

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5010185号  
(P5010185)

(45) 発行日 平成24年8月29日(2012.8.29)

(24) 登録日 平成24年6月8日(2012.6.8)

(51) Int. Cl. F I  
**HO4S 7/00 (2006.01)** HO4S 7/00 F

請求項の数 4 (全 18 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-159925 (P2006-159925)                  (22) 出願日 平成18年6月8日(2006.6.8)                  (65) 公開番号 特開2007-329746 (P2007-329746A)                  (43) 公開日 平成19年12月20日(2007.12.20)                  審査請求日 平成20年11月14日(2008.11.14)</p> <p>特許権者において、実施許諾の用意がある。</p>	<p>(73) 特許権者 000004352                  日本放送協会                  東京都渋谷区神南2丁目2番1号                  (74) 代理人 100072604                  弁理士 有我 軍一郎                  (72) 発明者 濱崎 公男                  東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日                  本放送協会放送技術研究所内                  (72) 発明者 岡本 幹彦                  東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日                  本放送協会放送技術研究所内                  (72) 発明者 安藤 彰男                  東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日                  本放送協会放送技術研究所内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 3次元音響パンニング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも1つの音源が放射する音源音響信号を取得する音源音響信号取得手段と、  
 前記音源をパンニングさせるためのパンニング情報を入力するパンニング情報入力手段と、  
 前記音源の位置に音像を形成する音像形成音響信号を出力する音像形成音響信号出力手段と、  
 前記音像形成音響信号出力手段の配置情報を記憶する配置情報記憶手段と、  
 前記音源音響信号、前記パンニング情報および前記配置情報に基づいて前記音像形成音響信号を生成する音像形成音響信号生成手段と、を含み、  
前記音像形成音響信号生成手段が、  
前記音源音響信号を周波数領域音源音響信号にフーリエ変換する変換手段と、  
前記周波数領域音源音響信号、前記パンニング情報および前記配置情報に基づいて周波数領域音像形成音響信号を生成する周波数領域音像形成音響信号生成手段と、  
前記周波数領域音像形成音響信号を時間関数である前記音像形成音響信号にフーリエ逆変換する逆変換手段と、を含み、  
前記周波数領域音像形成音響信号生成手段が、  
前記音源音響信号を放射する前記音源をパンニング情報に基づいてパンニングしたときの受音点における音響物理量ベクトルである音源音響物理量ベクトルに等しい音像音響物理量ベクトルを受音点に形成する前記音像形成音響信号を生成するものである 3次元音響

パニング装置。

【請求項 2】

前記パニング情報入力手段が、

前記受音点を基準とする前記音源の方向情報を入力する方向情報入力手段と、

前記受音点を基準とする前記音源までの距離情報を入力する距離情報入力手段とを含む請求項 1 に記載の 3 次元音響パニング装置。

【請求項 3】

前記パニング情報入力手段が、

前記パニング情報を記憶するパニング情報記憶手段を含む請求項 2 に記載の 3 次元音響パニング装置。

10

【請求項 4】

前記音像形成音響信号出力手段が、

前記音像形成音響信号を記録し編集する記録編集手段を含む請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の 3 次元音響パニング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、3次元音響パニング装置に係り、特に、音源の3次元的なパニングを複数のスピーカが放射する音響信号により形成される音像のパニングとして再生することの可能な3次元音響パニング装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

2チャンネルオーディオシステム、または5.1サラウンドシステムのようなオーディオ再生装置にあっては、ミキシングコンソールのパンポッド等により受音点を中心とする円周上に配置された複数のスピーカの出力を変更して音像の定位や移動を調整していたため、音像を円周に沿って左右方向にパニングさせることは容易であるものの、音像を上下方向および前後方向にパニングさせることは困難であった。

【0003】

そこで、音響信号を左右方向だけでなく上下方向および前後方向3次元的にパニングすることを目的とする装置が既に提案されている（例えば、特許文献1、特許文献2および非特許文献1参照）。

30

【0004】

即ち、特許文献1に開示された装置は、FIRフィルタを適用することにより、同一平面に配置された2つのスピーカであっても音像を水平方向だけでなく上下方向にパニング可能としている。

【0005】

また、特許文献2に開示された装置は、視聴者を原点とする物体の位置（角度、距離）に応じて使用するスピーカを選択するだけでなく、使用するスピーカが出力する音量を制御することにより音像を水平方向だけでなく前後方向にパニング可能としている。

【0006】

40

さらに、非特許文献1に開示された装置は、受音点を原点とする音源の位置ベクトルは音源を囲む3つのスピーカの方向を向くスピーカベクトルに分解できるので、スピーカベクトルの大きさに応じた音量で3つのスピーカから音響信号を出力することにより音源位置と同位置に音像を再生することを可能としている。

【特許文献1】特許第3177714号公報（[0012]、図1）

【特許文献2】特開平6-301390号公報（[0010]～[0015]、図1）

【非特許文献1】“Localization of Amplitude-Panned Virtual Sources II: Two- and Three-Dimensional Panning” VILLE PULKKI, J. Audio Eng. Soc. Vol.49, No.9, 2001 September

【発明の開示】

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

しかしながら、特許文献1に開示された装置は音像を前後にパンニングすることが困難であるという課題があり、また、特許文献2および非特許文献1に開示された装置は音響信号の振幅のみに基づいて音像を前後方向にパンニングさせるものであり、位相をも考慮した正確な前後方向のパンニングは困難であるという課題があった。

## 【0008】

本発明は、従来の課題を解決するためになされたものであって、音源の3次元的なパンニングを複数のスピーカが放射する音響信号により形成される音像のパンニングとして再生することの可能な3次元音響パンニング装置を提供することを目的とする。

10

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

本発明の3次元音響パンニング装置は、少なくとも1つの音源が放射する音源音響信号を取得する音源音響信号取得手段と、前記音源をパンニングさせるためのパンニング情報を入力するパンニング情報入力手段と、前記音源の位置に音像を形成する音像形成音響信号を出力する音像形成音響信号出力手段と、前記音像形成音響信号出力手段の配置情報を記憶する配置情報記憶手段と、前記音源音響信号、前記パンニング情報および前記配置情報に基づいて前記音像形成音響信号を生成する音像形成音響信号生成手段と、を含み、前記音像形成音響信号生成手段が、前記音源音響信号を周波数領域音源音響信号にフーリエ変換する変換手段と、前記周波数領域音源音響信号、前記パンニング情報および前記配置情報に基づいて周波数領域音像形成音響信号を生成する周波数領域音像形成音響信号生成手段と、前記周波数領域音像形成音響信号を時間関数である前記音像形成音響信号にフーリエ逆変換する逆変換手段と、を含み、前記周波数領域音像形成音響信号生成手段が、前記音源音響信号を放射する前記音源をパンニング情報に基づいてパンニングしたときの受音点における音響物理量ベクトルである音源音響物理量ベクトルに等しい音像音響物理量ベクトルを受音点に形成する前記音像形成音響信号を生成するものである構成を有している。

20

## 【0010】

この構成により、音源の3次元的なパンニングを複数のスピーカが放射する音響信号により形成される音像のパンニングとして再生することができることとなる。

30

また、この構成により、音源音響信号、パンニング情報および配置情報に基づいて、音像形成音響信号を生成できることとなる。

また、この構成により、スピーカの配置に係わらず音像を3次元的にパンニングすることができることとなる。

## 【0011】

本発明の3次元音響パンニング装置は、前記パンニング情報入力手段が、前記受音点を基準とする前記音源の方向情報を入力する方向情報入力手段と、前記受音点を基準とする前記音源までの距離情報を入力する距離情報入力手段とを含む構成を有している。

## 【0012】

この構成により、パンニング情報を音源の方向情報と距離情報の組み合わせとして入力することができることとなる。

40

## 【0013】

本発明の3次元音響パンニング装置は、前記パンニング情報入力手段が、前記パンニング情報を記憶するパンニング情報記憶手段を含む構成を有している。

## 【0014】

この構成により、パンニング情報を記憶することができることとなる。

## 【0015】

本発明の3次元音響パンニング装置は、前記音像形成音響信号出力手段が、前記音像形成音響信号を記録し編集する記録編集手段を含む構成を有している。

## 【0016】

50

この構成により、音像形成音響信号を記録し編集することができることとなる。

【発明の効果】

【0021】

本発明は、音源の3次元的なパンニングを複数のスピーカが放射する音響信号により形成される音像のパンニングとして再生することの可能な3次元音響パンニング装置を提供することができるものである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下、本発明に係る3次元音響パンニング装置の実施形態について、図面を用いて説明する。

10

【0023】

なお、本明細書において音響物理量ベクトルとは、点音源から放射された音響信号を受音する受音点の音響的な物理量、即ち、音圧または粒子速度の少なくとも一方を成分とするベクトル、あるいは、粒子速度ベクトルにスカラー量である音圧を乗じてある時間区間で積分した音響インテンシティベクトルを意味するものとする。

【0024】

(第1の実施形態)

第1の実施形態の3次元音響パンニング装置1は、図1のブロック図に示すように、少なくとも1つの音源Cが放射する音源音響信号 $s(t)$ を取得する音源音響信号取得手段11と、音源Cをパンニングさせるためのパンニング情報を入力するパンニング情報入力手段12と、音源Cの位置に音像を形成する音像形成音響信号 $q(t)$ を出力する音像形成音響信号出力手段13と、音像形成音響信号出力手段13の配置情報 $I_s$ を記憶する配置情報記憶手段14と、音源音響信号 $s(t)$ 、パンニング情報 $I_p$ および配置情報 $I_s$ に基づいて音像形成音響信号 $q(t)$ を生成する音像形成音響信号生成手段15とを含んでいる。

20

【0025】

そして、パンニング情報入力手段12は、受音点Gを基準とする音源の方向情報 $I_{pd}$ を入力する方向情報入力手段121と、受音点Gを基準とする音源までの距離情報 $I_{pr}$ を入力する距離情報入力手段122とを含んでもよい。

【0026】

パンニング情報入力手段12は、さらに、パンニング情報 $I_p$ を記憶するパンニング情報記憶手段123を含んでもよい。

30

【0027】

また、音像形成音響信号出力手段13は、音像形成音響信号 $q(t)$ を記録し編集する記録編集手段131を含んでもよい。

【0028】

音像形成音響信号生成手段15は、音源音響信号 $s(t)$ を周波数領域音源音響信号 $S(\ )$ にフーリエ変換する変換手段151と、周波数領域音源音響信号 $S(\ )$ 、パンニング情報 $I_p$ および配置情報 $I_s$ に基づいてパンニングする音像を形成する周波数領域音像形成音響信号 $Q(\ )$ を生成する周波数領域音像形成音響信号生成手段152と、周波数領域音像形成音響信号 $Q(\ )$ を時間関数である音像形成音響信号 $q(t)$ にフーリエ逆変換する逆変換手段153とを含む。

40

【0029】

図2は、本発明に係る3次元音響パンニング装置1のハードウェア構成を示すブロック図であって、音源音響信号 $s(t)$ を読み込むアナログ・デジタル(A/D)変換器21と、音像形成音響信号 $q(t)$ を出力するデジタル・アナログ(D/A)変換器22と、3次元音響パンニングプログラムを実行するCPU23と、3次元音響パンニングプログラムを記憶するメモリ24と、3次元音響パンニング装置を操作するための周辺機器が接続されるインターフェイス(I/F)25とがバス20に接続された構成を有する。

【0030】

50

I/F 25には、表示パネル261と、キーボード262と、マウス263と、パンニング情報 $I_p$ の方向成分情報を入力するトラックボール27と、パンニング情報 $I_p$ の距離成分情報を入力するパンポッド28とが接続される。なお、表示パネル261、キーボード262、およびマウス263に代えて、専用の操作パネルを適用することも可能である。

【0031】

即ち、本発明に係る3次元音響パンニング装置1は、コンピュータ2に3次元音響パンニングプログラムをインストールすることにより構成される。

【0032】

図3はトラックボール27(a)およびパンポッド28(b)の斜視図である。

10

【0033】

トラックボール27は、トラックボールベース271に設けられた半球状の窪みにボール272が嵌合し、ボール272を任意の方向に回転させることが可能な構造を有する。

【0034】

ボール272を指または掌で回転させることにより、受音点Gを基準とする音源Cの方向情報(音源の回転方向および回転量)を入力することができる。

【0035】

パンポッド28は、例えば可変抵抗器であり、パンポッドベース281上のつまみ282を前後に移動させることにより受音点Gを基準とする音源Cまでの距離情報を入力することができる。

20

【0036】

図4は、メモリ24にインストールされる3次元音響パンニングプログラムのフローチャートであって、CPU23は、まずA/D変換器21を介して、音源音響信号 $s(t)$ を読み込む(ステップS41)。

【0037】

CPU23は、音源音響信号 $s(t)$ をフーリエ変換して周波数領域音源音響信号 $S()$ を算出(ステップS42)する。

【0038】

次に、CPU23は、パンニング処理を実行して周波数領域音像形成音響信号 $Q()$ を算出(ステップS43)し、周波数領域音像形成音響信号 $Q()$ を逆フーリエ変換して時間領域の信号である音像形成音響信号 $q(t)$ を算出(ステップS44)する。

30

【0039】

なお、ステップS43およびステップS44の処理の詳細は後述する。

【0040】

最後に、CPU23は、D/A変換器22を介して音像形成音響信号 $q(t)$ を出力(ステップS45)して、このルーチンを終了する。

【0041】

ステップS43では、音源音響信号 $s(t)$ を放射する音源Cをパンニング情報 $I_p$ に基づいてパンニングしたときの受音点Gにおける音響物理量ベクトルである音源音響物理量ベクトル $R$ に等しい音像音響物理量ベクトル $V$ を受音点Gに形成する音像形成音響信号 $q(t)$ を生成する。

40

【0042】

まず、点音源が1つ、受音点が1つの場合における受音点の音響物理量ベクトルについて説明する。

【0043】

3次元空間の原点に配置された点音源から放射された音響の原点から半径 $r$ の球面上の音圧 $p(t, r)$ は[数1]の波動方程式により決定される。

【数 1】

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2}(rp) = c^2 \frac{\partial^2}{\partial r^2}(rp)$$

$$\text{ここで、} c^2 = \frac{K}{\rho}$$

$K$  = 空気の体積弾性率

$\rho$  = 空気の密度

10

【0044】

よって、点音源に印加される音源音響信号を  $s(t)$  とすれば、原点から半径  $r$  の球面上の音圧  $p(t, r)$  は [数 2] によって表される。

【数 2】

$$p(t, r) = \frac{A}{r} s\left(t - \frac{r}{c}\right)$$

ここで、 $A$  = 入力信号の振幅と単位距離上の音圧から定まる比例定数

20

【0045】

[数 2] の周波数領域表現は、[数 3] となる。

【数 3】

$$P(\omega, r) = \frac{A \cdot e^{-jkr}}{r} S(\omega) = G_p(\omega, r) \cdot S(\omega)$$

$$\text{ここで、} j = \sqrt{-1}$$

$$k = \frac{\omega}{c} = \text{波数(波長定数)}$$

$\omega$  = 角周波数

$e$  = 自然対数の底

$G_p(\omega, r)$  = 音圧伝達関数

$S(\omega)$  = 周波数領域音源音響信号

30

【0046】

上式は、1つの点音源から放射された音源音響信号  $s(t)$  の1つの受信点における音圧は、点音源から受信点までの距離に反比例し、点音源から受信点までの音響信号の伝播時間遅延し、1つの受信点における音圧は点音源から受信点までの距離の関数である音圧伝達関数  $G_p(\quad, r)$  と周波数領域音源音響信号  $S(\quad)$  との積を逆フーリエ変換して算出できることを示している。

40

【0047】

点音源から受信点までの距離および音響信号の伝播時間は、任意の座標系における点音源座標および受信点座標を定めれば一義的に定まるので、音圧伝達関数も座標系における音源座標および受信点座標を定めれば一義的に定まることとなる。

【0048】

3次元空間の原点に配置された点音源から放射された音源音響信号の原点から半径  $r$  の球面上の粒子速度  $v(r, t)$  とすれば、半径  $r$  の球面上の運動方程式は [数 4] で表される。

50

【数4】

$$\rho \frac{\partial v(r,t)}{\partial t} = -\frac{\partial p(t,r)}{\partial r} = -\frac{\partial}{\partial r} \left\{ \frac{1}{r} s\left(t - \frac{r}{c}\right) \right\}$$

【0049】

[数4]を解いて、粒子速度 $v(r)$ は[数5]により表すことができる。

【数5】

10

$$v(r,t) = \frac{B}{\rho c r} s\left(t - \frac{r}{c}\right) + \frac{B}{\rho r^2} \int s\left(t - \frac{r}{c}\right) d\left(t - \frac{r}{c}\right)$$

ただし、 $B$  = 入力信号の振幅と単位距離上の音圧から定まる比例定数

【0050】

[数5]の周波数領域表現は[数6]となる。

【数6】

20

$$V(\omega, r) = \frac{B \cdot e^{-jkr}}{\rho c r} S(\omega) + \frac{B \cdot e^{-jkr}}{j\omega \rho r^2} S(\omega) = \frac{B \cdot e^{-jkr}}{\rho c r} \left(1 + \frac{1}{jkr}\right) S(\omega) = G_v(\omega, r) \cdot S(\omega)$$

ここで、 $G_v(\omega, r)$  = 粒子速度伝達関数

【0051】

従って、受音点 $k$ における音圧 $p(t, r)$ および粒子速度 $v(t, r)$ の双方を成分とする音響物理量ベクトル $\mathbf{P}_k$ は[数7]によって定義することができる。

【数7】

30

$$\mathbf{P}_k = \begin{bmatrix} P(\omega, r) \\ V(\omega, r) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_p(\omega, r) \\ G_v(\omega, r) \end{bmatrix} S(\omega)$$

【0052】

音響物理量ベクトル $\mathbf{P}_k$ は、音圧 $p(t, r)$ または粒子速度 $v(t, r)$ の一方だけを成分としてもよい。

【0053】

さらに、音響物理量ベクトル $\mathbf{P}_k$ は音圧 $p(t, r)$ と粒子速度 $v(t, r)$ の積である瞬時音響インテンシティ $II(t, r)$ 、あるいは、瞬時音響インテンシティのある時間区間の積分値である音響インテンシティ $I(t, r)$ を成分とするものであってもよい。

40

【0054】

ここで、瞬時音響インテンシティ $II(t, r)$ は[数8]で、音響インテンシティ $I(t, r)$ は[数9]で定義される。

【数8】

$$II(t, r) = p(t, r) \cdot v(t, r)$$

【0055】

50

【数 9】

$$I(t, r) = \int_{t_1}^{t_2} II(t, r) dt = \int_{t_1}^{t_2} p(t, r) \bullet v(t, r) dt$$

【0056】

なお、以下の実施形態においては、音響物理量ベクトルが音圧である場合について説明する。

【0057】

受音点 G を原点とする空間内の音源の位置を  $C(r_c(\tau), \varphi_c(\tau), \theta_c(\tau))$  と表すと、音源 C から放射された音源音響信号の原点における音圧ベクトルである音源音圧ベクトル R は [数 10] で表すことができる。

【数 10】

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{r_c(\tau) e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \cos \varphi_c(\tau) \cos \theta_c(\tau) \\ \frac{r_c(\tau) e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \cos \varphi_c(\tau) \sin \theta_c(\tau) \\ \frac{r_c(\tau) e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \sin \varphi_c(\tau) \end{bmatrix} S(\omega)$$

ただし、 $\theta_c(\tau)$  は音源 C の方位角

$\varphi_c(\tau)$  は音源 C の仰角

$r_c$  は受音点 G から音源までの距離

$\tau$  は音源 C のパンニングに関するタイムコード

【0058】

また、音像形成音響信号出力手段 13 である 3 つのスピーカ  $SP_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) の位置を、図 5 に示すように  $SP_i(r_i, \varphi_i, \theta_i)$  と表すと、各スピーカ  $SP_i$  が周波数領域音像形成音響信号  $Q_i(\omega)$  ( $i = 1, 2, 3$ ) を出力した時の原点における音圧ベクトルである音像音圧ベクトル V は [数 11] で表すことができる。

【数 11】

$$\mathbf{V} = - \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^3 \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \cos \varphi_i \cos \theta_i Q_i(\omega) \\ \sum_{i=1}^3 \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \cos \varphi_i \sin \theta_i Q_i(\omega) \\ \sum_{i=1}^3 \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \sin \varphi_i Q_i(\omega) \end{bmatrix}$$

ただし、 $\theta_i$  はスピーカ  $SP_i$  の方位角

$\varphi_i$  はスピーカ  $SP_i$  の仰角

$r_i$  は原点からスピーカ  $SP_i$  までの距離

【0059】

ここで、[数 12] が成立するように  $Q_1(\omega)$ 、 $Q_2(\omega)$ 、 $Q_3(\omega)$  を決定し、時



間領域に逆変換してスピーカから出力すれば、音源音響信号  $s(t)$  がパンニングする状況を、予め定められた位置に配置したスピーカから音像形成音響信号  $q(t)$  を出力することにより再現することが可能となる。

【数 1 2】

$$\mathbf{R} = \mathbf{V}$$

【0060】

そして、[数 1 2] が成立するように音像形成音響信号  $q_1(t)$ 、 $q_2(t)$ 、 $q_3(t)$  を決定するためには、[数 1 3] で表される音源音圧ベクトル  $\mathbf{R}$  と音像音圧ベクトル  $\mathbf{V}$  の二乗誤差  $E$  が最少となる音像形成音響信号  $q_1(t)$ 、 $q_2(t)$ 、 $q_3(t)$  を求めればよい。

10

【数 1 3】

$$E = \|\mathbf{R} - \mathbf{V}\|^2$$

【0061】

[数 1 3] に [数 1 0] および [数 1 1] を代入して展開すると [数 1 4] となる。

【数 1 4】

20

$$\begin{aligned}
 E &= \left[ \frac{r_c(\tau)e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \cos \varphi_c(\tau) \cos \theta_c(\tau) S(\omega) - \sum_{i=1}^3 \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \cos \varphi_i \cos \theta_i Q_i(\omega) \right] \\
 &\times \left[ \frac{r_c(\tau)e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \cos \varphi_c(\tau) \cos \theta_c(\tau) S(\omega) - \sum_{i=1}^3 \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \cos \varphi_i \cos \theta_i Q_i(\omega) \right]^* \\
 &+ \left[ \frac{r_c(\tau)e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \cos \varphi_c(\tau) \sin \theta_c(\tau) S(\omega) - \sum_{i=1}^3 \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \cos \varphi_i \sin \theta_i Q_i(\omega) \right] \\
 &\times \left[ \frac{r_c(\tau)e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \cos \varphi_c(\tau) \sin \theta_c(\tau) S(\omega) - \sum_{i=1}^3 \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \cos \varphi_i \sin \theta_i Q_i(\omega) \right]^* \\
 &+ \left[ \frac{r_c(\tau)e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \sin \varphi_c(\tau) S(\omega) - \sum_{i=1}^3 \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \sin \varphi_i Q_i(\omega) \right] \\
 &\times \left[ \frac{r_c(\tau)e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \sin \varphi_c(\tau) S(\omega) - \sum_{i=1}^3 \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \sin \varphi_i Q_i(\omega) \right]^*
 \end{aligned}$$

30

ここで、 $[X]^*$  は  $[X]$  の共役を示す。

40

【0062】

[数 1 5] を使用して [数 1 4] を書き換えると、[数 1 6] となる。

【数 1 5】

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{r_c(\tau)e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \cos \varphi_c(\tau) \cos \theta_c(\tau) & b &= \frac{r_c(\tau)e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \cos \varphi_c(\tau) \sin \theta_c(\tau) \\
 c &= \frac{r_c(\tau)e^{-jk|r_c(\tau)|}}{|r_c(\tau)|^2} \sin \varphi_c(\tau) \\
 \tilde{a}_i &= \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \cos \varphi_i \cos \theta_i & \tilde{b}_i &= \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \cos \varphi_i \sin \theta_i & \tilde{c}_i &= \frac{r_i e^{-jk|r_i|}}{|r_i|^2} \sin \varphi_i
 \end{aligned}$$

10

【0 0 6 3】

【数 1 6】

$$\begin{aligned}
 E &= \left( a \bullet S(\omega) - \sum_{i=1}^I \tilde{a}_i \bullet Q_i(\omega) \right) \times \left( a \bullet S(\omega) - \sum_{i=1}^I \tilde{a}_i \bullet Q_i(\omega) \right)^* \\
 &+ \left( b \bullet S(\omega) - \sum_{i=1}^I \tilde{b}_i \bullet Q_i(\omega) \right) \times \left( b \bullet S(\omega) - \sum_{i=1}^I \tilde{b}_i \bullet Q_i(\omega) \right)^* \\
 &+ \left( c \bullet S(\omega) - \sum_{i=1}^I \tilde{c}_i \bullet Q_i(\omega) \right) \times \left( c \bullet S(\omega) - \sum_{i=1}^I \tilde{c}_i \bullet Q_i(\omega) \right)^* \\
 &= S(\omega) (a \bullet a^* + b \bullet b^* + c \bullet c^*) S(\omega)^* \\
 &+ \sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^I Q_i(\omega) (\tilde{a}_i \bullet \tilde{a}_{i'}^* + \tilde{b}_i \bullet \tilde{b}_{i'}^* + \tilde{c}_i \bullet \tilde{c}_{i'}^*) Q_{i'}(\omega)^* \\
 &- \sum_{i=1}^I Q_i(\omega) (\tilde{a}_i \bullet a^* + \tilde{b}_i \bullet b^* + \tilde{c}_i \bullet c^*) S(\omega)^* - \sum_{i=1}^I S(\omega) (\tilde{a}_i^* \bullet a + \tilde{b}_i^* \bullet b + \tilde{c}_i^* \bullet c) Q_i(\omega)^* \\
 &= S(\omega) \bullet h_0 \bullet S(\omega)^* + \mathbf{Q}(\omega)^T \bullet \mathbf{H} \bullet \mathbf{Q}(\omega)^* - \mathbf{Q}(\omega)^T \bullet \mathbf{h} \bullet S(\omega)^* - S(\omega) \bullet (\mathbf{h}^*)^T \bullet \mathbf{Q}(\omega)^*
 \end{aligned}$$

20

30

ただし、 $h_0 = a \bullet a^* + b \bullet b^* + c \bullet c^*$ 

$$\mathbf{Q}(\omega) = [Q_1(\omega) \quad Q_2(\omega) \quad Q_3(\omega)]^T$$

$$\mathbf{h} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_1 \bullet a^* + \tilde{b}_1 \bullet b^* + \tilde{c}_1 \bullet c^* \\ \vdots \\ \tilde{a}_I \bullet a^* + \tilde{b}_I \bullet b^* + \tilde{c}_I \bullet c^* \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_1 \bullet \tilde{a}_1^* + \tilde{b}_1 \bullet \tilde{b}_1^* + \tilde{c}_1 \bullet \tilde{c}_1^* & \bullet & \bullet & \bullet & \tilde{a}_1 \bullet \tilde{a}_1^* + \tilde{b}_1 \bullet \tilde{b}_1^* + \tilde{c}_1 \bullet \tilde{c}_1^* \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ \tilde{a}_I \bullet \tilde{a}_I^* + \tilde{b}_I \bullet \tilde{b}_I^* + \tilde{c}_I \bullet \tilde{c}_I^* & \bullet & \bullet & \bullet & \tilde{a}_I \bullet \tilde{a}_I^* + \tilde{b}_I \bullet \tilde{b}_I^* + \tilde{c}_I \bullet \tilde{c}_I^* \end{bmatrix}$$

40

【0 0 6 4】

二乗誤差Eを最小とする周波数領域音像形成音響信号Q( )は、EをQ( )について偏微分して零とおいた[数 1 7]により決定することができる。

50

【数 1 7】

$$\frac{\partial E}{\partial \mathbf{Q}(\omega)} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{Q}(\omega)^* - \mathbf{h} \cdot S(\omega)^* = 0$$

【0 0 6 5】

よって、二乗誤差  $E$  を最小とする周波数領域音像形成音響信号  $\mathbf{Q}$  ( ) は [数 1 8] と  
なる。

【数 1 8】

$$\mathbf{Q}(\omega) = \begin{bmatrix} Q_1(\omega) \\ Q_2(\omega) \\ Q_3(\omega) \end{bmatrix} = (\mathbf{H}^{-1} \cdot \mathbf{h})^* \cdot S(\omega)$$

10

【0 0 6 6】

以上がステップ S 4 3 のパンニングルーチンの処理である。

【0 0 6 7】

ステップ S 4 4 の処理として [数 1 8] を逆フーリエ変換することにより、3つのスピー  
ーカ  $S P_i$  から出力する [数 1 9] で表される音像形成音響信号  $q_i$  (  $i = 1, 2, 3$  ) を  
算出する。

20

## 【数 1 9】

$$q_i(t, \tau) = \sigma(r_i, r_c(\tau)) \phi_i(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \theta_c(\tau), \varphi_c(\tau)) s\left(t - \frac{r_c(\tau) - r_i}{c}\right)$$

ここで、

$$\sigma(r_i, r_c(\tau)) = \frac{r_i}{r_c(\tau)}$$

$$\phi_1(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \theta_c(\tau), \varphi_c(\tau)) = \frac{N_1}{D}$$

10

$$\phi_2(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \theta_c(\tau), \varphi_c(\tau)) = \frac{N_2}{D}$$

$$\phi_3(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \theta_c(\tau), \varphi_c(\tau)) = \frac{N_3}{D}$$

$$N_1 = \cos \varphi_2 \sin \varphi_3 \sin(\theta_2 - \theta_c(\tau)) \cos \varphi_c(\tau) + \sin \varphi_2 \cos \varphi_3 \sin(\theta_c(\tau) - \theta_3) \cos \varphi_c(\tau) \\ + \cos \varphi_2 \cos \varphi_3 \sin(\theta_3 - \theta_2) \sin \varphi_c(\tau)$$

20

$$N_2 = \cos \varphi_3 \sin \varphi_1 \sin(\theta_3 - \theta_c(\tau)) \cos \varphi_c(\tau) + \sin \varphi_3 \cos \varphi_1 \sin(\theta_c(\tau) - \theta_1) \cos \varphi_c(\tau) \\ + \cos \varphi_3 \cos \varphi_1 \sin(\theta_1 - \theta_3) \sin \varphi_c(\tau)$$

$$N_3 = \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 \sin(\theta_1 - \theta_c(\tau)) \cos \varphi_c(\tau) + \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \sin(\theta_c(\tau) - \theta_2) \cos \varphi_c(\tau) \\ + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \sin(\theta_2 - \theta_1) \sin \varphi_c(\tau)$$

$$D = \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \varphi_3 \sin(\theta_3 - \theta_2) + \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 \cos \varphi_3 \sin(\theta_1 - \theta_3) \\ + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \sin \varphi_3 \sin(\theta_2 - \theta_1)$$

30

## 【0068】

ここで、パラメータ  $r_1, r_2, r_3, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  はスピーカの位置情報として与えられ、パラメータ  $(\quad), (\quad)$  は図3(a)に示すトラックボール27を使用して入力され、パラメータ  $r(\quad)$  は図3(b)に示すパンポッド28を使用して入力される。

## 【0069】

上記第1の実施形態によれば、受音点を頂点とし受音点と3つのスピーカのそれぞれを結ぶ直線を稜線とする三角錐内で音像をパンニングすることが可能となる。

## 【0070】

(第2の実施形態)

第2の実施形態は、4つ以上のスピーカを設置し、音像を任意の位置にパンニングすることを可能とするものである。

40

## 【0071】

図6は、8つのスピーカ  $SP_1 \sim SP_8$  を設置して音像を  $C_1 \sim C_2$  にパンニングする場合を説明する斜視図であって、音像は受音点  $G$  を頂点とし受音点  $G$  と3つのスピーカ  $SP_2, SP_3, SP_4$  とを結ぶ線を稜線とする三角錐の音場 [以下、音場 ( $SP_2, SP_3, SP_4$ ) と記す] 内の初期位置  $C_1$  から、音場 ( $SP_3, SP_4, SP_6$ )、音場 ( $SP_4, SP_5, SP_6$ ) を経由して、音場 ( $SP_5, SP_6, SP_7$ ) 内の最終位置  $C_2$  に移動する場合を示している。

## 【0072】

50

音像の軌跡と音場の境界面との交点は予め算出することが可能であるので、各音場ごとに第1の実施形態を適用することにより任意のパンニングを実現することが可能となる。

(第3の実施形態)

第1の実施形態および第2の実施形態は、1つの音源をパンニングする場合を説明したが、本発明は相対位置が不変である複数の音源を一度にパンニングすることも可能である。

【0073】

音源がM個存在するとき、m番目の音源の位置を $C_m(r_{cm}(\tau), \varphi_{cm}(\tau), \theta_{cm}(\tau))$  ( $1 \leq m \leq M$ )とすれば、M個の音源から放射された音源音響信号による受音点Gにおける音源音圧ベクトルRは[数20]で表される。

【数20】

$$R = \begin{bmatrix} \sum_{m=1}^M R_{xm} \\ \sum_{m=1}^M R_{ym} \\ \sum_{m=1}^M R_{zm} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum_{m=1}^M \frac{r_{cm}(\tau) e^{-jk|r_{cm}(\tau)|}}{|r_{cm}(\tau)|^2} \cos \varphi_{cm}(\tau) \cos \theta_{cm}(\tau) S_m(\omega) \\ \sum_{m=1}^M \frac{r_{cm}(\tau) e^{-jk|r_{cm}(\tau)|}}{|r_{cm}(\tau)|^2} \cos \varphi_{cm}(\tau) \sin \theta_{cm}(\tau) S_m(\omega) \\ \sum_{m=1}^M \frac{r_{cm}(\tau) e^{-jk|r_{cm}(\tau)|}}{|r_{cm}(\tau)|^2} \sin \varphi_{cm}(\tau) S_m(\omega) \end{bmatrix}$$

10

20

【0074】

m番目の音源 $C_m$ を含む音場を形成する3つのスピーカ $SP_{mi}$  ( $i = 1, 2, 3$ )の位置を、 $SP_{mi}(r_{mi}, \varphi_{mi}, \theta_{mi})$ と表すと、各スピーカ $SP_{mi}$ が周波数領域音像形成音響信号 $Q_{mi}(\omega)$ を出力した時の受音点Gにおける音圧ベクトルである音像音圧ベクトル $V_m$ 、およびM個の音源それぞれに対応する音像音圧ベクトルの重ね合わせである受音点Gにおける音像音圧ベクトルVは[数21]で表される。

【数21】

$$V_m = - \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^3 \frac{r_{mi} e^{-jk|r_{mi}|}}{|r_{mi}|^2} \cos \varphi_{mi} \cos \theta_{mi} Q_{mi}(\omega) \\ \sum_{i=1}^3 \frac{r_{mi} e^{-jk|r_{mi}|}}{|r_{mi}|^2} \cos \varphi_{mi} \sin \theta_{mi} Q_{mi}(\omega) \\ \sum_{i=1}^3 \frac{r_{mi} e^{-jk|r_{mi}|}}{|r_{mi}|^2} \sin \varphi_{mi} Q_{mi}(\omega) \end{bmatrix}$$

$$V = \sum_{m=1}^M V_m$$

30

40

【0075】

よって、[数10]に代えて[数20]を、[数11]に代えて[数21]を使用して第1の実施形態および第2の実施形態を適用すれば、相対位置が不変である複数の音源を一度にパンニングする状況を再現することが可能となる。

【0076】

(第4の実施形態)

第4の実施形態は、本発明に係る3次元音響パンニング装置にテレビ番組あるいはラジオ番組の制作に利用するときに必要な機能を追加したものであって、パンニング情報 $I_p$

50

を記憶するパンニング情報記憶手段 1 2 3 および音像形成音響信号  $q(t)$  を記録し編集する記録編集手段 1 3 1 を含む。

【 0 0 7 7 】

パンニング情報記憶手段 1 2 3 は、トラックボール 2 7 およびパンポッド 2 8 の操作情報であるパンニング情報  $I_p$  を記憶する機能を有し、異なる音源に同じパンニング操作を繰り返すことを可能とする。

【 0 0 7 8 】

記録編集手段 1 3 1 は、音像形成音響信号  $q(t)$  を記録し、重ね合わせ編集する機能を有し、複数の音源のそれぞれにパンニング操作を施した音像形成音響信号を生成することを可能とする。

10

【 0 0 7 9 】

ここで、それぞれ  $M_n$  個の音源が存在する  $N$  個のグループの音源に対し、グループごとに異なるパンニング操作を施す場合を考える。

【 0 0 8 0 】

$n$  番目のグループの  $m_n$  番目の音源の位置を  $C_{mn}(r_{cmn}(\tau), \varphi_{cmn}(\tau), \theta_{cmn}(\tau))$  ( $1 \leq m_n \leq M_n$ ) とすれば、 $M_n$  個の音源から放射される音源音響信号により形成される受音点  $G$  の音源音圧ベクトル  $R_n$  および全  $N$  グループの  $M_1 + M_2 + \dots + M_N$  個の音源から放射される音源音響信号により形成される受音点  $G$  の音源音圧ベクトル  $R$  は [ 数 2 2 ] で表される。

【 数 2 2 】

20

$$R_n = \begin{bmatrix} \sum_{m_n=1}^{M_n} R_{xm_n} \\ \sum_{m_n=1}^{M_n} R_{ym_n} \\ \sum_{m_n=1}^{M_n} R_{zm_n} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum_{m_n=1}^{M_n} \frac{r_{cm_n}(\tau) e^{-jk|r_{cm_n}(\tau)|}}{|r_{cm_n}(\tau)|^2} \cos \varphi_{cm_n}(\tau) \cos \theta_{cm_n}(\tau) S_{m_n}(\omega) \\ \sum_{m_n=1}^{M_n} \frac{r_{cm_n}(\tau) e^{-jk|r_{cm_n}(\tau)|}}{|r_{cm_n}(\tau)|^2} \cos \varphi_{cm_n}(\tau) \sin \theta_{cm_n}(\tau) S_{m_n}(\omega) \\ \sum_{m_n=1}^{M_n} \frac{r_{cm_n}(\tau) e^{-jk|r_{cm_n}(\tau)|}}{|r_{cm_n}(\tau)|^2} \sin \varphi_{cm_n}(\tau) S_{m_n}(\omega) \end{bmatrix}$$

30

$$R = \sum_{n=1}^N R_n$$

【 0 0 8 1 】

$n$  番目のグループの  $m_n$  番目の音源  $C_{mn}$  を含む音場を形成する 3 つのスピーカ  $SP_{mni}$  ( $i = 1, 2, 3$ ) の位置を、 $SP_{mni}(r_{mni}, \varphi_{mni}, \theta_{mni})$  と表すと、各スピーカ  $SP_{mni}$  が周波数領域音像形成音響信号  $Q_{mni}(\omega)$  を出力した時の受音点  $G$  における音圧ベクトルである音像音圧ベクトル  $V_{mni}$ 、 $n$  番目のグループの  $M_n$  個の音源に対応する音像音圧ベクトルの重ね合わせである受音点  $G$  における音像音圧ベクトル  $V_n$ 、および全  $N$  グループの音源に対応する音像音圧ベクトルの重ね合わせである受音点  $G$  における音像音圧ベクトル  $V$  は [ 数 2 3 ] で表される。

40

## 【数 2 3】

$$\mathbf{V}_{m_n} = - \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^3 \frac{r_{m_n i} e^{-jk|r_{m_n i}|}}{|r_{m_n i}|^2} \cos \varphi_{m_n i} \cos \theta_{m_n i} Q_{m_n i}(\omega) \\ \sum_{i=1}^3 \frac{r_{m_n i} e^{-jk|r_{m_n i}|}}{|r_{m_n i}|^2} \cos \varphi_{m_n i} \sin \theta_{m_n i} Q_{m_n i}(\omega) \\ \sum_{i=1}^3 \frac{r_{m_n i} e^{-jk|r_{m_n i}|}}{|r_{m_n i}|^2} \sin \varphi_{m_n i} Q_{m_n i}(\omega) \end{bmatrix} \quad 10$$

$$\mathbf{V}_n = \sum_{m_n=1}^{M_n} \mathbf{V}_{m_n}$$

$$\mathbf{V} = \sum_{n=1}^N \mathbf{V}_n$$

## 【0082】

よって、[数10]に代えて[数22]を、[数11]に代えて[数23]を使用して第1の実施形態および第2の実施形態を適用すれば、複数の音源をそれぞれパンニングする状況を再現することが可能となる。 20

## 【産業上の利用可能性】

## 【0083】

以上のように、本発明に係る3次元音響パンニング装置は、音源が3次的にパンニングする状況を予め定められた位置に配置されたスピーカを使用して再生することのできるという効果を有し、音響信号処理装置等として有効である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0084】

【図1】本発明に係る3次元音響パンニング装置の機能構成を示すブロック図 30

【図2】本発明に係る3次元音響パンニング装置のハードウェア構成を示すブロック図

【図3】本発明に係る3次元音響パンニング装置で使用するトラックボールおよびパンポットの斜視図

【図4】本発明に係る3次元音響パンニング装置にインストールするパンニングルーチンのフローチャート

【図5】音場を構成する3つのスピーカの配置図

【図6】音場を構成する8つのスピーカの配置図

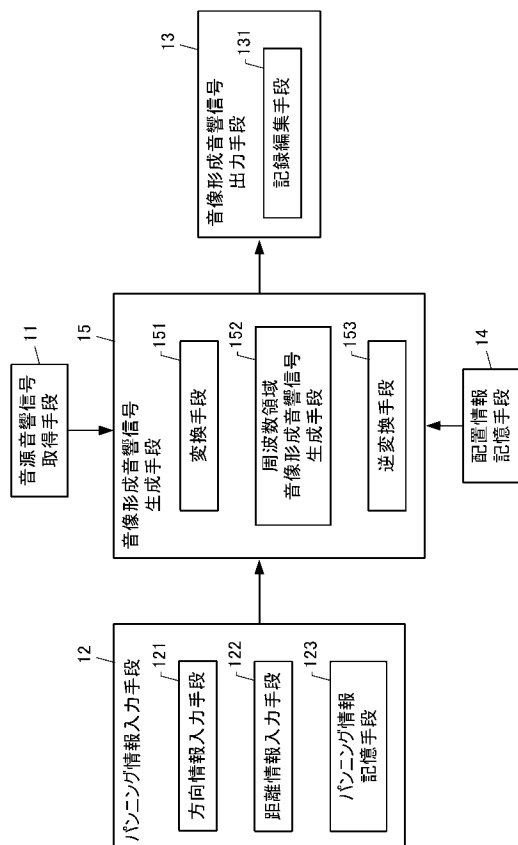
## 【符号の説明】

## 【0085】

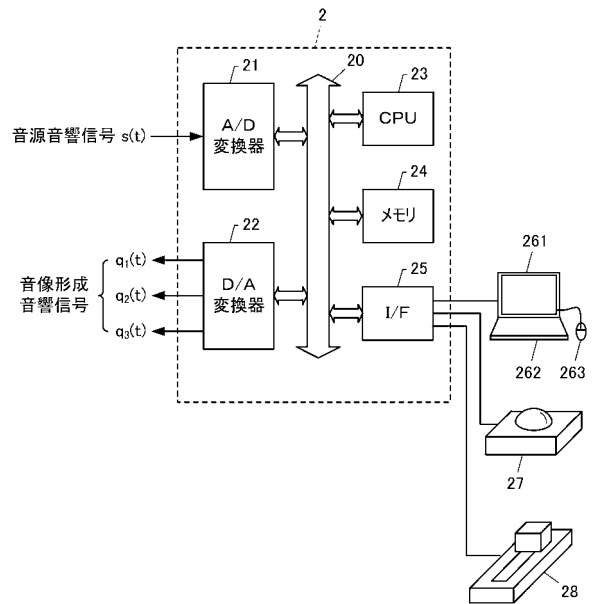
- 1 3次元音響パンニング装置 40
- 11 音源音響信号取得手段
- 12 パンニング情報入力手段
- 13 音場形成音響信号出力手段
- 14 配置情報記憶手段
- 15 音場形成音響信号生成手段
- 121 方向情報入力手段
- 122 距離情報入力手段
- 123 パンニング情報記憶手段
- 131 記録編集手段
- 151 変換手段 50

- 1 5 2 周波数領域音像形成音響信号生成手段
- 1 5 3 逆変換手段

【 図 1 】

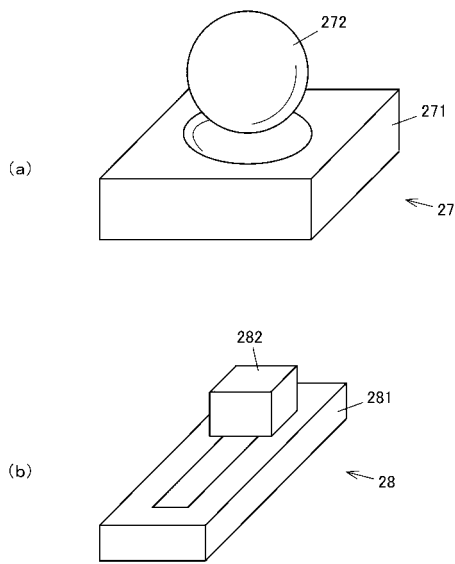


【 図 2 】

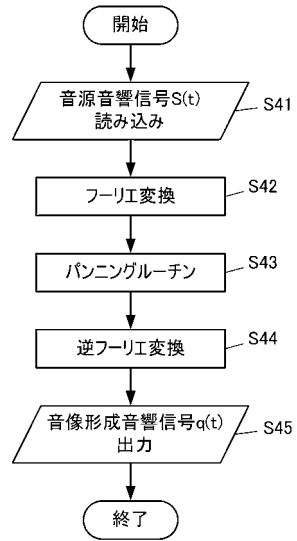




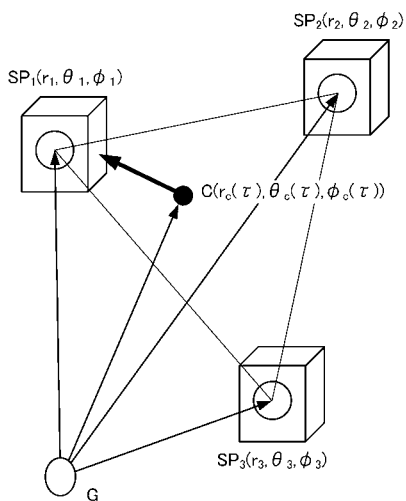
【図3】



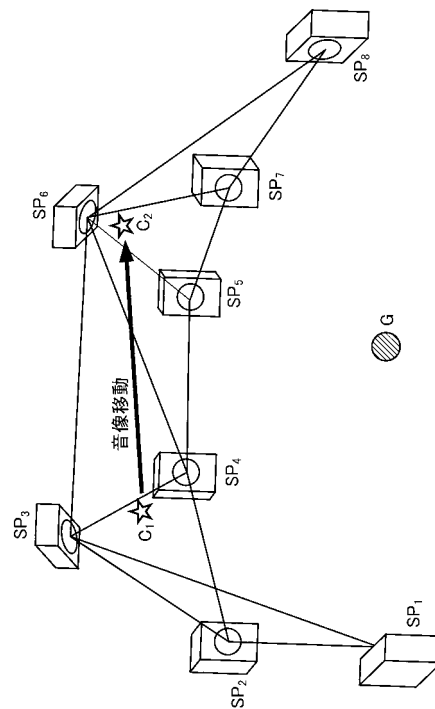
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

審査官 菊池 充

- (56)参考文献 特開平09-182200(JP,A)  
特開平06-311600(JP,A)  
特開2002-165300(JP,A)  
特開2006-080708(JP,A)  
特開2002-159097(JP,A)  
特開平08-205298(JP,A)  
特開平08-009490(JP,A)  
特開平05-505298(JP,A)  
特開平11-155199(JP,A)  
特表2003-523675(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H04S 1/00 - 7/00