20 * \log \left(10^{\frac{A}{20}} + 10^{\frac{B}{20}} \right)$$

[0135] On a donc :

$$L1 \boxplus L2a \boxplus L2b = (L1 - N) \boxplus (L2a + N2a) \boxplus (L2b + N2b)$$

[0136] D'après les principes de doublement de sources acoustiques cohérentes, on a alors :

$$N2a = N2b = N - 6dB$$

[0137] On se place maintenant dans le cas de la répartition d'une partie du signal d'une ou plusieurs enceintes à risque vers une voie audio particulière, par exemple la voie basses fréquences 7.

[0138] On considère, avant correction, que :

- Les niveaux globaux des signaux primaires des voies des haut-parleurs à risque sont égaux à L1 [dB], L2, [dB], L3 [dB]..., Li [dB] ;
- Le niveau global du signal primaire de la voie basses fréquences est Lc [dB] .

[0139] L'unité de traitement 10 soustrait respectivement N1, N2, ..., Ni dB aux sources à risque et réinjecte Nc dB dans la voie basses fréquences 7.

[0140] On a :

$$L1 \boxplus L2 \boxplus .. \boxplus Li \boxplus Lc = (L1 - N1) \boxplus (L2 - N2) \boxplus .. \boxplus (Li - Ni) \boxplus (Lc + Nc)$$

[0141] D'après les relations de niveau entre sources cohérentes acoustiques, on a :

$$Nc = -20 * \log \left(\frac{10^{\frac{N1}{10}} + 10^{\frac{N2}{10}} + .. + 10^{\frac{Ni}{10}}}{i + 1} \right)$$

[0142] Ce modèle est une approche de la répartition possible et peut être adapté selon les capacités physiques des enceintes considérées.

[0143] On note que, dans un système audio existant, dans lequel le procédé de diffusion ici décrit n'est pas mis en oeuvre, la spatialisation appliquée sera optimisée pour un emplacement d'écoute idéal, aussi appelé *sweet spot*.

[0144] La mise en oeuvre du procédé de diffusion permet de maintenir la viabilité du *sweet spot* quel qu'il soit, puisque l'adaptation de la répartition du signal audio multi-canal assure un maintien de l'équilibre spatial et tonal du son transmis dans la zone d'écoute.

[0145] Si le ou les auditeurs s'éloignent du *sweet spot*, l'équilibre spatial peut être dégradé en cas de l'application de l'algorithme de correction. Un auditeur qui se trouve par exemple à proximité d'une enceinte latérale, sur laquelle est reporté un signal audio, pourra ressentir l'augmentation du niveau sur la voie.

[0146] Il est donc avantageux de définir des bornes du niveau déporté et/ou diffusé par chaque voie, afin d'assurer un équilibre spatial relatif dans le cas où le/les auditeurs s'éloignent du *sweet spot*. On peut prévoir par exemple que le niveau de signal déporté vers une autre voie soit inférieur à une borne maximale.

[0147] On peut par ailleurs considérer le cas de deux auditeurs éloignés du *sweet spot* et proches chacun de l'une des enceintes du système. En cas de surchauffe d'un haut-parleur, un système audio selon l'art antérieur réduirait simplement le niveau de l'enceinte en danger, ce qui entraînerait un déséquilibre flagrant pour les deux auditeurs, particulièrement celui placé proche de l'enceinte en danger. La mise en oeuvre du procédé de diffusion permettra de ne pas perdre l'information délivrée par l'enceinte mise en sécurité. Pour un auditeur éloigné du *sweet spot*, cette information se présentera spatialement décalée, altérant légèrement la perception du flux original. Cette modification touche à de l'analyse perceptuelle assez fine et est considérée comme une dégradation moins importante que la réduction pure et dure et la perte d'information.

[0148] Dans le cas où les voies audio sont intégrées dans un équipement compact, comme un boîtier décodeur, la notion de *sweet spot* est beaucoup plus large car les haut-parleurs du système sont très rapprochés. La modification de la répartition, en cas de surchauffe d'un haut-parleur, sera beaucoup moins perceptible, car l'auditeur est éloigné d'une

distance similaire pour chaque haut-parleur.

[0149] La répartition du signal audio multi-canal sur les différentes voies audio est définie par des matrices de mixage dédiées au traitement du son spatialisé. Ces matrices de mixage se présentent sous la forme de connexions entrées/-sorties à dimensions variables selon les besoins.

[0150] En référence à la figure 10, la matrice de mixage 15 est par exemple destinée à traiter un signal audio 16 mono (de type 1.0) ou stéréo (de type 2.0), ou bien un signal audio 17 multi-canal de type Dolby 5.1, Dolby 7.1, DTS 5.1, etc. La matrice de mixage 15 génère un signal audio multi-canal 18 en fonction du système audio qui restitue le signal.

[0151] La figure 11 représente une première matrice de mixage 19 utilisée par Dolby, traitant des formats audio jusqu'au format 7.1 en entrée, et générant des signaux audio au format 5.1 en sortie.

[0152] Cette première matrice de mixage 19 correspond à la répartition audio multi-canal primaire utilisée par l'unité de traitement 10 pour diffuser le signal audio multi-canal.

[0153] Lorsque la température d'un ou de plusieurs haut-parleurs 9 devient trop élevée, l'unité de traitement 10 adapte la matrice de mixage pour ajuster le niveau sur un ou plusieurs haut-parleurs 9 du système en même temps, tout en respectant le contenu diffusé.

[0154] Pour cela, l'unité de traitement 10 estime le niveau d'atténuation/de gain à appliquer (voir précédemment) et le traduit dans la matrice de mixage. Pour manipuler les données audio numériques, l'unité de traitement 10 intègre une conversion du niveau en dB vers le facteur à appliquer, par la relation :

$$c_i = 10^{\frac{N_{i_{dB}}}{20}}$$

où c_i est le facteur à appliquer au canal i , dont le niveau d'atténuation/gain aura été estimé à N_i dB par l'unité de traitement 10.

[0155] Dans le cas d'un boîtier décodeur 3 intégrant quatre haut-parleurs 9 et formant un système de type 3.1, on a une deuxième matrice de mixage 20, visible sur la figure 12. Cette matrice vise à acquérir un format 7.1 en entrée, et à générer des signaux audio au format 3.1 en sortie.

[0156] On se place dans le cas où c'est le haut-parleur 9 de la voie centrale 4 (dans le boîtier décodeur 3) dont la température devient trop élevée.

[0157] L'unité de traitement 10 réduit le niveau du signal primaire sur ce haut-parleur 9 et le répartit sur les voies latérales. Dans le cas d'une atténuation de 6dB de la voie centrale 4, le signal audio envoyé à la voie centrale est donc réduit de 0,5 (-6dB) et est envoyé sur la voie gauche et la voie droite.

[0158] On obtient la matrice de mixage 21 de la figure 13.

[0159] Le niveau des canaux gauche et droite a augmenté, mais la création de la voie centre virtuelle compense ce changement de niveau.

[0160] On a vu que la modification de la répartition primaire peut consister à appliquer au moins une partie du niveau global du signal audio primaire particulier sur au moins une autre voie audio.

[0161] Il est aussi possible de modifier la répartition primaire en appliquant au moins une partie de composantes fréquentielles du signal audio primaire particulier sur au moins une autre voie audio (voir le quatrième scénario décrit plus tôt). Il est aussi possible de mettre en oeuvre ces deux méthodes en combinaison si la surchauffe est trop importante.

[0162] Un haut-parleur peut en effet être soulagé par l'atténuation du signal audio qui lui est transmis, mais aussi en changeant la répartition en fréquence de son signal. On a vu sur la figure 3 la dépendance qui existe entre la fréquence du signal audio et la température du haut-parleur.

[0163] Répartir une partie du spectre sur un ou plusieurs autres haut-parleurs 9 permet de soulager le haut-parleur particulier 9p dont la température est trop élevée, sans appliquer un gain statique sur l'ensemble de son signal.

[0164] Les basses fréquences étant très peu voire pas du tout directives, il est avantageux de choisir plutôt une répartition des basses fréquences du spectre vers un autre haut-parleur, afin de minimiser l'impact sur la spatialisation du son. Le cas le plus logique serait d'envoyer les parties basses/basses-médium vers le haut-parleur faisant office de Woofer dans le système.

[0165] On voit sur la figure 14 des mesures acoustiques de réponse fréquentielles de deux haut-parleurs appartenant à un système audio multi-canal : la courbe C8 est la courbe du haut-parleur 9 de la voie centrale 4 et la courbe C9 est celle du haut-parleur 9 de la voie basses fréquences 7.

[0166] La modification de la répartition primaire, par une répartition différente des composantes fréquentielles, permettrait par exemple, dans la bande de fréquences 22, d'envoyer une partie du signal basses fréquences de la voie centrale 4 vers la voie basses fréquences 7.

[0167] La modification de la répartition primaire consiste à modifier (à augmenter en l'occurrence) la fréquence de coupure du filtre crossover qui réalise la répartition fréquentielle entre les différents canaux audio. On augmente ainsi le spectre restitué par la voie basses fréquences et on réduit le spectre restitué par les autres voies.

[0168] On rappelle maintenant, en référence à la figure 15, les différentes étapes du procédé de diffusion.

[0169] Pour chaque haut-parleur 9, l'unité de traitement 10 évalue la température en temps réel T_r dudit haut-parleur 9 à partir des niveaux des composantes fréquentielles du signal audio primaire appliqué sur la voie audio comprenant ledit haut-parleur 9 : étape E1.

[0170] L'unité de traitement 10 applique alors l'enveloppe ADSR pour obtenir la température opérationnelle T_o dudit haut-parleur 9 : étape E2.

[0171] L'unité de traitement 10 compare la température opérationnelle T_o avec le premier seuil de température prédéfini T_1 : étape E3.

[0172] Tant que la température opérationnelle de tous les haut-parleurs 9 demeure inférieure (ici inférieure ou égale) au premier seuil de température prédéfini T_1 , l'unité de traitement 10 ne modifie pas la matrice de mixage (étape E4) ni les réglages (fréquence de coupure) du filtre crossover (étape E5). L'unité de traitement 10 diffuse le signal audio multi-canal en utilisant les coefficients courants de la matrice de mixage (étape E6) et les réglages courants du filtre crossover (étape E7).

[0173] A l'étape E3, si la température opérationnelle d'au moins un haut-parleur particulier 9p est supérieure (ici strictement) au premier seuil de température prédéfini, l'unité de traitement 10 modifie la répartition primaire en appliquant au moins une partie d'un niveau global du signal audio primaire particulier sur au moins une autre voie audio. L'unité de traitement 10 modifie les coefficients de la matrice de mixage : étape E8.

[0174] L'unité de traitement 10 diffuse alors le signal audio multi-canal en utilisant les coefficients courants de la matrice de mixage, qui viennent d'être modifiés (étape E6).

[0175] De plus, à l'étape E3, si la température opérationnelle d'au moins un haut-parleur particulier 9p est supérieure au premier seuil de température prédéfini, l'unité de traitement 10 vérifie le nombre de haut-parleurs dont la température opérationnelle est supérieure au premier seuil de température prédéfini : étape E9.

[0176] Si ce nombre est supérieur à un nombre prédéfini, l'unité de traitement 10 modifie la répartition primaire en appliquant les composantes fréquentielles basses fréquences des signaux audio primaires particuliers sur au moins une voie audio dont le haut-parleur ne chauffe pas (sur la voie basses fréquences 7 de préférence). L'unité de traitement 10 modifie pour cela la fréquence de coupure du filtre crossover : étape E10. L'unité de traitement 10 diffuse le signal audio multi-canal en utilisant les réglages courants du filtre crossover, qui viennent d'être modifiés (étape E7) .

[0177] A l'étape E3, si le nombre est inférieur au nombre prédéfini (ici inférieur ou égal), l'unité de traitement 10 ne modifie pas les réglages (fréquence de coupure) du filtre crossover (étape E5). L'unité de traitement 10 diffuse le signal audio multi-canal en utilisant les réglages courants du filtre crossover, non modifiés (étape E7).

[0178] Les tests principaux permettant de déterminer l'action du modèle évaluent donc si les températures des différents haut-parleurs dépassent le premier seuil de température prédéfini. Dès lors, la répartition du niveau dans les différentes voies audio est calculée et traduite en termes de coefficients de la matrice de mixage. De plus, le nombre de haut-parleurs concernés est pris en compte pour activer ou non la répartition fréquentielle. Un calcul sera alors effectué pour augmenter la fréquence du/des crossovers afin d'aider les haut-parleurs à baisser leur température.

[0179] Si ces tests sont présentés comme binaires, l'effet appliqué sur le signal audio sera en réalité lissé par l'enveloppe ADSR appliquée à la température en temps réel des haut-parleurs. Avec une enveloppe bien réglée, l'effet des différentes répartitions sera ramené vers 0 avant d'être complètement désactivé, avec une logique similairement opposée lors de son activation.

[0180] Ces différentes étapes se combinent dans une logique décrite par le schéma bloc de la figure 16.

[0181] Le modèle de simulation thermique 30 analyse les signaux audio primaires S_{ap} appliqués en entrée des haut-parleurs 9. L'unité de traitement 10 évalue la température en temps réel puis la température opérationnelle. Le modèle de répartition 31 est mis en oeuvre. La répartition par niveau résulte en une adaptation de la matrice de mixage 32. La répartition fréquentielle résulte en une modification du filtre crossover 33.

[0182] Le signal audio multi-canal S_{am} est appliqué en entrée de la matrice de mixage 32 puis du filtre crossover 33. Les signaux audio primaires S_{ap} (si aucun haut-parleur n'est en surchauffe) ou les signaux audio optimisés S_{ao} (si au moins un haut-parleur est en surchauffe) sont traités et mis en forme par un module de traitement 34 puis amplifiés par les amplificateurs 35 et appliqués en entrée des haut-parleurs 9 qui diffusent le signal sonore S_s correspondant au signal audio multi-canal S_{am} .

[0183] On note que les signaux audio primaires S_{ap} , analysés par le modèle de simulation thermique 30, peuvent être les signaux en entrée ou en sortie des amplificateurs 35.

[0184] On pourrait concevoir un système audio pouvant se passer d'une enceinte, remplacée par les autres haut-parleurs en soutien. Cependant, la suppression totale d'une enceinte est compliquée à réaliser si l'on veut conserver l'équilibre spatial du son. L'algorithme de compensation du procédé de diffusion sollicite un peu plus les autres haut-parleurs par rapport à leur utilisation première. Par conséquent, on augmente les contraintes sur l'électronique et on augmente le risque thermique sur les autres haut-parleurs également. Le modèle est lissé sur un temps assez long, mais il n'a pas pour but d'être utilisé continuellement, mais plutôt ponctuellement pour palier certaines limites, faisant suite à des utilisations longues et intenses par exemple.

[0185] Le procédé de diffusion ne permet donc pas de se passer complètement d'une ou de plusieurs sources, mais

plutôt d'optimiser l'utilisation et la longévité de celles-ci en repoussant les conditions limites des haut-parleurs.

[0186] Le procédé de diffusion comprend l'étape d'augmenter le gain appliqué à un ou plusieurs haut-parleurs. Par conséquent, le risque de saturation et d'endommagement du matériel peut augmenter avec l'action du procédé de diffusion. Pour compenser cela, il est possible d'intégrer dans le système audio les dispositifs de protection habituellement utilisés pour limiter le niveau de tension envoyé aux haut-parleurs, et par exemple un/des limiteur(s) dynamique(s). Bien dimensionnés (notamment par un jeu de paramètres ADSR vu plus tôt), ils permettent d'atténuer un signal lorsqu'il dépasse un certain seuil (70 °C par exemple). Cette atténuation sera très rapide si le seuil est proche de la limite physique du haut-parleur considéré (80 °C par exemple).

[0187] D'un point de vue restitution et fréquences, la mise en oeuvre du procédé de diffusion ne dégrade pas le système audio. La fréquence de coupure correspondra à celle des composants matériels (hardware) utilisés.

[0188] Comme on l'a vu, le procédé de diffusion consiste à évaluer la température opérationnelle d'au moins un haut-parleur et, si celle-ci devient trop élevée, à appliquer le signal audio primaire particulier au moins partiellement sur au moins une autre voie audio.

[0189] Comme on l'a vu, la température opérationnelle n'est pas nécessairement une température courante, c'est-à-dire une température au temps présent, mais peut être une température à un temps futur (on parle alors de « température future »).

[0190] L'estimation de la température future, et donc l'application de la correction de manière anticipée, permet au procédé de réagir plus rapidement et ainsi de pouvoir se contenter d'appliquer une correction plus faible, donc moins audible. Plutôt que d'estimer la température future, le procédé peut aussi utiliser une boucle d'asservissement.

[0191] Dans un mode de réalisation, le signal audio primaire particulier « futur » est connu, par exemple parce que l'unité de traitement 10 est en train de lire un fichier local et que l'ensemble du fichier est disponible.

[0192] L'unité de traitement 10 peut donc appliquer le procédé déjà décrit sur ce signal futur pour estimer la température. L'évaluation de la température opérationnelle est donc basée sur une analyse du signal audio primaire particulier réalisée préalablement à sa diffusion.

[0193] Dans ce cas, si l'unité de traitement détermine qu'une correction est nécessaire, le signal effectivement joué sera différent du signal futur utilisé pour estimer la température, puisque le signal effectivement joué intègrera la correction.

[0194] Dans un autre mode de réalisation, plus simple mais moins efficace, la température future est estimée en fonction de la température courante (présente) et de l'évolution de la température dans un passé proche (et donc en fonction d'une « température passée »).

[0195] Par exemple, si $T_c(t)$ désigne la température courante et $T_c(t-1)$ désigne la température 1 seconde dans le passé, on peut estimer la température 1 seconde dans le futur avec la formule :

$$T_f(t) = T_c(t) + (T_c(t) - T_c(t-1)) .$$

[0196] Dans un autre mode de réalisation, l'unité de traitement 10 met en oeuvre un contrôleur (ou correcteur) d'asservissement.

[0197] Le contrôleur d'asservissement est un module qui reçoit en entrée une consigne et une mesure, et qui produit en sortie une commande qui lorsqu'elle est appliquée sur un système tend à rapprocher la mesure de la consigne.

[0198] La consigne est ici la température maximale souhaitée T_{max} , fixée un peu en dessous de la limite à ne pas dépasser puisque les contrôleurs usuels ont tendance à osciller autour de la consigne, et donc à la dépasser un peu.

[0199] La mesure est la température courante estimée par le procédé d'évaluation de température décrit plus tôt.

[0200] La commande représente la part $G_c(t)$ du signal audio primaire particulier à redistribuer vers d'autres haut-parleurs lorsqu'elle est négative (en décibels).

[0201] On présente un exemple de mise en oeuvre utilisant un contrôleur PID (Proportionnel-Intégral-Dérivé) usuel.

[0202] Les étapes qui suivent sont répétées à intervalles réguliers.

[0203] L'unité de traitement 10 estime tout d'abord la température courante $T_c(t)$.

[0204] Le contrôleur calcule alors l'écart $\Delta(t)$ entre la température maximale et la température courante :

$$\Delta(t) = T_{max} - T_c(t)$$

[0205] Puis, le contrôleur calcule les termes proportionnel $P_c(t)$, intégral $I_c(t)$ et dérivé $D_c(t)$:

$$P_c(t) = P \times \Delta(t)$$

$$I_c(t) = \min(I_c(t-1) + I \times \Delta(t), 0)$$

$$D_c(t) = D \times (\Delta(t) - \Delta(t-1))$$

où P , I et D sont des constantes prédéterminées qui permettent de régler la réactivité et la stabilité du contrôleur.

[0206] On constate ici une différence par rapport à un contrôleur PID classique. Habituellement, on utilise plutôt soit :

$$I_c(t) = (I_c(t-1) + I \times \Delta(t)),$$

soit :

$$I_c(t) = \text{clamp}(I_c(t-1) + I \times \Delta(t), I_{\min}, I_{\max}),$$

avec $I_{\min} < 0$ et $I_{\max} > 0$ et prédéterminés.

[0207] La commande est alors donnée par :

$$G_c(t) = P_c(t) + I_c(t) + D_c(t).$$

[0208] On note que ce mode de réalisation est une généralisation du mode de réalisation évoqué plus tôt et consistant à estimer la température future en fonction de la température courante et de la température passée.

[0209] Le terme $P_c(t)$ correspond à l'utilisation de la température courante, et le terme $D_c(t)$ ajoute la prise en compte de la température future.

[0210] En particulier si on pose $P = D$ et $I = 0$, on obtient :

$$G_c(t) = P \times (T_{\max} - (T_o(t) + (T_o(t) - T_o(t-1)))) = P \times (T_{\max} - T_f(t))$$

qui correspond exactement à l'utilisation de la température future $T_f(t)$ comme dans ledit mode de réalisation évoqué plus tôt.

[0211] Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits mais englobe toute variante entrant dans le champ de l'invention tel que défini par les revendications.

[0212] Le procédé de diffusion ne comprend pas forcément la surveillance de la température de tous les haut-parleurs. Il est possible de surveiller uniquement un ou plusieurs haut-parleurs « à risque ».

[0213] Comme on l'a vu, le procédé de diffusion peut être mis en oeuvre quel que soit le système audio multi-canal. Les haut-parleurs peuvent être intégrés dans un nombre quelconque d'équipements, et même dans un seul équipement, qui peut être un boîtier décodeur, une barre de son, une enceinte, etc.

[0214] L'équipement en question peut donc en particulier être un boîtier décodeur.

[0215] Le boîtier décodeur peut intégrer au moins un haut-parleur de la pluralité de voies audio utilisées dans la mise en oeuvre du procédé de diffusion.

[0216] Le boîtier décodeur peut ainsi intégrer tous les haut-parleurs utilisés. Dans ce cas, le boîtier décodeur intègre l'unité de traitement, les amplificateurs audio et au moins deux haut-parleurs, et par exemple quatre haut-parleurs formant quatre voies audio (gauche, droite, centre et basses).

[0217] Le boîtier décodeur peut aussi intégrer un ou plusieurs haut-parleurs, les autres haut-parleurs utilisés (par exemple ceux des voies arrière) étant déportés.

[0218] Tous les haut-parleurs peuvent aussi être positionnés à l'extérieur du boîtier décodeur.

[0219] L'unité de traitement, dans laquelle est mis en oeuvre le procédé de diffusion, peut être intégrée dans un ou plusieurs équipements appartenant ou non au système audio multi-canal (le procédé de diffusion pourrait être mis en oeuvre à distance, sur un serveur du *cloud* par exemple).

Revendications

1. Procédé de diffusion d'un signal audio multi-canal (Sam) par un système audio (1) comportant une pluralité de voies audio (4, 5a, 5b, 6a, 6b, 7) comprenant chacune au moins un haut-parleur (9), le procédé de diffusion étant mis en oeuvre par une unité de traitement (10) et comprenant les étapes de :

- diffuser le signal audio multi-canal en utilisant une répartition primaire du signal audio multi-canal, qui définit un signal audio primaire (Sap) pour chaque voie audio, et en appliquant lesdits signaux audio primaires sur les voies audio ;
- évaluer une température opérationnelle (T_o) d'au moins un haut-parleur particulier (9p) appartenant à une voie

audio particulière ;

- lorsque la température opérationnelle du haut-parleur particulier devient supérieure à un premier seuil de température prédéfini (T1), modifier la répartition primaire pour obtenir une répartition optimisée du signal audio multi-canal, dans laquelle un signal audio primaire particulier de la voie audio particulière est appliqué au moins partiellement sur au moins une autre voie audio, la répartition optimisée définissant ainsi un signal audio optimisé (Sao) pour chaque voie audio ;

- diffuser le signal audio multi-canal en appliquant les signaux audio optimisés sur les voies audio jusqu'à ce que la température opérationnelle du haut-parleur particulier (9p) devienne inférieure à un deuxième seuil de température prédéfini.

2. Procédé de diffusion selon la revendication 1, dans lequel la modification de la répartition primaire comprend l'étape d'appliquer au moins une partie d'un niveau global du signal audio primaire particulier (Sap) sur au moins une autre voie audio.

3. Procédé de diffusion selon la revendication 2, la pluralité de voies audio comprenant une voie centrale (4) et deux voies latérales (5a, 5b, 6a, 6b), la voie audio particulière étant la voie centrale (4), au moins une partie du niveau global du signal audio primaire particulier étant appliquée sur les deux voies latérales.

4. Procédé de diffusion selon l'une des revendications 2 à 3, la pluralité de voies audio comprenant une voie centrale (4), deux voies latérales avant (5a, 5b) et deux voies latérales arrière (6a, 6b), la voie audio particulière étant une voie latérale particulière (5a), au moins une partie du niveau global du signal audio primaire particulier étant appliquée sur la voie centrale (4) et sur une autre voie latérale (6a) d'un même côté que ladite voie latérale particulière.

5. Procédé de diffusion selon l'une des revendications 2 à 4, la pluralité de voies audio comprenant deux voies latérales avant (5a, 5b) et deux voies latérale arrière (6a, 6b), la voie audio particulière étant une voie latérale avant (ou arrière), au moins une partie du niveau global du signal audio primaire particulier étant appliquée sur une autre voie latérale d'un même côté que ladite voie latérale particulière, et sur l'autre voie latérale avant (ou arrière).

6. Procédé de diffusion selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la modification de la répartition primaire comprend l'étape d'appliquer au moins une partie de composantes fréquentielles du signal audio primaire particulier (Sap) sur au moins une autre voie audio.

7. Procédé de diffusion selon la revendication 6, dans lequel la modification de la répartition primaire comprend l'étape de modifier une fréquence de coupure d'un filtre crossover (33) .

8. Procédé de diffusion selon l'une des revendications 6 à 7, la pluralité de voies audio comprenant une voie basses fréquences (7) et au moins une autre voie audio (4, 5a, 5b, 6a, 6b), la voie audio particulière étant l'une des au moins une autre voie audio, des composantes fréquentielles de fréquences inférieures à un seuil de fréquence prédéfini du signal audio primaire particulier étant appliquées sur la voie basses fréquences.

9. Procédé de diffusion selon l'une des revendications 6 à 8, dans lequel l'étape d'appliquer au moins une partie des composantes fréquentielles du signal audio primaire particulier (Sap) sur au moins une autre voie audio est mise en oeuvre si un nombre de haut-parleurs particuliers (9p), dont la température opérationnelle devient supérieure au premier seuil de température prédéfini (T1), est supérieur à un nombre prédéfini.

10. Procédé de diffusion selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le signal audio primaire particulier continue à être appliqué partiellement sur la voie audio particulière jusqu'à ce que la température opérationnelle du haut-parleur particulier (9p) devienne inférieure au deuxième seuil de température prédéfini.

11. Procédé de diffusion selon la revendication 10, dans lequel le signal audio primaire particulier est atténué progressivement sur la voie audio particulière.

12. Procédé de diffusion selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'évaluation de la température opérationnelle du haut-parleur particulier (9p) comprend les étapes de :

- réaliser une analyse fréquentielle du signal audio primaire particulier pour évaluer des niveaux de différentes composantes fréquentielles du signal audio primaire particulier ;

- évaluer une température en temps réel du haut-parleur particulier (9p) en fonction desdits niveaux.

EP 4 554 256 A2

13. Procédé de diffusion selon la revendication 12, comprenant l'étape d'appliquer une enveloppe ADSR sur la température en temps réel pour obtenir la température opérationnelle.

14. Procédé de diffusion selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la température opérationnelle est une température future.

15. Procédé de diffusion selon la revendication 14, dans lequel l'évaluation de la température opérationnelle est basée sur une analyse du signal audio primaire particulier réalisée préalablement à sa diffusion.

16. Procédé de diffusion selon la revendication 14, dans lequel l'évaluation de la température opérationnelle est réalisée à partir d'une température passée et d'une température courante.

17. Procédé de diffusion selon l'une des revendications précédentes, comprenant l'étape de mettre en oeuvre un contrôleur d'asservissement, qui reçoit en entrée une consigne et une mesure, et qui produit en sortie une commande, la consigne étant une température maximale, la mesure étant l'évaluation de la température opérationnelle (T_o), et la commande étant une partie du signal audio primaire particulier à appliquer sur la au moins une autre voie audio.

18. Equipement (3) comprenant une unité de traitement (10) dans laquelle est mis en oeuvre le procédé de diffusion selon l'une des revendications précédentes.

19. Equipement selon la revendication 18, l'équipement étant un boîtier décodeur.

20. Equipement selon la revendication 19, dans lequel le boîtier décodeur intègre au moins un haut-parleur de la pluralité de voies audio.

21. Programme d'ordinateur comprenant des instructions qui conduisent l'unité de traitement (10) de l'équipement selon l'une des revendications 18 à 20 à exécuter les étapes du procédé de diffusion selon l'une des revendications 1 à 17 lorsque ledit programme est exécuté par l'unité de traitement.

22. Support d'enregistrement lisible par ordinateur, sur lequel est enregistré le programme d'ordinateur selon la revendication 21.

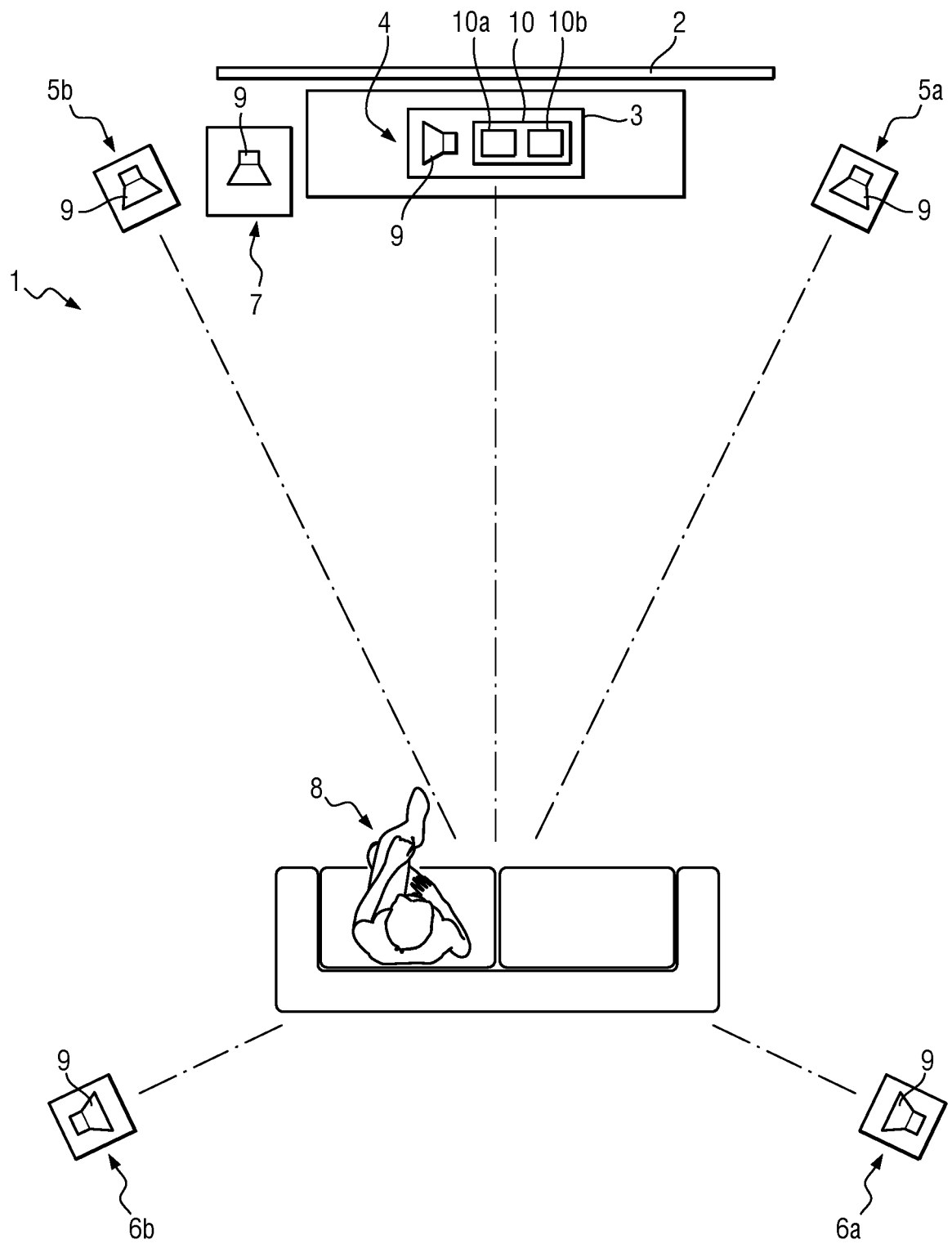


Fig. 1

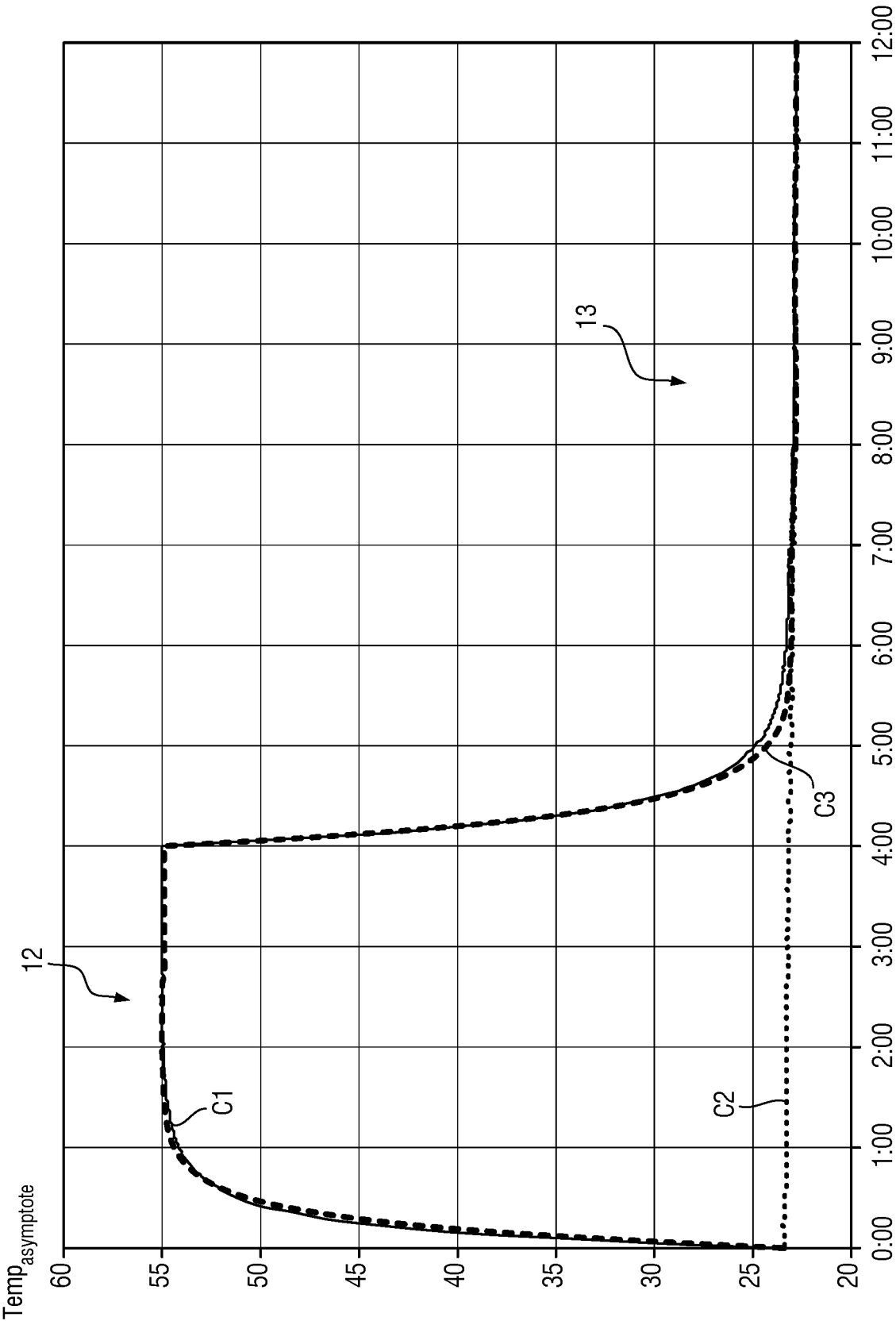


Fig. 2

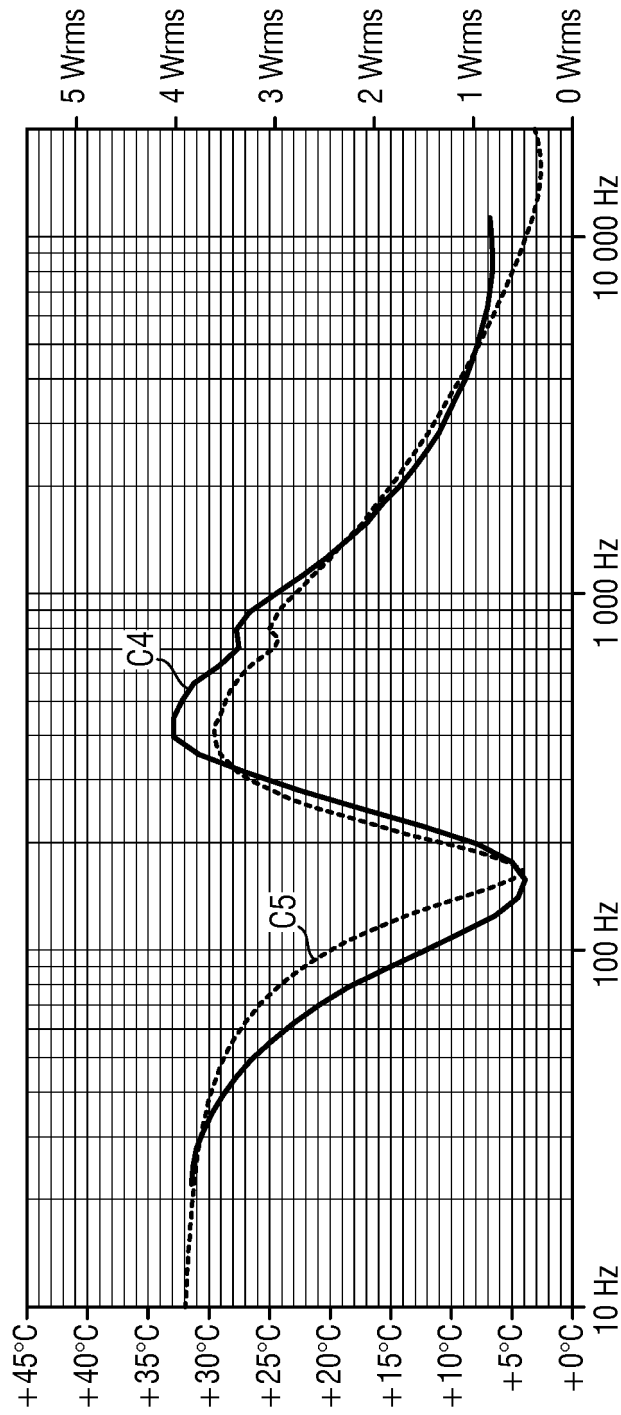


Fig. 3

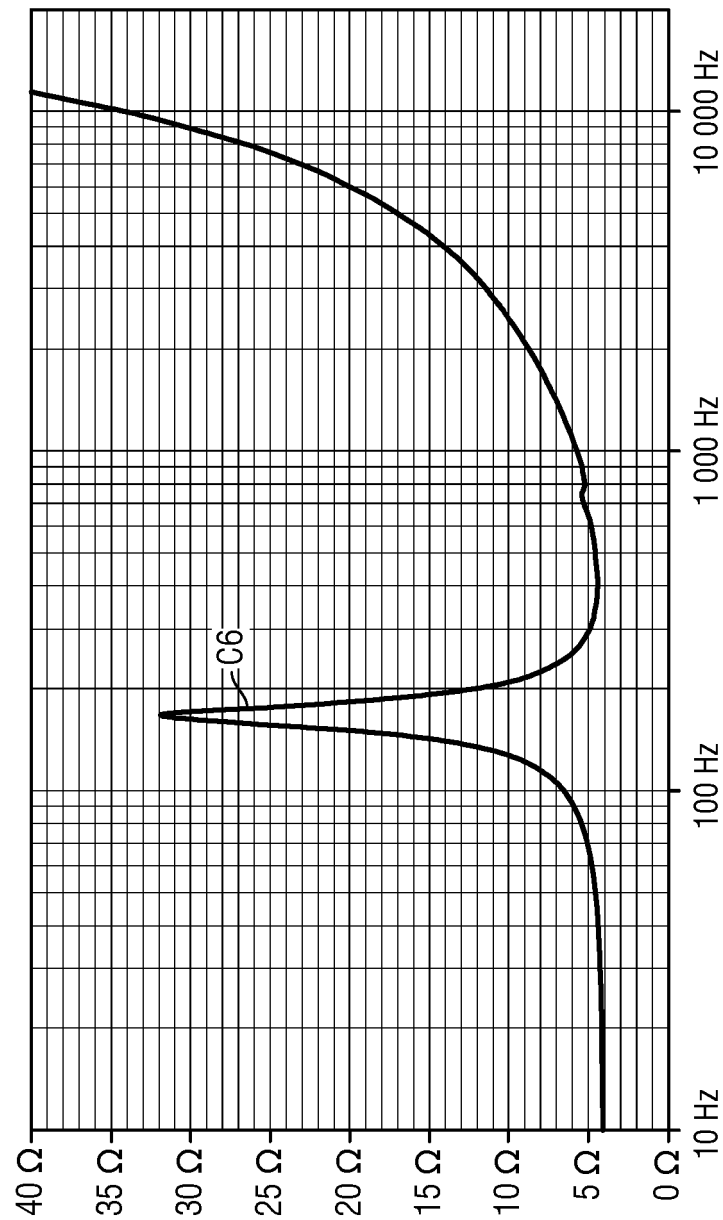


Fig. 4

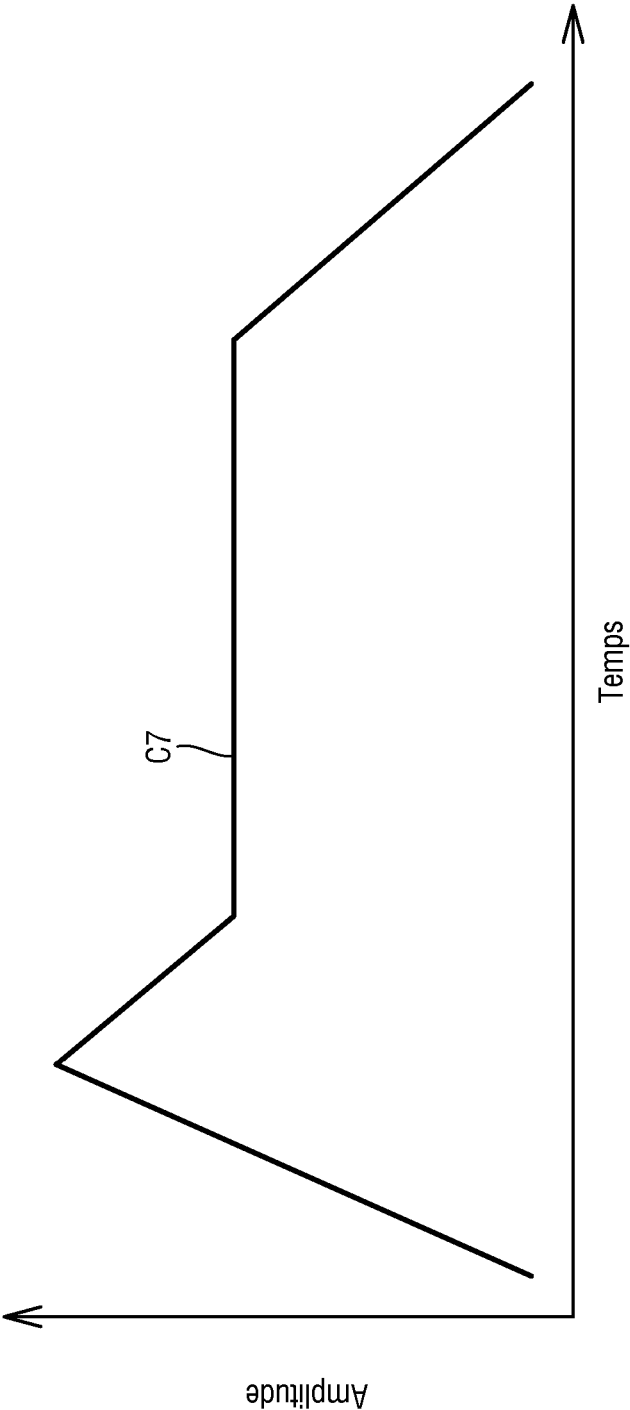


Fig. 5

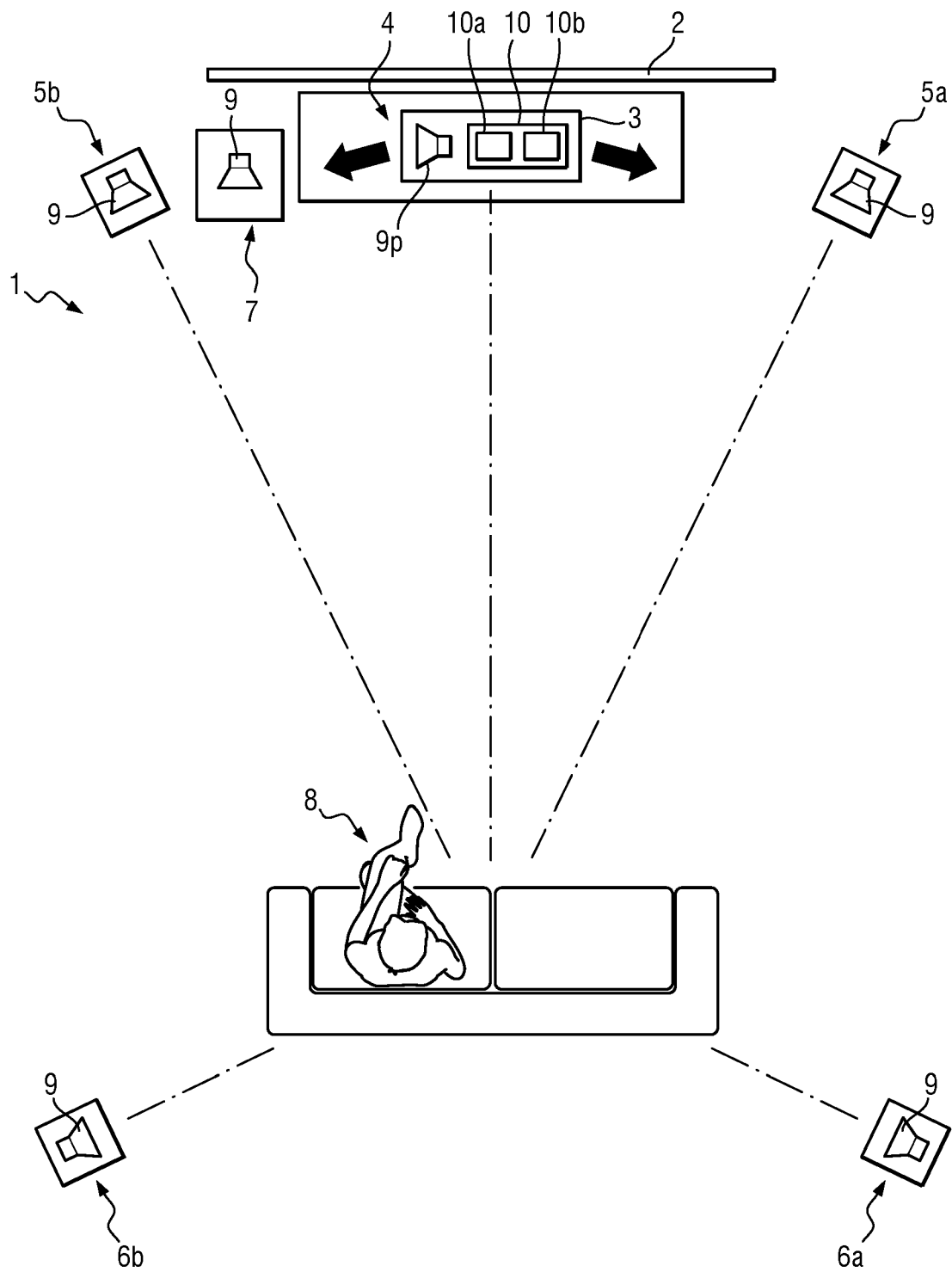


Fig. 6

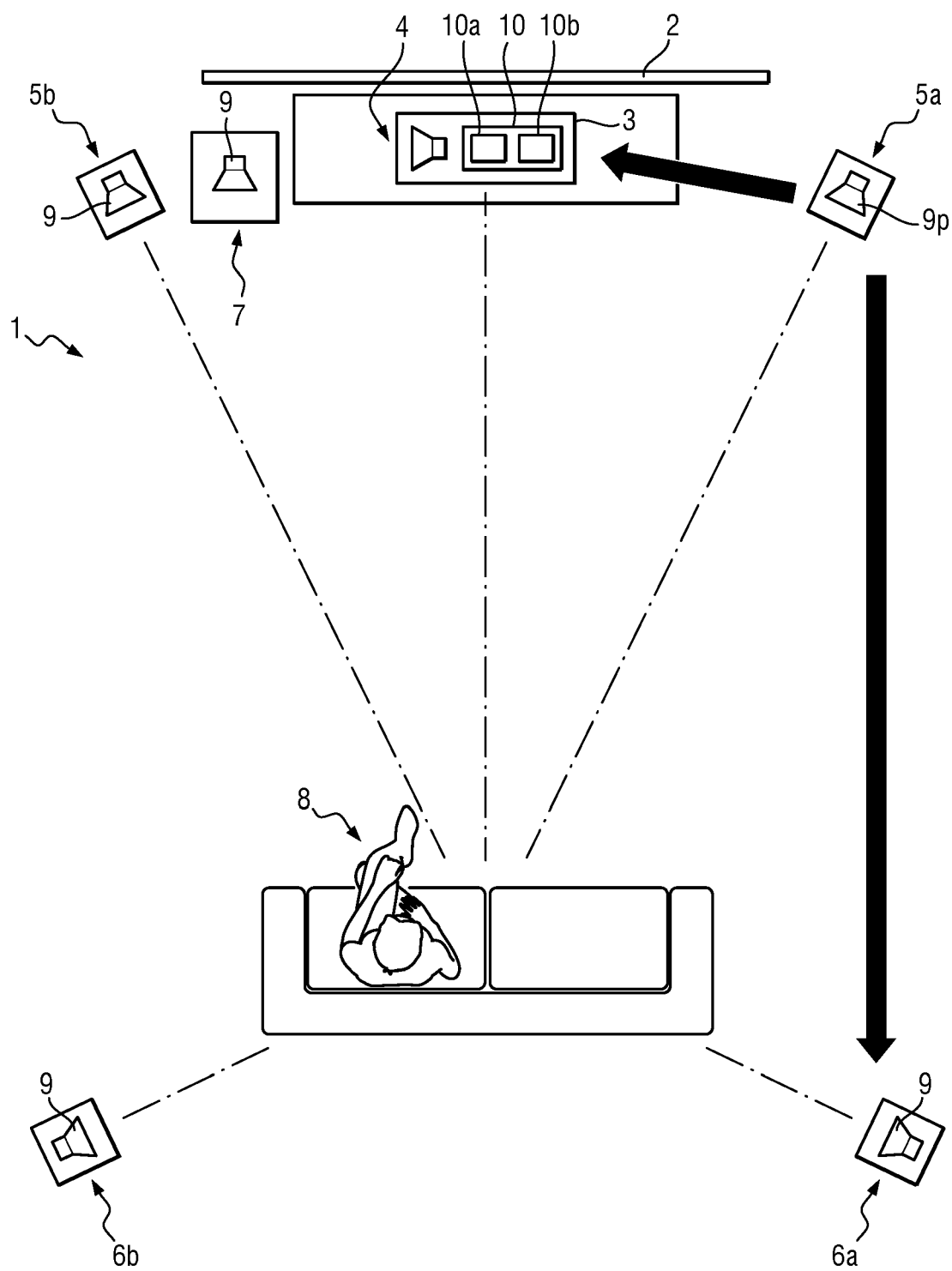


Fig. 7

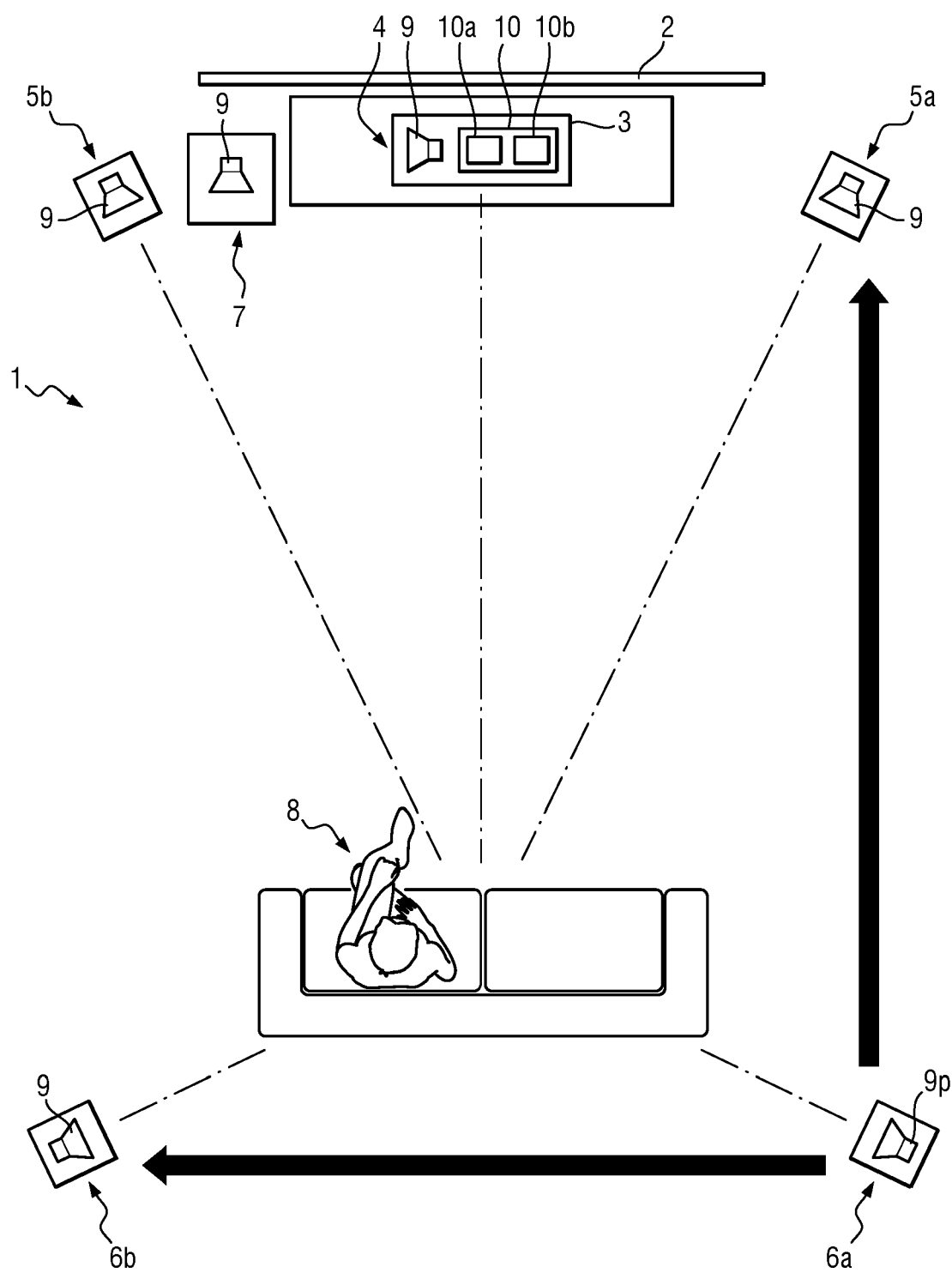


Fig. 8

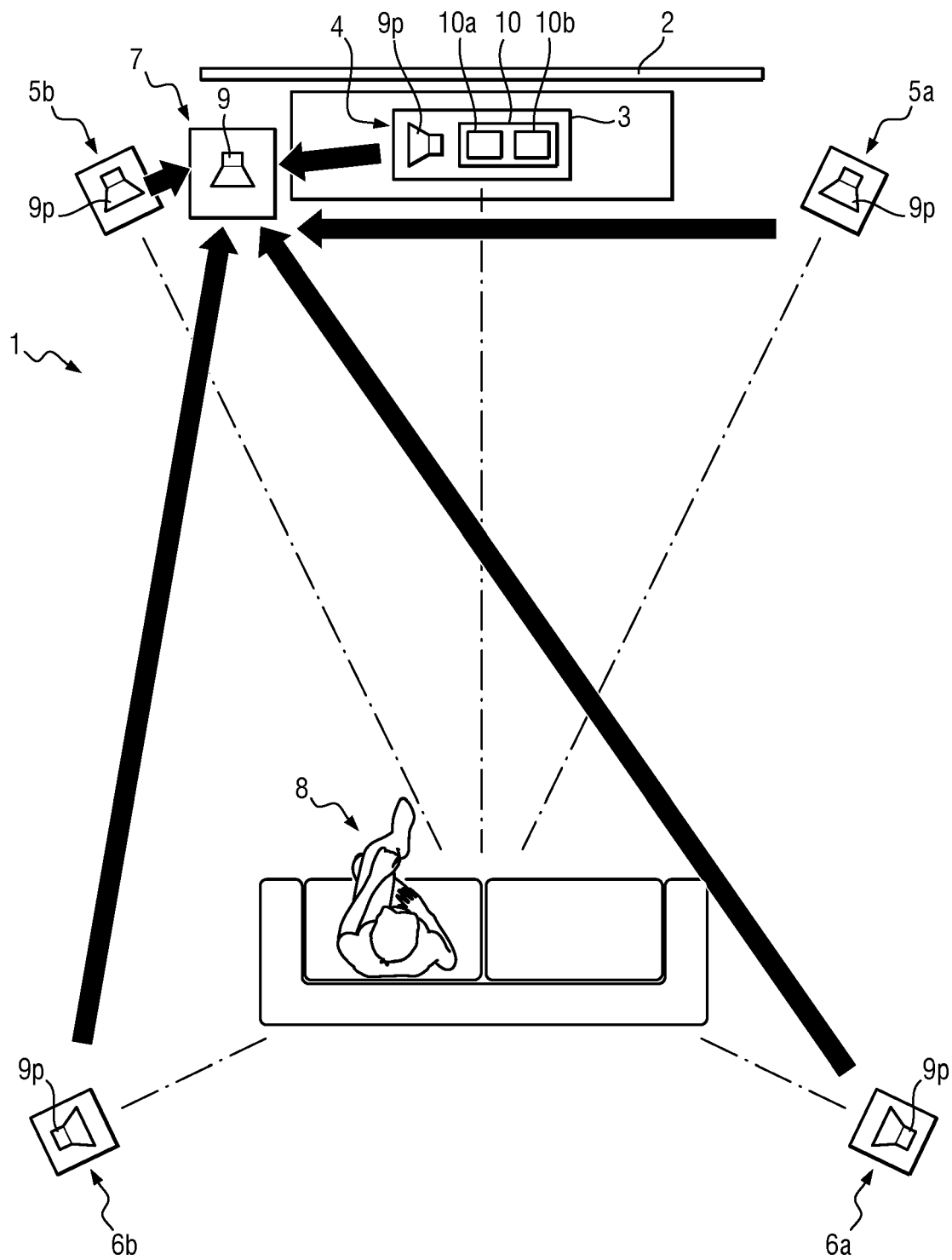


Fig. 9

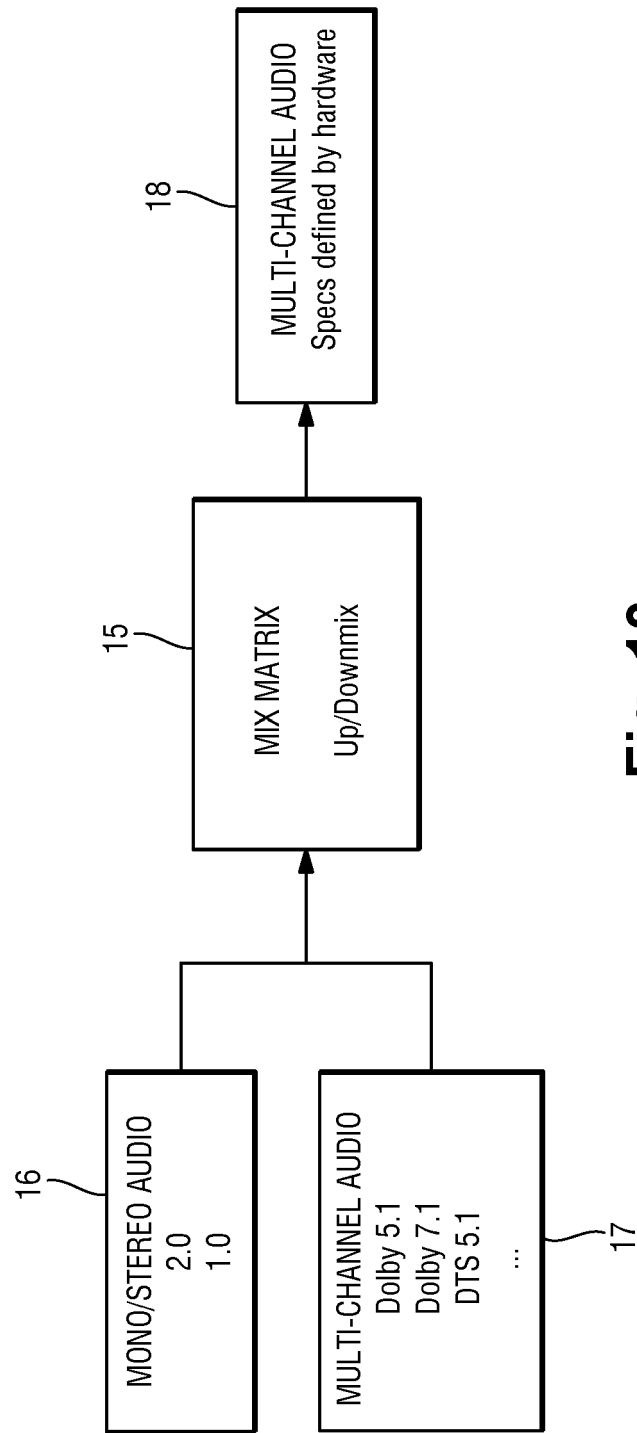


Fig. 10

19

	LEFT	RIGHT	CENTRE	WOOFER	LEFT SIDE	RIGHT SIDE
LEFT	1	0	0	0	0	0
RIGHT	0	1	0	0	0	0
CENTRE	0	0	1	0	0	0
WOOFER	0	0	0	0.316	0	0
LEFT SIDE	0	0	0	0	1	0
RIGHT SIDE	0	0	0	0	0	1
L TOP-MID	1	0	0	0	0	0
R TOP-MID	0	1	0	0	0	0

Fig. 11

20

	LEFT	RIGHT	CENTRE	WOOFER
LEFT	1	0	0	0
RIGHT	0	1	0	0
CENTRE	0	0	1	0
WOOFER	0	0	0	0.316
LEFT SIDE	0.707	0	0	0
RIGHT SIDE	0	0.707	0	0
L TOP-MID	1	0	0	0
R TOP-MID	0	1	0	0

Fig. 12

21

	LEFT	RIGHT	CENTRE	WOOFER
LEFT	1	0	0	0
RIGHT	0	1	0	0
CENTRE	$0.5/2 = 0.25$	$0.5/2 = 0.25$	$1-0.5 = 0.5$	0
WOOFER	0	0	0	0.316
LEFT SIDE	0.707	0	0	0
RIGHT SIDE	0	0.707	0	0
L TOP-MID	1	0	0	0
R TOP-MID	0	1	0	0

Fig. 13

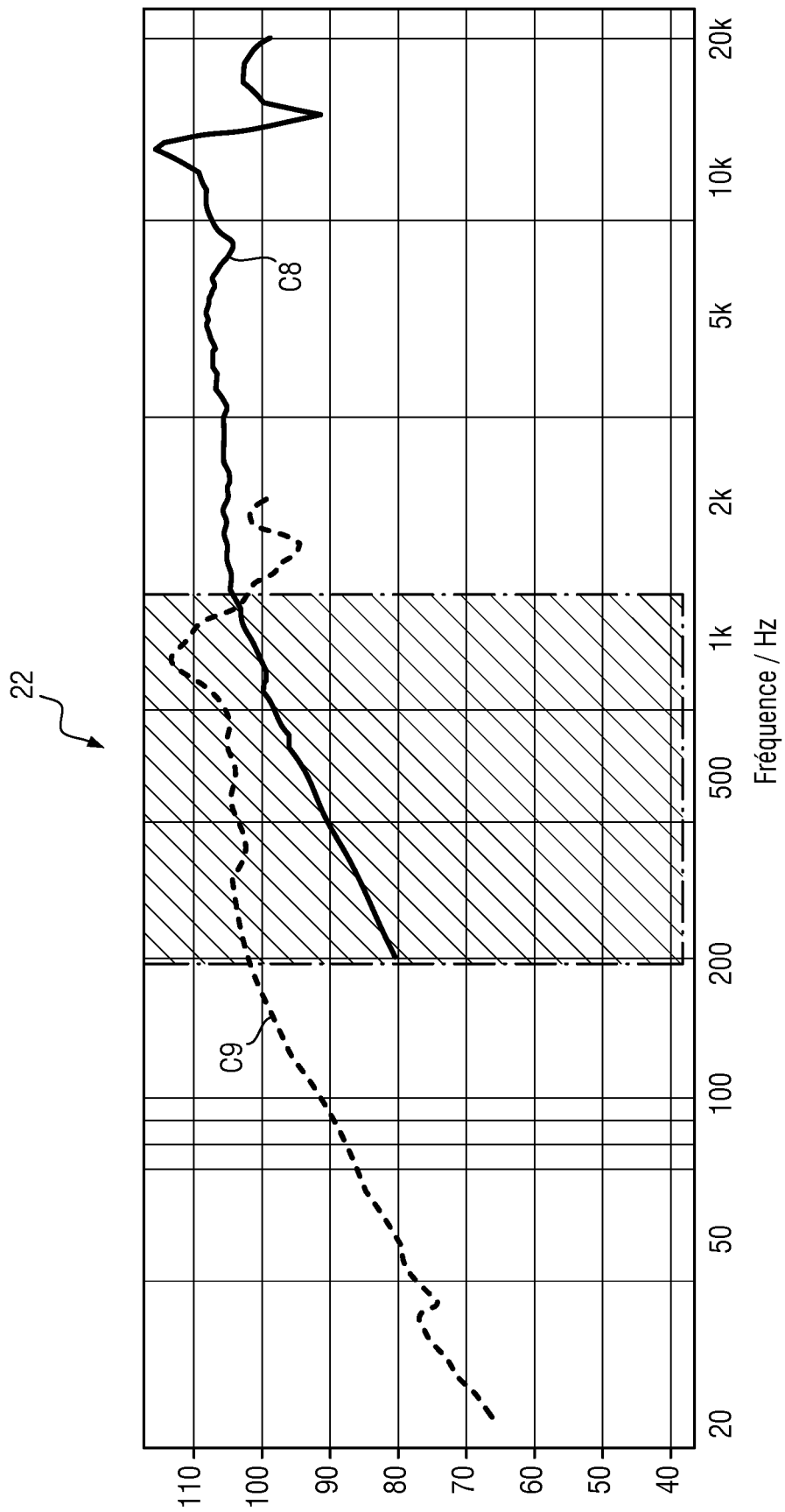
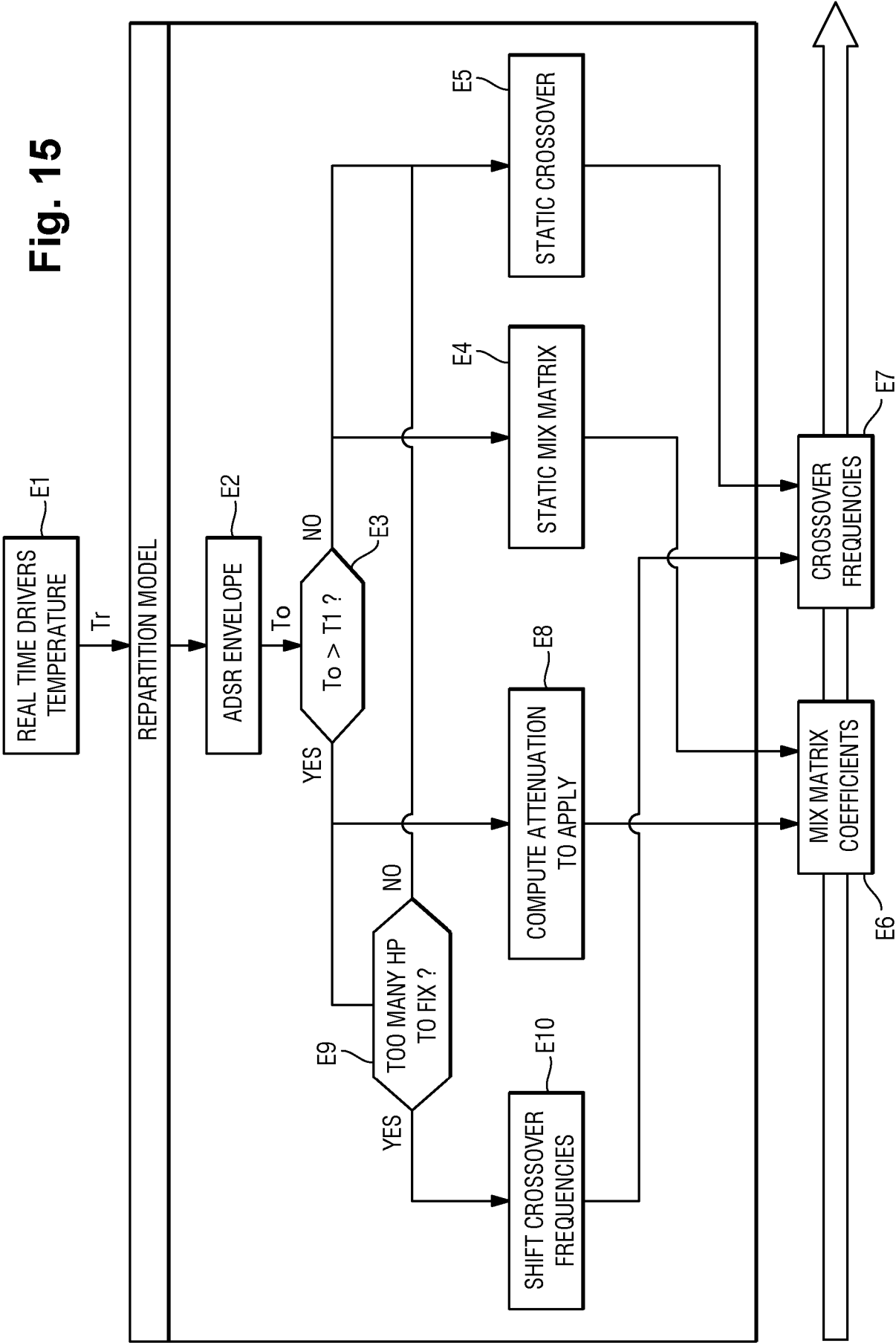


Fig. 14

Fig. 15



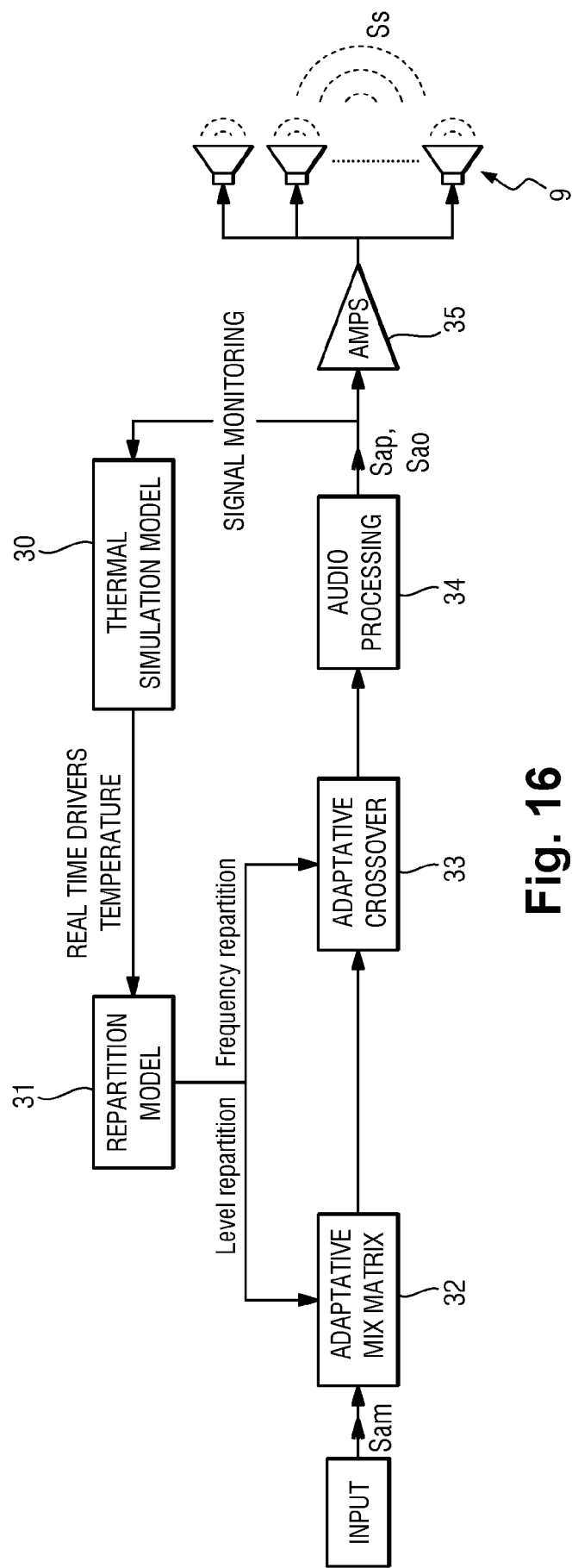


Fig. 16