

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第4307261号  
(P4307261)

(45) 発行日 平成21年8月5日(2009.8.5)

(24) 登録日 平成21年5月15日(2009.5.15)

(51) Int.Cl.

F I

HO 4 R 3/00 (2006.01)

HO 4 R 1/40 (2006.01)

HO 4 R 3/00 3 1 0

HO 4 R 1/40 3 1 0

請求項の数 28 (全 23 頁)

|               |                               |           |                                              |
|---------------|-------------------------------|-----------|----------------------------------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2003-537363 (P2003-537363)  | (73) 特許権者 | 502113699                                    |
| (86) (22) 出願日 | 平成14年10月10日 (2002.10.10)      |           | 1. . . リミテッド                                 |
| (65) 公表番号     | 特表2005-506780 (P2005-506780A) |           | イギリス国、ケンブリッジ、カウリイ ロード、セント ジョーンズ イノベーション センター |
| (43) 公表日      | 平成17年3月3日 (2005.3.3)          | (74) 代理人  | 100066692                                    |
| (86) 国際出願番号   | PCT/GB2002/004605             |           | 弁理士 浅村 皓                                     |
| (87) 国際公開番号   | W02003/034780                 | (74) 代理人  | 100072040                                    |
| (87) 国際公開日    | 平成15年4月24日 (2003.4.24)        |           | 弁理士 浅村 肇                                     |
| 審査請求日         | 平成17年8月23日 (2005.8.23)        | (74) 代理人  | 100091339                                    |
| (31) 優先権主張番号  | 0124352.6                     |           | 弁理士 清水 邦明                                    |
| (32) 優先日      | 平成13年10月11日 (2001.10.11)      | (74) 代理人  | 100094673                                    |
| (33) 優先権主張国   | 英国 (GB)                       |           | 弁理士 林 拓三                                     |
| 前置審査          |                               |           |                                              |
|               |                               | 最終頁に続く    |                                              |

(54) 【発明の名称】 音響トランスジューサ・アレイ用の信号処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

方向性を有しステアリング操作可能な音響ビームを提供するトランスジューサ・アレイであって、該トランスジューサ・アレイが、  
外側のアレイ境界内に位置決めされた複数の電気音響トランスジューサと、  
信号成分がある周波数範囲内にある広帯域信号用の入力と前記電気音響トランスジューサとの間のデジタル信号通路と、  
入力信号を複製し遅延された遅延複製信号を作り、該遅延複製信号を各トランスジューサに送る手段であって、前記遅延が、部屋の側壁または後壁上の点に向かって進みそして反射して聴取者に戻ってくる、方向性を有しステアリング操作可能な少なくとも1つの音響ビームを生成するように選ばれた、前記手段と、  
前記入力と前記電気音響トランスジューサとの間の前記信号通路内に配置されて前記電気音響トランスジューサの出力を制御することができる、1つ以上のデジタル信号変更器と、  
を有し、この1つ以上のデジタル信号変更器は、前記信号成分に応答して発生された出力を前記外側のアレイ境界内に存在する外側の小アレイ境界 (outer subarray boundary) を持つ前記アレイのうちの小アレイ内に位置決めされた前記電気音響トランスジューサの小さな組 (subset) に限定するようにされており、前記外側の小アレイ境界は前記信号成分の周波数の減少と共に準連続的に広げられる、トランスジューサ・アレイ。

10

20

## 【請求項 2】

前記 1 つ以上のデジタル信号変更器は、最大出力から事実上零出力まで前記小アレイの遷移区域に位置決めされたトランスジューサの出力を徐々に減少するようにした、請求項 1 のトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 3】

前記 1 つ以上のデジタル信号変更器は、最大振幅レベルより低くかつ事実上零の振幅レベルの値を有する振幅まで前記小アレイの遷移区域内に位置決めされた少なくとも 1 つのトランスジューサの出力を減少するようにした、請求項 1 または 2 のトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 4】

前記 1 つ以上のデジタル信号変更器は、前記周波数範囲に亘りあらかじめ選択された一定またはほぼ一定の値にビーム幅を効果的に維持するために前記外側の小アレイ境界を前記外側のアレイ境界の方へ広げるようにした、請求項 1 から 3 までのいずれかのトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 5】

前記信号を 2 つ以上のチャンネルに配置するようにしたデジタル処理装置を有し、前記チャンネルは所与の場所までの互いに異なる移動長を有し、前記 1 つ以上のデジタル信号変更器は前記 2 つ以上のチャンネルの各々のためにそれぞれの異なるビーム幅を維持するようにした、請求項 1 から 4 までのいずれかのトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 6】

前記デジタル信号変更器は、有限デジタル・フィルタである、請求項 1 から 5 までのいずれかのトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 7】

前記信号の 1 つ以上のビームを所定方向にステアリング操作するための更なるデジタル信号処理装置を有する、請求項 1 から 6 までのいずれかのトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 8】

方向性を有しステアリング操作可能な音響ビームを提供するトランスジューサ・アレイであって、該トランスジューサ・アレイが、

外側のアレイ境界内に位置決めされた複数の電気音響トランスジューサと、

信号成分がある周波数範囲内にある広帯域信号用の入力と前記電気音響トランスジューサとの間のデジタル信号通路と、

入力信号を複製し遅延された遅延複製信号を作り、該遅延複製信号を各トランスジューサに送る手段であって、前記遅延が、部屋の側壁または後壁上の点に向かって進みそして反射して聴取者に戻ってくる、方向性を有しステアリング操作可能な少なくとも 1 つの音響ビームを生成するように選ばれた、前記手段と、

前記入力と前記電気音響トランスジューサとの間の前記信号通路内に配置されて前記電気音響トランスジューサの出力を制御することができる 1 つ以上のデジタル信号変更器とを有し、この 1 つ以上のデジタル信号変更器は、前記トランスジューサ・アレイに対し周波数依存空間利得ウィンドウを課すようにした、トランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 9】

前記空間利得ウィンドウの幅は、前記信号成分の周波数の関数である、請求項 8 のトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 10】

前記ウィンドウ関数は、前記周波数依存空間利得がウィンドウの半径の増大と共に徐々に減少されるテーパをなす縁部を有している、請求項 8 または 9 のトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 11】

前記ウィンドウ関数は、前記周波数範囲内において高い方の閾値周波数より高い全ての周波数に対して周波数とは無関係 ( i n d e p e n d e n t ) である、請求項 8、9 または 10 のトランスジューサ・アレイ。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 2】

前記ウインドウ関数は、前記周波数範囲内において低い方の閾値周波数より低い全ての周波数に対して周波数とは無関係である、請求項 8、9、10 または 11 のトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 1 3】

1 つ以上の異なるウインドウ関数が、前記周波数範囲内において低い方の閾値周波数より低い全ての周波数について課される、請求項 8 から 12 までのいずれかのトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 1 4】

空気中に方向性を有しステアリング操作可能な音響ビームを生成するトランスジューサ・アレイであって、該トランスジューサ・アレイが、

外側のアレイ境界内に位置決めされて音響波信号を発生する複数の電気音響トランスジューサと、

少なくとも 1 つの可聴周波数範囲内に信号を含む広帯域音響信号のために入力と前記トランスジューサとの間にデジタル信号通路と、

入力信号を複製し遅延された遅延複製信号を作り、該遅延複製信号を各トランスジューサに送る手段であって、前記遅延が、部屋の側壁または後壁上の点に向かって進みそして反射して聴取者に戻ってくる、方向性を有しステアリング操作可能な少なくとも 1 つの音響ビームを生成するように選ばれた、前記手段とを有し、

前記トランスジューサ間の間隔は前記アレイの少なくとも小アレイ内において不整一である、トランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 1 5】

隣接のトランスジューサ間の平均距離は前記アレイの中心からの前記トランスジューサの距離の増大と共に増大する、請求項 14 のトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 1 6】

第 1 の大きさのトランスジューサは前記アレイの中央の小アレイ内に位置決めされ、第 2 のより大きい大きさのトランスジューサは前記中央の小アレイの外側に位置決めされている、請求項 14 または 15 のトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 1 7】

一群のトランスジューサが同一の 1 つ以上のデジタル信号変更に接続されている、請求項 14、15 または 16 のトランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 1 8】

方向性を有しステアリング操作可能な音響ビームを提供するトランスジューサ・アレイであって、該トランスジューサ・アレイが、

外側のアレイ境界内に位置決めされた複数の電気音響トランスジューサと、

信号成分がある周波数範囲内にある広帯域信号用の入力と前記電気音響トランスジューサとの間のデジタル信号通路と、

入力信号を複製し遅延された遅延複製信号を作り、該遅延複製信号を各トランスジューサに送る手段であって、前記遅延が、部屋の側壁または後壁上の点に向かって進みそして反射して聴取者に戻ってくる、方向性を有しステアリング操作可能な少なくとも 1 つの音響ビームを生成するように選ばれた、前記手段と、

前記入力と前記電気音響トランスジューサとの間の前記信号通路内に配置されて前記電気音響トランスジューサの出力を制御することができる 1 つ以上のデジタル信号変更に有し、この 1 つ以上のデジタル信号変更に、前記信号成分にตอบสนองして発生された出力を前記外側のアレイ境界内に存在する外側の小アレイ境界を持つ前記アレイのうちの小アレイ内に位置決めされた前記電気音響トランスジューサの小さな組に限定するようにされていて、前記外側の小アレイ境界は前記信号成分の周波数の減少と共に準連続的に広くされ、トランスジューサ間の間隔は少なくとも前記小アレイ内においては不整一である、トランスジューサ・アレイ。

## 【請求項 1 9】

10

20

30

40

50

方向性を有しステアリング操作可能な音響ビームを提供する音響トランスジューサ・アレイの動作方法であって、

入力信号を複製し遅延された遅延複製信号を作り、該遅延複製信号を各トランスジューサに送るステップであって、前記遅延が、部屋の側壁または後壁上の点に向かって進みそして反射して聴取者に戻ってくる、方向性を有しステアリング操作可能な少なくとも1つの音響ビームを生成するように選ばれた、前記ステップと、

ある範囲の周波数を持つ信号成分に応答して発生された出力が外側のアレイ境界内に存在する外側の小アレイ境界を有する、電気音響トランスジューサ・アレイの内の小アレイ内に位置決めされた小さな組の前記トランスジューサに限定されるように前記電気音響トランスジューサの出力を制御するステップと、前記信号成分の周波数の減少と共に前記外側の小アレイ境界を準連続的に広げるステップとを有する、音響トランスジューサ・アレイの動作方法。

10

【請求項20】

前記出力を限定するために周波数依存空間利得ウインドウ関数を使用するステップを有する、請求項19の方法。

【請求項21】

前記ある範囲の周波数に亘り一定またはほぼ一定のビーム幅が維持されるように前記外側の小アレイ境界を広げるステップを有する、請求項19または20の方法。

【請求項22】

少なくとも1つの後方チャンネルを有する多チャンネルサラウンド音信号を再生する、トランスジューサ・アレイを備えた音響システムであって、該トランスジューサ・アレイが、外側のアレイ境界内に位置決めされた複数の電気音響トランスジューサと、

20

信号成分がある周波数範囲内にある広帯域信号用の入力と前記電気音響トランスジューサとの間のデジタル信号通路と、

入力信号を複製し遅延された遅延複製信号を作り、該遅延複製信号を各トランスジューサに送る手段であって、前記遅延が、部屋の側壁または後壁上の点に向かって進みそして反射して聴取者に戻ってくる、方向性を有しステアリング操作可能な少なくとも1つの音響ビームを生成するように選ばれた、前記手段と、

前記入力と前記電気音響トランスジューサとの間の前記信号通路内に配置されて前記電気音響トランスジューサの出力を制御することができる1つ以上のデジタル信号変更器とを有し、この1つ以上のデジタル信号変更器は、前記信号成分に応答して発生された出力を前記外側のアレイ境界内に存在する外側の小アレイ境界を持つ前記アレイのうちの小アレイ内に位置決めされた前記電気音響トランスジューサの小さな組に限定するようにされており、前記外側の小アレイ境界は前記信号成分の周波数の減少と共に準連続的に広げられる音響システム。

30

【請求項23】

前記1つ以上のデジタル信号変更器は、前記周波数範囲に亘りあらかじめ選択された一定またはほぼ一定の値にビーム幅を効果的に維持するために前記外側の小アレイ境界を前記外側のアレイ境界の方へ広げるようにした、請求項22のトランスジューサ・アレイ。

【請求項24】

40

前記信号を前記少なくとも1つの後方チャンネルを有する2つ以上のチャンネルに配置するようにしたデジタル処理装置を有し、前記チャンネルは所与の場所までの互いに異なる移動長を有し、前記1つ以上のデジタル信号変更器は前記2つ以上のチャンネルの各々のためにそれぞれのビーム幅を維持するようにした、請求項22または23のトランスジューサ・アレイ。

【請求項25】

隣接のトランスジューサ間の平均距離は前記アレイの中心からの前記トランスジューサの距離の増大と共に増大する、請求項22、23または24のトランスジューサ・アレイ。

【請求項26】

50

前記1つ以上のデジタル信号変更器は、周波数依存空間利得ウインドウを前記トランスジューサ・アレイに課するようにした、請求項22、23、24または25の音響システム。

【請求項27】

前記信号を前記少なくとも1つの後方チャンネルを含む2つ以上のチャンネルに配置するようにした、デジタル処理装置を有し、前記チャンネルは所与の場所までの互いに異なる移動長を有し、前記1つ以上のデジタル信号変更器は前記2つ以上のチャンネルの各々のために異なるビーム幅を維持するとともに周波数依存空間利得ウインドウを前記トランスジューサ・アレイに課するようにし、隣接のトランスジューサ間の平均距離は前記アレイの中心からの前記トランスジューサの距離の増大と共に増大する、請求項22から26までのい

10

【請求項28】

前記アレイは2次元アレイである、請求項1から27までのいずれかのアレイ、方法または音響システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ビーム方向ステアリング操作可能なアンテナ (steerable antenna) 及びトランスジューサ・アレイに関し、特に電気音響トランスジューサ・アレイに関する。

20

【背景技術】

【0002】

ビーム方向ステアリング操作可能なアンテナまたは位相調整アレイ・アンテナ (phased array antenna) は、電磁気分野及び超音波音響分野の両方において当業者に公知である。それらは、音波 (可聴) 音響領域ではあまり知られていない。

【0003】

共有になる (commonly-owned) 公開国際特許出願第WO 01/23104は、音波のステアリング操作可能なアンテナまたは位相調整アレイ・アンテナ及び種々の効果を達成するためのそれらの使用を記載している。この国際出願は、入力信号を取り入れ、この入力信号を複数回複写し、その複写の各々を所望の音場が生じるようにそれぞれの出力トランスジューサに送る前に変更する方法及び装置を記載している。この音場は、有向ビーム、収束ビームまたは擬似原点 (simulated origin) を含んでもよい。

30

【0004】

ビームの向き及びビーム幅の制御、すなわち、ステアリング操作性は、多チャンネル音響信号のような広帯域音響信号を発生しステアリング操作するために必要とされる。これらのパラメータは、放射された信号の周波数または周波数範囲に依存する。更に、それらは、放射源の空間配置に依存する。この空間配置は、使用されたトランスジューサの技術特性及びコストから生じる技術的制約を受ける。従って、本明細書では簡単にデジタルスピーカシステム (digital loudspeaker system)、すなわち、DLSと呼ぶことにする、所定方向へ音声を放出することができる機能的で経済的に実現可能な音響エネルギー源を設計することは、複雑な仕事である。

40

【0005】

WO 01/23104で、ビームの向きはそのアレイを横切る各トランスジューサの出力を遅延することにより制御される。適切な遅延は、周波数依存であるが、そのアレイのトランスジューサから放射された全ての信号に対し所定位置で建設的干渉を行う。

【0006】

一方、2つの最小値間の角距離として測定されたか、または任意の他の既知の定義によるかに関係なく、ビーム幅は、最も簡単な場合、そのビームの向き、そのビームの周波数及び放射領域またはそのビームを発する音源のアレイの放射領域または幅の関数である。

50

前に記載したアレイの場合、ビームは、周波数の増大と共に狭くなる。このことは、広帯域信号では、周波数範囲が広く、音響信号の場合多くのオクターブにおよぶうるので、信号の最も低い周波数成分においてビームを発生しステアリング操作することが困難となる。この問題の克服の1つの方法は、アンテナのアレイの横寸法を拡大することにより行われる。しかし、このより大きなアレイは、高周波におけるビームを狭くする。この影響は、例えば、音の投射のような実際の用途においては不都合となる場合がある。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従って、本発明の目的は、広帯域音波信号のビームを放射し、これをステアリング操作する音響トランスジューサ・アレイの能力を改良しながらその実施に必要とされる機械的電子的要素を最小にすることである。

10

本発明の他の目的は、低周波での十分な方向性と高周波での十分なビーム幅を持つ広帯域波信号を放射する広帯域トランスジューサ・アレイを得ることである。

本発明の更に他の目的は、聴取者に達する前に種々の異なる移動通路 (travel paths) を持つ音響ビームのステアリング操作性を改良した広帯域トランスジューサ・アレイを得ることである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記の目的に鑑み、本発明は、非引用形式の請求項で請求した方法及び装置を提供する。

20

本発明の第1の態様によれば、1つ以上の信号ビームをステアリング操作することが可能な電気音響トランスジューサ・アレイが提供される。信号は、音響信号が好ましいが、この信号に同時に存在する多くの異なる周波数の成分からなる。これらの異なる成分の各々の出力応答アレイを調整するデジタル・フィルタのような適切に形成されたデジタル信号変更器を使用することにより、非零出力は、アレイのうちの小アレイ (sub arrays) に限定することができる。信号成分の周波数の低下と共に小アレイの境界を広げることによって、一定のビーム幅を全周波数範囲に亘り得ることができる。

【0009】

本発明のこの態様の変形例では、有効領域の縁部を円滑化する。これは、最大振幅または最大利得からカットオフ出力または零出力への減少を、これら2つの値の間の利得レベルで動作する少なくとも1つのトランスジューサを含む区域 (zone) に亘って広げることにより行う。この円滑化は、主ビームのサイドローブとして放射されるエネルギー量を減少するためである。

30

【0010】

このデジタル信号変更器を実装する特定の便利な方法は、ウィンドウ関数 (window function) をエミュレートするようにプログラムされたデジタル有限インパルス応答フィルタとしてである。ウィンドウ関数により周波数の減少で非零放射領域が拡大され、従って、大きな周波数範囲に亘って信号の一定ビーム幅が維持される。多くの種々のウィンドウ関数を、本発明の態様の範囲内において使用することができる。

40

【0011】

本発明の第2の態様は、ステアリング操作可能な音波信号のビームを発生するに必要なトランスジューサの数を最小にするトランスジューサの物理的な構成を導入することである。隣接トランスジューサ間の間隔を徐々にまたは階段状 (step-wise) にアレイの外側領域の方へ向って変えることによって、トランスジューサの数は、等しい幅でかつ規則的な間隔のアレイと比較して著しく減少することができる。代替として、トランスジューサのサイズを変更してもよい。

【0012】

本発明の第1の態様により課されるトランスジューサ間隔に対する制限を考慮することにより、最少数のトランスジューサのアレイが設計され、しかもほぼ一定ビーム幅の広帯

50

域ビームを発生する要求を満足することができる。上記の態様の全ては、トランスジューサの1次元及び2次元の平坦なまたは湾曲したアレイに適用することができる。

本発明の以上の及び他の態様は、次の図面に関する非制限的な例の詳細な記載から明らかとなる。

#### 【0013】

(発明の詳細な説明)

まず、音声信号のビームを1つ以上の所定方向にステアリング操作することができるトランスジューサの既知の配列または別名DLS (Digital Loudspeaker System) を記載する。

#### 【0014】

図1の基本構成は、共通のシャーシ12に取り付けられて本質的には2次元アレイに配列された複数の空間分布の電気音響トランスジューサ11-1~11-nを含むアレイ10を示す。これらトランスジューサ11は、各々究極的には同一のデジタル入力に接続される。この入力は、変更されてトランスジューサに入力を与えるよう分配される。ビームのステアリング操作は、所定の場所13、14における個々のトランスジューサから生じる信号の建設的干渉を確保するために、遅延または移相をその信号に加えることにより達成される。本例のために、これらの場所は、部屋の中における聴取者15の方に、音の向きを戻すのに十分な反射を与える部屋の側壁または後壁上の点である。基本的な幾何学的計算により、遅延は、アレイのトランスジューサの相対位置と、トランスジューサ11-1~11-nに対する場所13、14の方向θの関数であるということが示される。必要な遅延または移相を決定することは、それ自体複雑な仕事であるが、本発明は、基本的なビーム・ステアリング操作プロセスと独立に取り扱うことができる幾つかの態様を改良しようとするものである。ビーム・ステアリング操作の遅延または移相の態様の更なる詳細については、例えば、本明細書に全部組み込まれた公開国際特許出願WO-0123104を参照されたい。

#### 【0015】

遅延及び移相の計算は、既知の数学的な問題ではあるが、その信号の適当に遅延された複製をアレイの各トランスジューサに供給するようにする等の、信号の変更に必要な電気電子回路は、様々に変更することができ、もちろん、信号処理の分野における技術的進歩を受けることがある。従って、以下更に詳しく言及する、図2の構成要素は、同一のデジタル信号処理能力を備えた他の構成要素と大いに交換可能なものと考えられる。

#### 【0016】

図2において、音響源データは、S/PDIFにおける光学または同軸デジタル・データ・ストリームかまたは他の任意の既知のオーディオ・データ・フォーマットとして入力21を介してDLSにより受信される。このデータは、簡単な2チャンネル・ステレオ信号またはDolby Digital (R) 5.1またはDTS (R) 音声のような現代の圧縮符号化多チャンネル再生音を含んでもよい。多チャンネル入力21は、デジタル信号処理装置及びこれらの独占的 (proprietary) な音響データ・フォーマットを取り扱うように設計されたファームウェア22を使用して復号化され伸張される (decompressed)。それらの出力は、3対のチャンネル23に送られる。そして、このチャンネル対は、入力を標準のサンプル・レート及びビット長に変換するために多チャンネル・サンプル・レート変換器24に提供される。サンプル・レート変換器段24の出力は、6つの全チャンネルを含む単一高速直列信号に組み合わせられる。従来のステレオ入力の場合は、これらチャンネルの内の2つだけが有効データを含んでもよい。

#### 【0017】

この直列化したデータは、更なる処理のためにデジタル信号処理 (DSP) ユニット25に入る。このDSPユニットは、133MHzで動作して、浮動点フォーマットで計算の大部分を行う、一对の市販のテキサス・インスツルメンツTMS320C6701DSPを有している。

第1のDSPは、使用されるトランスジューサの周波数応答の不整一 (irregul

10

20

30

40

50

arity)を補償するためにフィルタリングを行う。それは、オーバサンプリング処理により発生される高周波分を除去するために、4倍のオーバサンプリングと補完処理を提供する。

第2のDSPは、195kHzのサンプリング速度でワード長を9ビットに減少するために量子化とノイズ・シェーピングを行う。

#### 【0018】

第2のDSPからの出力は、バス251を使用して並列に11個の市販のXilinx XC6200フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ(FPGA)26に対して分配される。このゲート・アレイは、チャンネル毎にかつトランスジューサ毎に独特な時間遅延を加える。それらの出力は、その入力の数個の異なるバージョンまたは複製であり、その数は、トランスジューサの数×チャンネルの数に等しい。この例のトランスジューサ211-1~211-nの数は132であるので、その入力の数個の異なるバージョンまたは複製がこの段階で発生される。チャンネルの個々のバージョンは、トランスジューサ毎に加算器27-1~27-nで加算されて、パルス幅変調器(PWM)28-1~28-nに送られる。各パルス幅変調器は、D級出力段29-1~29-nを駆動する。D級出力段29-1~29-nの供給電圧は、トランスジューサ211-1~122-nに対する出力パワーを制御するために調整することができる。

#### 【0019】

システムの初期化は、マイクロコントローラ291の制御下にある。ひとたび初期化されると、マイクロコントローラ291は、赤外線遠隔コントローラ(図示せず)を介してユーザから方向及び音量調整命令を取り、それらをシステム表示部に表示し、それらを第3DSP292に送るために使用される。

#### 【0020】

このシステムの第3のDSPは、各トランスジューサの各チャンネルの必要な時間遅延を計算して、例えば、各チャンネルの別の方向へのステアリング操作を可能にするために使用される。例えば、第1対のチャンネルは、部屋の(DLSの位置に対し)左右の側壁に向けることができ、第2対は、サラウンド音を発生するために後壁の左右に向けられる。このように設定されて遅延要求はデータ・サンプルと同一の平行バス251を介してFPGA26に分配される。上記のステップの大部分は、WO-0123104に更に詳しく記載されている。

#### 【0021】

次に図3に示した本発明の第1の実施例を参照する。追加的なフィルタリング処理31が図2の信号路に加えられる。なお、本発明により導入された変化を強調するため、同一の参照数字及び参照文字は、図2及び図3における同様な部分をそれぞれ示す。

#### 【0022】

図3において、デジタル・フィルタ31-1~31-nは、チャンネルに従って信号が分離されて加算された後に使用される。このデジタル・フィルタ段の出力は、トランスジューサ211-1~211-nの各々のPCM段28-1~28-nに送られる。デジタル・フィルタ31-1~31-nは、別のDSPまたはゲート・アレイにより構成することができ、または実際単に他の信号処理装置25、26に組み込んでもよい。

デジタル・フィルタの物理的構成は、DLSの形成に使用される電子部品に従って変更してもよいので、デジタル・フィルタは、それらの所望の応答または信号に対する効果の点について更に良く記載する。

#### 【0023】

上記デジタル・フィルタは、放射される信号の周波数に依存してトランスジューサの出力を制御または変更するように設計されている。500Hz~10kHzの周波数範囲内で、デジタル・フィルタ31-1~31-nは、大体一定のビーム幅を維持しようとしている。これは、実際的には、アレイのトランスジューサ211-1~211-nの出力振幅に対し周波数依存ウィンドウを課すことによりなされる。従って、新しいフィルタは、トランスジューサの利得をアレイ内のそれらの相対位置及び放射される信号の周波数分に依



存して減少する。

【0024】

以下では、図4～図6を参照して本発明のこの実施例及びその更なる変形例を更に詳しく記載する。

図4には、トランスジューサ11-1～11-nのアレイ10の動作に対し、本発明の実施例による装置が有する効果が示してある。また、図4で使用した数字は、等しいまたは等価な要素について、図1で使用了ものに等しい。

図4に示した2次元プロット41、42、43は、周波数の増大順の3つの異なる周波数f1、f2、f3の場合のアレイのトランスジューサに加えられた出力利得を示す。このトランスジューサ・アレイ10は、その中心に位置する原点441すなわち零点を有する平面を画定している。このアレイにより画定された平面に直角に、放射信号の利得を表す垂直軸44が示してある。任意の、しかし、高減衰は、カットオフ・レベルとして定義され、そして、トランスジューサ・アレイの平面と一致するように描いてある。従って、それぞれ周波数f1、f2、f3を有する信号分のカットオフ・レベルを表す曲線411、421、431は、アレイ10のトランスジューサのどれが放射に寄与するかを示す。すなわち、曲線411により設定された境界内に位置決めされたトランスジューサは、周波数f1を有する信号の放射に寄与し、曲線421により設定された境界内に位置決めされたトランスジューサは、周波数f2を有する信号の放射に寄与する、以下同様。それぞれの境界の外に位置づけられたトランスジューサは、カットオフ利得以下で動作される。曲線411、421、431により囲まれた領域は、次に与えられた周波数fにおけるアレイの有効な放射領域と呼ぶことにする領域を3つ表わす。

【0025】

さて本発明の目的は、周波数とは独立なビーム幅を設定または選択する手段として、アレイの周波数及び物理的寸法により主に設定された限界内の有効な放射領域を制御することである。この有効な放射領域を周波数の関数として変えることによって、この選択されたビーム幅は、周波数の広範囲、一般的には、オクターブ以上に亘り一定またはほぼ一定の値に保持することができる。このためには、ビーム幅と有効な放射領域の線形寸法（linear dimensions）との間の関数関係を使用する。（無限に小さい）源よりなる1次元アレイの最も簡単な場合、この関数関係は次の式「1」により表すことができる：

【数1】

$$[1] \quad l_{\text{eff}} = \frac{c}{2f \sin \theta_{\text{BW}}}$$

【0026】

ここで $l_{\text{eff}}$ は、与えられたビーム幅 $\theta_{\text{BW}}$ （主ビームを限定する2つの最小値の間の角度として与えられた）の場合の、周波数fにおけるアレイの有効長の半分である。定数cは空気中の音速である。

従って、本発明を実施しようとする特定環境に適用されるビーム幅 $\theta_{\text{BW}}$ を選択することによって、図3の信号処理装置31-1～31-nは、式「1」に従って有効な放射領域を発生するためにトランスジューサの出力を周波数に依存して減少するようにプログラムすることができる。

【0027】

しかし、「1」の適用では、有効な領域の縁において最大信号振幅から零信号振幅への放射信号の突然の降下を前提とする。図4の場合においては、減衰プロット41、42、43は、最大信号強度への円滑な増加の代わりに、矩形窓の利用に等価な境界曲線411、421、431における最大強度への単一ステップを描いている。しかし、放射領域にするどいエッジを導入すると、望ましくない大量のエネルギーがサイドローブで放出され

、すなわち、有向性の音響が減少されることになるであろう。従って、次に記載すべき本発明の更に好適な変形例が存在する。この変形例では、有効な放射領域を囲むより広い遷移区域に縁区域が拡張される。この領域内でトランスジューサは、それらの利得が、アレイの中心からのそれらの半径方向距離に依存して徐々に零の方へ減少されるように制御される。図4において遷移区域は実際とは異なって図示されていて、非常に尖った減衰プロフィールまたはウィンドウになってしまう。実際上は、テーパをなす縁を持つ任意の知られたウィンドウ関数を、縁部に遷移区域を有する有効な放射領域を形成するために利用することができる。

【0028】

ウィンドウ関数の選択は、所望のビーム幅とサイドローブ・レベルとの間の妥協により決定される。適切なウィンドウ関数には、式「2-1」により表すことができるHannウィンドウが含まれる：

【数2】

$$[2-1] \ w(r) = \cos^2\left(\frac{\pi r}{2a}\right), \text{ ただし、} |r| < a \text{ (それ以外では0)}$$

与えられたビーム幅  $\theta_{BW}$  における周波数とウィンドウの半有効長  $L_{eff}$  を関係づけるHannウィンドウの場合は

【数3】

$$[2-2] \ l_{eff} = \frac{c}{f \sin \theta_{BW}}$$

【0029】

別の適用可能なウィンドウは、次により表されるcosウィンドウである。

【数4】

$$[3-1] \ w(r) = \cos\left(\frac{\pi r}{2a}\right), \text{ ただし、} |r| < a \text{ (それ以外では0)}$$

cosウィンドウの場合、関係「2-2」に等価な式は次のごとく書くことができる。

【数5】

$$[3-2] \ l_{eff} = \frac{3c}{4f \sin \theta_{BW}}$$

【0030】

他の適用可能なウィンドウ関数には、Hanning型、Kaiser型、またはChebyshev型のウィンドウまたは（2次元のベッセル関数となる） $\sin(x)/x$ 型のウィンドウが含まれる。これらは全て、文献に広く記載されている。

これらウィンドウ関数の適用により周波数と有効アレイ長との間の変更した関係(modified relation)「1」、「2-2」、「3-2」が得られる。

【0031】

これらのテーパをなすウィンドウ関数の使用により、ボックスカー(box-car)・ウィンドウを表す式「1」に比較して有効長  $L_{eff}$  が拡大される。しかし、「1」の一般的な特性は保持される。すなわち、一定のビーム幅を維持するためには、有効放射領

10

20

30

40

50

域を周波数の増加と共に減少する必要がある、またこの逆も言える。

#### 【0032】

適当なウィンドウ関数の選択の後、この選択したウィンドウ関数から1組の所望のフィルタ応答を得ることができる。これを以下の図5Aと図5Bを参照して示す。標準的な設計ツールを使用すると所望のフィルタ応答を、デジタル領域においてフィルタを実現するフィルタ係数に変換することができる。このフィルタ係数をフィルタ応答から得る既知の方法は、例えば、逆フーリエ変換を使用することである。MATLAB(R)のような知られた数学的または工学的プログラムは、必要な変換ステップを容易に行うことができる。この実施例のフィルタは、線形位相有限インパルス応答フィルタであり、これは、ビーム・ステアリング操作プロセスによって導入された位相関係及び遅延を維持するために有益であるとみなされている。

10

#### 【0033】

全通過位相訂正段(all-pass phase correction stage)を備えた無限インパルス応答フィルタのような別のフィルタ構成を使用することができる。

フィルタ構成とは無関係に、本発明の制御処理及び単一のデジタル信号処理ステップ内の知られたビーム・ステアリング操作方法を含む、完全な信号処理を行うことが可能である。

#### 【0034】

また、フィルタ・パラメータ(例えば、フィルタの長さ、利得など)の多くは、利用可能な電気電子部品により決定される制約を蒙る。音響システムの場合、この制約は更に音響周波数、すなわち、20Hzと20kHzとの間の音響周波数において、信号をリアルタイムで形成する要求により決定される。

20

前に述べたように、有効放射領域は、周波数の増大と共に減少し、出力信号に寄与するトランスジューサは、益々少なくなる。

逆に、周波数が減少すると、有効放射領域は増大する。この一般的な特性によりウィンドウの形状、従って、フィルタの設計の更に有利な変形が得られる。

#### 【0035】

まず、ウィンドウの幅がより高い周波数の方へ縮小するに従い、更に任意のトランスジューサの有限な幅を考慮すると、結局、アレイの真ん真ん中に配置されたトランスジューサのみが最高周波数を再生する。従って、これらの周波数は全然ステアリング操作されない。

30

最小のウィンドウ幅を設定することによって、十分な数のトランスジューサは、その信号に何らかのステアリング操作性を与えるためにカットオフ・レベルでウィンドウ半径内に存在することが保証される。最小のウィンドウ幅を与えると、ビームは、より高い周波数では更に狭くなるが、このことは用途によっては、方向性を全く有しないよりは好ましいであろう。

#### 【0036】

低周波限界において、すなわち、ウィンドウがアレイの物理的な幅に達すると、数種類の異なるウィンドウ設計を利用することができる。このウィンドウ設計の各々は、音響放射処理の種々の態様に関して利点と弱点を有している。

40

#### 【0037】

図5Aにより示された本発明の例では、最小と最大のウィンドウがアレイの物理的な限界に収まるように設定されている。図5Aのプロットは、増幅または利得(dB)ファクタ対中心からの半径方向距離(メートル)を示すハミング型ウィンドウ関数の1次元グラフである。このウィンドウ関数は、10kHzから40Hzまでに亘る10個の異なる周波数値でプロットされている。しかし、最小と最大のウィンドウを組み込んだために、高周波端における10kHz、20kHz、高周波端における600、300、150、80、40Hzについてのプロットは同一である。5kHz、2.5kHz、1.2kHzのプロットは、別々の曲線として示してある。カットオフは、-22dBの減衰、すなわ

50

ちハミング・ウィンドウの下方境界に設定されている。10 kHzと600 Hzのそれぞれにおける制限曲線は、ウィンドウの最小幅及び最大幅を確保するための高低周波数端を表す。この例では、曲線10 kHzは、10 kHzより高い全ての周波数に適用され、従って、その周波数より高い周波数においては確実にステアリング操作性が維持される。曲線600 Hzは、600 Hzより低い全ての周波数に適用され、アレイの縁における低周波数信号レベルの突然の変化を回避する。この変形例は、サイドローブを抑圧するが、アレイの周縁におけるトランスジューサが余り利用されなくなるという犠牲を強いる。

#### 【0038】

ウィンドウの所望の形状が決定されると、この決定からデジタル・フィルタは得ることができる。

例えば、 $R = 0.64\text{ m}$ のところに位置づけられたトランスジューサ用のデジタル・フィルタを得るために、このデジタル・フィルタを特徴付ける周波数応答は、図5Aのウィンドウ関数を介して位置Rにおける垂直部分を取る周波数値に対して減衰値を登録することにより（概念的に）得られる。位置Rは半径（radius）、即ち、トランスジューサ・アレイの中心からの距離を表し、図5Aのリング半径軸上のトランスジューサ位置を示す。分るように、 $R = 0.64\text{ m}$ におけるカットオフ周波数は、2.5 kHzより低い。より低い周波数の方へフィルタ利得は、600 Hzについての曲線に到達するまで急速に増大する。対応する-1 dBの減衰値は、600 Hzより低い全ての周波数についてデジタル・フィルタにより維持される。

#### 【0039】

図5Bにおいては、1.28 m、（上記の）0.64 m、0.32 m、0.16 m、0.08 m、0.04 m、0.02 m、0.01 mのそれぞれのトランスジューサ位置に対するフィルタの周波数応答が示してある。これらの距離は、アレイの中心からの半径方向距離として測定される。

#### 【0040】

なお、離散的に離隔されたトランスジューサを使用することは、ウィンドウ関数の上記の連続処理が単に大まかな近似であるということの意味する。しかし、トランスジューサの離散性の影響は、リーマン和（Riemann sum）による積分の近似から得られるものに等価で、等しく補償することができる。例えば、与えられたウィンドウ関数からフィルタ応答を計算する時に、トランスジューサの離散間隔は、台形法則（trapezoid rule）により許容することができる（accommodated for）。台形法則の適用により任意の離散点（discrete point）におけるウィンドウ関数は、隣接のトランスジューサ位置間の距離に比例する係数で重み付けられる。基礎とする多項式などに基づくより高次の近似を使用することもできる。

#### 【0041】

ウィンドウ関数を表わす数値またはデジタル・フィルタの等価周波数応答が与えられ、それを上記のフィルタ設計ツールに適用することにより、図3に示したデジタル・フィルタにロードすることができるフィルタ係数が得られる。上記のステップにより得られたフィルタ係数は、当該应用到に重要な周波数範囲及び半径方向位置に亘り連続的に変化する。

図5において、600 Hzでの制限曲線は、ウィンドウ幅、従って、有効放射が物理的アレイの限界を超える周波数より下の全ての周波数に適用するために導入された。効果的に、これにより、信号の全周波数範囲または帯域幅について、アレイの縁でテーパをなすまたは円滑な放射が課される。しかし、アレイの外側トランスジューサの使用を増大させる他の構成も可能である。

#### 【0042】

図6A、図6Bにより示した例では、有効放射アレイは、このアレイの物理的限界を超えて大きくなることが可能である。図6Aにおいて、ウィンドウ関数の幾つかの1次元グラフは、10 kHz、5 kHz、2.5 kHz、1.2 kHz、600 Hz、300 Hz、150 Hz、80 Hz、40 Hzのそれぞれの場合の、増幅率または利得（dB）対中心からの半径方向距離（メートル）を示す。最小のウィンドウが課される。しかし、図6

Aのウィンドウ関数は、2メートルを超える有限な出力レベルを有しており、これに対し図5 Aの全てのウィンドウは、この半径では、または更に小さな半径位置においては、零に降下する。トランスジューサの出力については、同一の組の半径方向位置における応答機能を示す図5 Bと図6 Bを比較すると、低周波において図6 Bの応答関数は概してより高い出力レベルを示すことが分かる。しかし、この概ねの出力レベルは、アレイの縁における出力レベルのステップ変化を導入するという犠牲を払って増大されている。このステップは、周波数が減少すると増大し、更に多くの低周波エネルギーがサイドローブ内へ放射される可能性がある。

#### 【0043】

アレイの有限な長さについての対応の他のアプローチは、一群のウィンドウ関数（a family of window functions）を使用することである。すなわち、第1のウィンドウ関数の周波数が或る値、即ち、その値において実質的にアレイの幅全体をカバーする値に、すなわち、各トランスジューサが使用される値に達するに従って、同一幅ではあるが、平均値が増大するウィンドウを、不連続性を導入することなしに低周波数パワー出力を改善するために使用することができる。図7により示した例では、 $\cos^x$  ウィンドウ関数が使用され、累乗 $x$ は、ウィンドウがアレイの幅に等しいかそれよりも小さい場合、全ての周波数に対して2に等しい。ウィンドウがアレイの限界に達し、周波数が更に減少されると、 $x$ の益々小さくなる値がウィンドウ関数に選択される。図7に示したように、これにより振幅または利得レベルが増大され、他方ウィンドウの幅は維持される。

#### 【0044】

上記の実施例によれば、各トランスジューサは、その半径方向位置に依存して別個のフィルタを有している。しかし、フィルタの数を減少するために、回転対称または近似回転対称を利用することが可能である。幾つかのトランスジューサは、互いに異なる角座標（angular coordinates）を有する半径方向位置を共有する場合、例えば、ある円に配列されている場合、これらのトランスジューサは、同一の低域フィルタリングを必要とする。従って、それらの入力信号は共通のフィルタを介して好都合に多重化される。

#### 【0045】

また、互いに異なるビーム幅をデジタル・スピーカ・システムの相異なるチャンネルに適用することができる。より遠い壁に向かって放射される音響チャンネルは、最小のビーム幅を必要とするものであってもよく、DLSに接近した表面に投射されるチャンネルは、より広いビーム幅を使用して好都合に動作されてもよい。式「1」、「2-2」、「3-2」または任意の等価な関係において異なるビーム幅 $\theta_{BW}$ を選択することによって、相異なる組のウィンドウ、従って、相異なる組のフィルタが生成され、それらをこれらの異なるチャンネルに適用することができる。

#### 【0046】

上記の記載から当業者には、本発明の上記実施例の要部により、ユーザはDLSの出力特性の高度の制御が可能となるということが理解されよう。トランスジューサの任意のアレイ、特に、図1に示したトランスジューサの知られた規則的に離隔されたアレイに適用可能であるが、本発明は、トランスジューサ間の間隔が不整一（irregular）なアレイを導入することにより改良した制御を利用しようとするものである。以下の記載から、本発明が提案する不整一アレイの設計ではいずれも、アレイの外側縁部におけるトランスジューサの密度の減少を共有することが理解されよう。換言すれば、トランスジューサ間の間隔は、アレイの中心からの距離と共に増大する。本発明のこの態様の極めて重要な利点は、既知のアレイ設計に比較して、ステアリング操作可能な広帯域信号ビームを発生するために必要とされるトランスジューサの数を著しく減少できるということである。

#### 【0047】

空間的なエリアシングにより生じるサイドローブを防止するために、アレイ要素間の最大の間隔は、それらアレイ要素が放射する当該最高周波の波長の何分の1かよりも小さく

なければならない。具体的な分数値は、 $0.25 \sim 0.5$ の範囲内で選択すれば最良である。広帯域アレイの場合、その大きさは当該最低周波数により決定されるが、この制限は、一様な間隔と組み合わせられると非常に多数のトランスジューサが必要になることがある。しかし、最大の可能な間隔は、アレイ内の任意の点において再生される最高周波数に比例する。上記のウィンドウ設計の場合、中央のアレイ要素のみが最高周波数を再生するので、そこが最高のトランスジューサ密度を必要とする唯一の領域であり、要素は、そのアレイの縁部の方へ徐々に広く離隔することができる。

#### 【0048】

アレイのレイアウトの更なる変形例では、個々のトランスジューサの間隔がより広くなる場所、すなわち、アレイの外側の方にかけて、より大きなトランスジューサが好都合に使用される。より大きなトランスジューサは、低音周波数の発生の場合により効率的である。しかし、大きなトランスジューサをそのまま使用することは、「高周波ビーミング」と一般に呼ばれている技術的な現象により制限される。高周波ビーミングとは、トランスジューサの直径がほぼ波長またはそれより大きいときに生じるピストン運動トランスジューサ (piston transducer) から発生する (不所望な) 方向性放射である。しかし、本例では、最大の許容可能な間隔を満足するに十分小さい任意のトランスジューサはいずれもビーミング効果を無視することができる程度に十分小さい。なぜなら、その直径は波長よりも一層小さいからである。

#### 【0049】

広帯域アレイの場合、2つ、3つまたはそれ以上のサイズのトランスジューサを使用することが好都合であろう。数個の異種の型のトランスジューサが、アレイに共に使用される場合、それらの異なる位相応答を補償するフィルタを使用することは必要となるかもしれない。

#### 【0050】

理想的には最低周波数を再生するためにアレイ全体が使用されるが、アレイの中心における小領域 (すなわち、高密度に詰め込まれた小さいトランスジューサ) は、適切な帯域フィルタリングにより、即ち、例えば、それらの中央トランスジューサに送る信号通路に高域フィルタを配置することにより、除去することができる。あるいは、周波数応答、具体的には、トランスジューサの貧弱な低周波応答を、類似の効果を達成するために直接利用することができる。ビームのステアリング操作性は、中心領域が当該信号波長の何分の1かの直径を有している場合、中央のトランスジューサからの低周波出力を禁止することによって悪影響を蒙ることは殆どない。この考えは、各々が異なる低周波カットオフを持つ数種類のトランスジューサを包含するよう一般化することができる。

#### 【0051】

アレイの中央領域における高密度に詰め込んだアレイ・トランスジューサ用のフィルタは、高カットオフ周波数及び低周波における円滑応答を有するので、比較的短い有限インパルス応答 (FIR) フィルタを使用することができる。アレイの縁により近いトランスジューサの場合、カットオフ周波数は、更に低くなるので、より長いフィルタが通常使用される。しかし、上記実施例では、これらの外側のトランスジューサは、信号の高周波分を放射はしない。従って、多速度 (multirate) 信号処理を使用し、外側トランスジューサにより放出される信号を元のサンプリング速度の何分の1かにダウンサンプリングし、制御度を維持しながらより短いフィルタの使用を可能にすることが容易に実現可能となる。

#### 【0052】

アレイ内において、非一様な分布のトランスジューサを使用する変形例では、ウィンドウした放射 (windowed emission) をする前にアレイの単位面積あたり一様な出力を確保することが好都合であることを更に見出した。このことは、適当な係数で各トランスジューサの出力をスケールリングすることにより都合よくなされる。この係数は、例えば、トランスジューサの位置において、単位面積あたりの出力に逆比例する。一様なパワー出力を有することにより、本発明の上記の態様の利用は容易となる。しかし

10

20

30

40

50

、上記のように、デジタル信号処理の一般的な特性により、このスケーリング処理を一般的なフィルタ処理に折り込んで、一組のフィルタとすることが可能となる。

#### 【0053】

上記制約に従うアレイを設計するには多くの方法が存在する。最良のアプローチは、数値最適化技術を使用することであろう。しかし、以下では、見た目を楽しませるレイアウトを生じる利点を備えた決定論的ではあるがほぼ最適な試みを記載する。

この例によれば、提案されたアレイの寸法をカバーするようにグリッドが形成される。一様なグリッドを使用することができるが、より低い周波数のトランスジューサの場合には、配置精度はあまり重要ではなくなるので、アレイの中央における高密度で不整一な間隙は、より効率的となる。

10

#### 【0054】

次のパラメータは、設計処理の開始時に与えられる：

|                  |                                   |
|------------------|-----------------------------------|
| X、Y              | アレイの寸法                            |
| m                | トランスジューサの最小の実行性ある間隔（簡単化のために1種類のみ） |
| Alpha            | 波長トランスジューサ間隔の最大の許容可能な分数           |
| Beta             | 波長に対するアレイ幅の所望比                    |
| f <sub>max</sub> | アレイにより再生される最大周波数                  |
| c                | 音速                                |

#### 【0055】

全アレイをカバーするように拡大する、中央から始まるグリッド上の正方形の螺旋路に従う各場所において：

20

○中心からの現在の場所の距離  $r$  を評価する

○カットオフ周波数  $f_c = \min((\text{Beta} * c) / (2 * r), f_{\text{max}})$  を評価する

○最小の可能なトランスジューサ間隔  $s = c * \text{Alpha} / f_c$  を評価する

○実行可能な間隔  $s_p = \max(s, m)$  を評価する

○最も近い既に配置されたトランスジューサの中心までの距離  $s_m$  を評価する

○もし  $s_m > s_p$  ならば、トランスジューサをここに置く

#### 【0056】

Beta は、楕円ビームを可能とするために水平及び垂直に異なる値を有することができる。DLS プロジェクタの場合、これは、与えられた数のアレイ要素またはトランスジューサに対する例えば水平方向の ステアリング操作性 を改良するために使用することができる。

30

与えられたアレイ・サイズに対して最大の低周波方向性を確保するために、上記のアルゴリズムを開始する時に、トランスジューサは、アレイの各端部に手で配置することができる。次にアルゴリズムを実行する時に、他のトランスジューサの位置は、任意の最初に配置したトランスジューサを考慮することにより計算される。

#### 【0057】

アレイ上のグリッドの位置は、螺旋順にたどる必要はない。他の通路をたどれば、異なる特性のアレイが得られる。見た目に訴える製品をもたらす良好な対称性は、アレイに割り当てられた数の順にグリッドをたどる場合、図8Aで（非常に小さなグリッドについて）示した通路に従うことにより得ることができる。図8Aでは、グリッド点は割り当てられた数字の順にたどられる。

40

図8Bは、この方法を使用して設計されたアレイを示し、Beta に対する値は垂直より水平において大である。トランスジューサ 811-1 ~ 811n は、上記の制約が満たされるように配置されている。また、トランスジューサはサイズが様々で、小さい直径のトランスジューサはアレイの中央に位置決めされる。

#### 【0058】

トランスジューサ・アレイのレイアウトの設計への別のアプローチは、トランスジューサの同心リングを使用することである。このアレイの中央の1つのトランスジューサから

50

初めて、リング半径を増大しながらリングを加え、リング内の要素の数は前述のアレイのレイアウト・アルゴリズムで評価されたとおりの、最大の許容可能なトランスジューサの間隔を満足するように選ばれる。図9Aは、この方法により生じたアレイを示し、トランスジューサは6つの同心リング911-2~911-7に配列され、1つのトランスジューサ911-1はその中心に配置されている。2つの外側のリング911-6、911-7におけるトランスジューサは中心のものよりも直径が大きい。

#### 【0059】

図9Bは、このような整然たるアレイについて要求される信号処理の可能な構成のブロック図である。音響信号入力921は、中心の小さなトランスジューサにより放射される信号の一部からその信号の低周波成分を除去する高域フィルタ922に入る。段923は、アレイの外側端においてより大きなトランスジューサ911-6、911-7により放射される信号の一部から高周波成分を除去し、より低いサンプリング速度で残りの信号をリサンプルする。なお、有効放射領域を構成する後のフィルタ段は、外側のトランスジューサが信号の高周波成分に寄与しないようにすることを確保するので、上記及び後のリサンプリングが信号の損失または劣化を生じさせることはない。

信号修正フィルタ93-2は、大小のトランスジューサの互いに異なる振幅及び位相応答を補償する。

#### 【0060】

単一の中心トランスジューサ911-1は、常に全ての高周波成分を放出するので、補償段93-1の信号はデジタル信号処理及び遅延付加段96-1に直接入る。この遅延付加段96-1は、図2の段26、27、28、29の組み合わせに等価である。この段は、DLSのビーム・ステアリング動作のためにトランスジューサを制御し駆動するに必要な適切な遅延、変調などを提供する。小トランスジューサの最も内側のリングへの信号通路においては、本発明に従うウィンドウ関数を実施する第1フィルタ931-1が存在する。小トランスジューサのより広いリングへの信号通路においては、ウィンドウ関数を実施するための第2フィルタ931-2に入る前に更なるダウンサンプリング段924を信号が通過する。中心から更に離れたところに位置づけられたトランスジューサの方へ向う同様なフィルタ段931-3~931-5とダウンサンプリング段925は、より大きなトランスジューサへの信号通路に存在する。

#### 【0061】

この変形例によれば、フィルタ931-1~931-5の各々は、1つのリング内の全てのトランスジューサ間で共有される。かくして、信号に関する計算動作の数は、このレイアウトの対称性を効果的に利用することにより著しく減少される。これは、同一フィルタを共有する2つまたは4つのトランスジューサのみを備えてもよい図8Bに記載した分散アレイと対照的である。

#### 【0062】

非円形の「リング」を使用するために整然たるアレイによる試みを拡張することができる。これは、非円形ウィンドウ関数の使用に対応する。(図8Bの場合のように)各軸に異なるBetaの値を使用することは、楕円ウィンドウ関数に対応する。

これは、図10に示したように、楕円リングを使用することにより整然たるアレイで実施することができる。等しい弦距離(chord distance)を持つ楕円の周りにトランスジューサを配置することは数学的に簡単なことではないが、2進チョップ(chop)・アルゴリズムのような知られたアルゴリズムを使用して数値的に達成することができる。

#### 【0063】

図10により示した例では、トランスジューサ111-1~111-nが示してある。上記の水平Betaは、垂直Betaよりも大きい。最大の可能なトランスジューサ間隔の限界(spacing limit)は、各楕円の周りでかつ楕円間の水平軸上でちょうど満足される。しかし、楕円間の間隔は、全ての他の角度でこの限界を満足するに必要なよりも更に狭い。従って、設計では、同一パラメータを持つ非整然のレイアウトを使用



して必要以上の多くのトランスジューサが使用される。それにも関わらず、DSP要求が減少されるため、それは好適な解決策となるであろう。このアプローチは、対応する形状のウィンドウを持つ矩形及び多角形のような他の形状の「リング」に対し更に一般化することができる。

#### 【0064】

図11においては、本発明の例に従う動作ステップの順序を示す3つのステップ112、113、114が示してある。所望のビーム幅または複数のビーム幅を選択した後に、式「1」、「2-2」、「3-2」または他の同様な関数に従って、放射特性、すなわち有効放射領域を制御するためにウィンドウ関数が選択される。次に、アレイのトランスジューサの出力に対しウィンドウ関数を課するようフィルタが設計されてプログラムされる。動作において、フィルタは、放射される信号に存在する周波数の範囲に亘り一定のビーム幅を確保するために放射が正しく拡張または縮小されるよう保障する。

10

上記のステップは、任意のレイアウトのトランスジューサ・アレイに適用することができる。しかし、このレイアウトは、上記の更なるステップに従って最適化されてもよい。

#### 【0065】

ウィンドウ関数に基づいてアレイのレイアウトを設計するための上記の方法により、対応のフィルタと共に使用される時に、周波数範囲にわたってAlphaについての要求条件をちょうど満足し、従って、空間エリヤシングを回避するアレイが製作される。より小さなウィンドウを使用して有効放射領域の最適な大きさより有効放射領域を減少させると、より広いビーム幅を持つビームが発生される。上述のように、この効果はデジタル信号処理構成内に適切に組み込むと、1チャンネル毎にビーム幅を制御するために使用することができる。従って、アレイ・レイアウトに使用されるウィンドウ関数は、ビーム幅の下限を決定する。なぜなら、より狭いビームを発生しようとする試みにより空間的なエリヤシングがもたらされるからである。

20

#### 【0066】

上記は、与えられた方向におけるビーム、更に詳述すると、アレイに垂直な方向におけるビームのことを述べるものである。これは、与えられたアレイに対する最小のビーム幅の方向であり、他の方向のビームは更に広い。しかし、上記に示した方法は、直角方向の有効な放射領域を減少することによって異なる方向のビームに対しても一定のビーム幅を維持するために使用することもできる。ビーム幅は、直角方向においてはほぼ最適である値に一定に保持することができるが、所望方向の大部分に亘り一定値を提供する。

30

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0067】

【図1】国際特許出願WO-0123104に記載の多トランスジューサ源の例を示す。

【図2】多トランスジューサ源内での放射前の数個の信号処理段を示すブロック図である。

。

【図3】本発明の実施例に従って変更された図2のブロック図である（実施例1）。

【図4】図1の装置への本発明の影響を示す側面図である。

【図5A】本発明の第1例による利得ウィンドウ関数のプロットである。

【図5B】図5Aのウィンドウ関数から得られたデジタル・フィルタの周波数応答を示す

40

。

【図6A】本発明の第2の例による利得ウィンドウ関数のプロットである。

【図6B】図5Aのウィンドウ関数から得られたデジタル・フィルタの周波数応答を示す

。

【図7】周波数が低くなると利得が増大する利得ウィンドウ関数の図である。

【図8A】トランスジューサをアレイ内に位置決めしてもよい実現可能な通路パターンを示す。

【図8B】本発明の例と図8Aの通路パターンに従って生じたアレイのレイアウトである

。

【図9A】本発明の例によるアレイの半径方向のアレイ・レイアウトを示す。

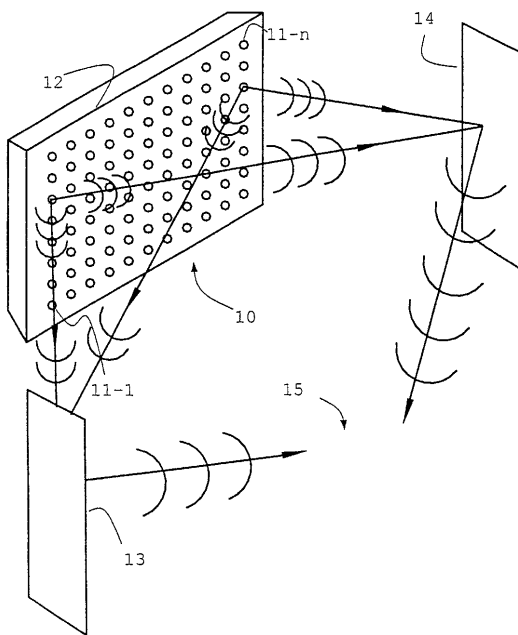
50

【図 9 B】 図 9 A のアレイ・レイアウトに従う変形例を示す図 3 のブロック線図である。

【図 1 0】 本発明の更なる例に従うアレイの楕円状のアレイ・レイアウトを示す。

【図 1 1】 本発明による方法のステップを示すフローチャートである。

【図 1】



(従来技術)

【図 2】

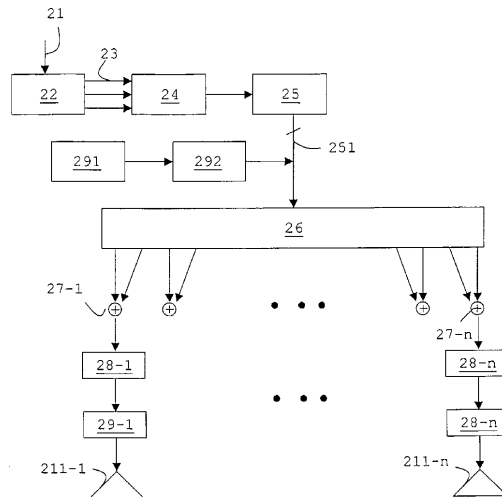


FIG. 2

【図 3】

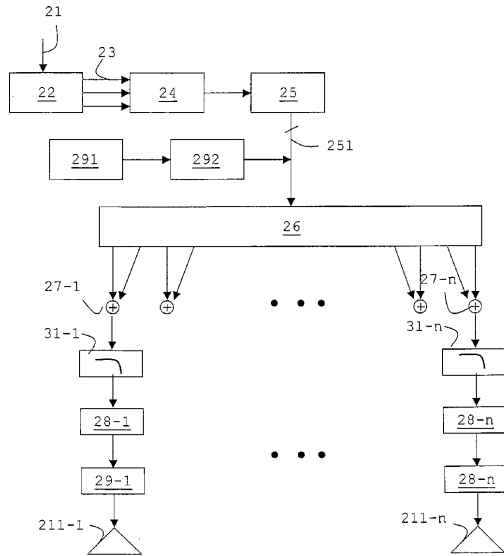


FIG. 3

【図 4】

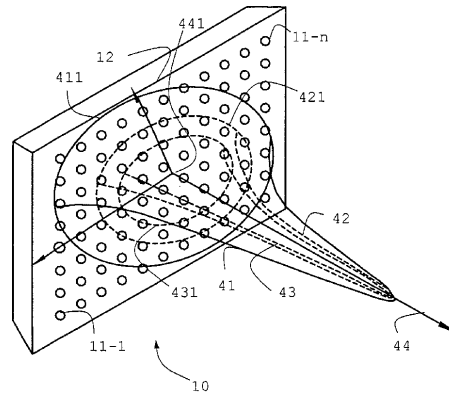
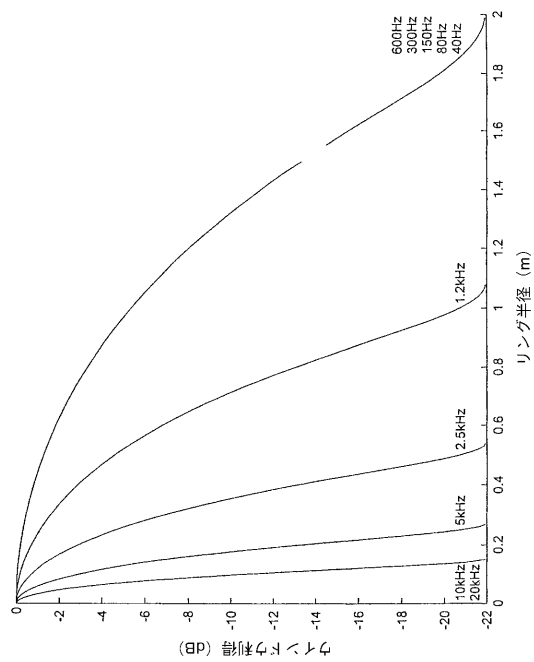
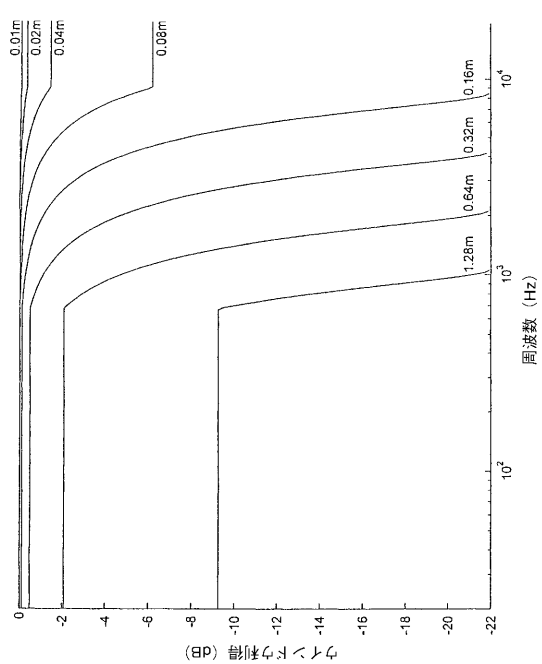


FIG. 4

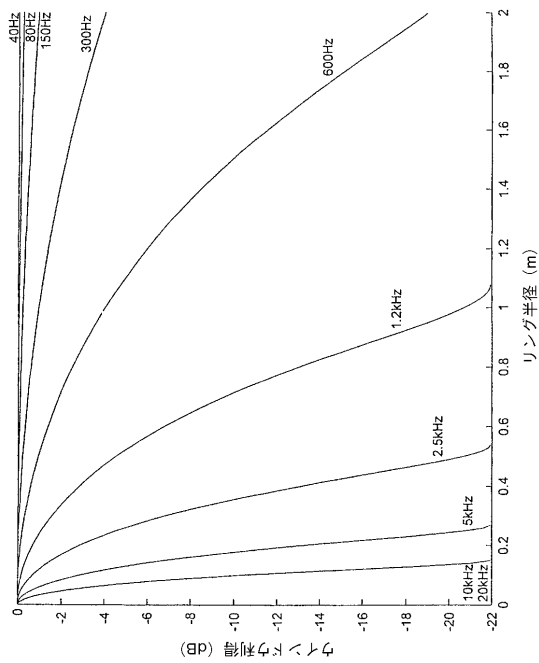
【図 5 A】



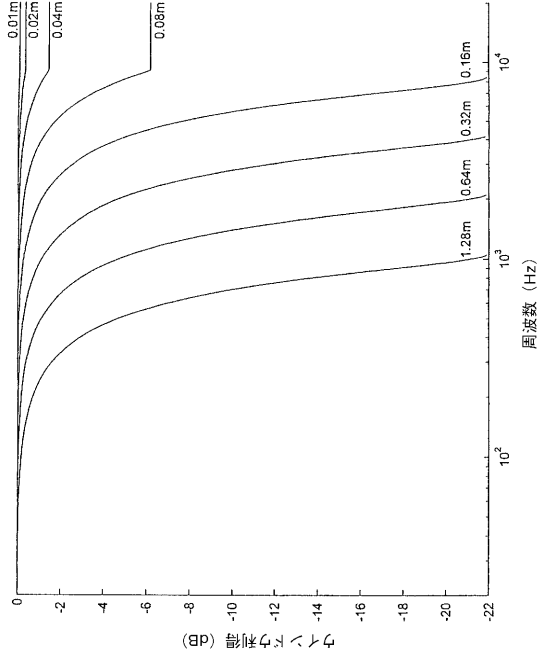
【図 5 B】



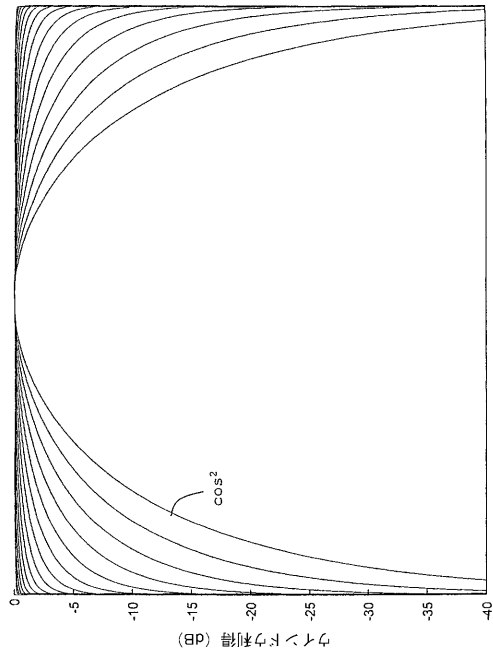
【図 6 A】



【図 6 B】



【図 7】



【図 8 A】

|    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 34 | 30 | 26 | 22 | 24 | 28 | 32 |
| 20 | 16 | 12 | 8  | 10 | 14 | 18 |
| 7  | 5  | 3  | 1  | 2  | 4  | 6  |
| 21 | 17 | 13 | 9  | 11 | 15 | 19 |
| 35 | 31 | 27 | 23 | 25 | 29 | 33 |

FIG. 8A

【図 8 B】

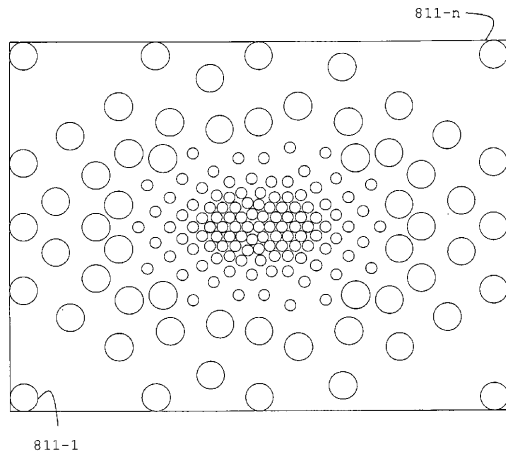


FIG. 8B

【図 9 A】

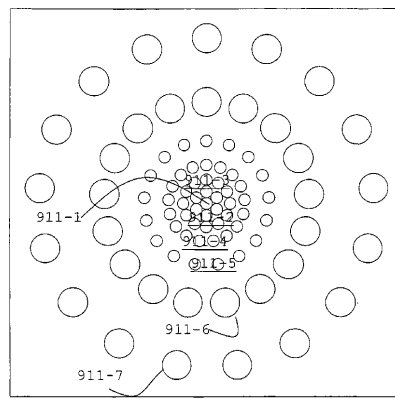


FIG. 9A

【図 9 B】

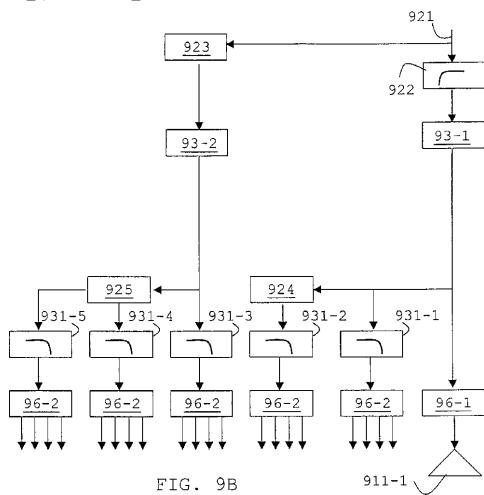


FIG. 9B

【図 10】

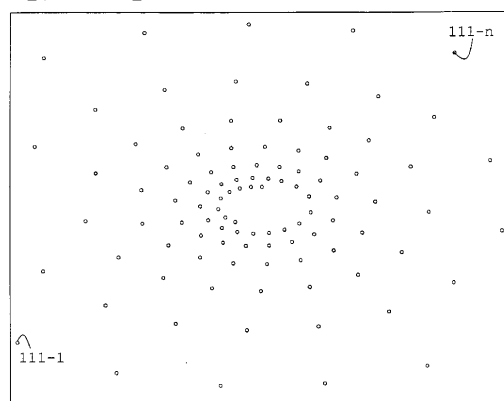
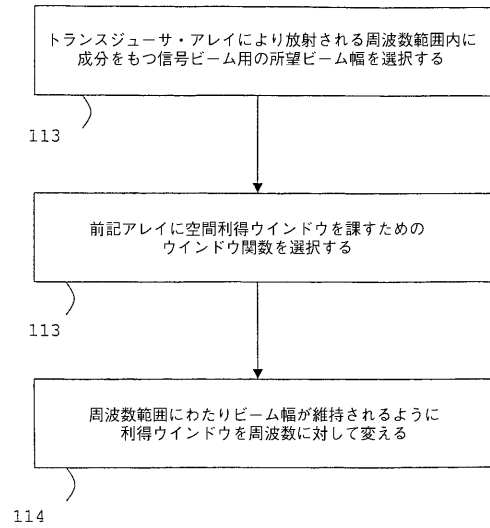


FIG. 10

【図 11】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ゴーディ、アングス、ガヴィン  
イギリス国、ケンブリッジ、カンターベリー クローズ 2
- (72)発明者 スローグトン、ポール、トマス  
イギリス国、ケンブリッジ、グワイダー ストリート 71
- (72)発明者 ホーレイ、アンソニー  
イギリス国、ケンブリッジ、デ フレヴィル アベニュー 79

審査官 新川 圭二

- (56)参考文献 特開平10-285683 (JP, A)  
特開平06-038289 (JP, A)  
特開平07-193896 (JP, A)  
特開昭57-068991 (JP, A)  
特開2001-069591 (JP, A)  
特開平08-051690 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H04R 3/00  
H04R 1/40