

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7683606号
(P7683606)

(45)発行日 令和7年5月27日(2025.5.27)

(24)登録日 令和7年5月19日(2025.5.19)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 R 3/00 (2006.01) H 0 4 R 3/00 3 1 0

H 0 4 R 3/04 (2006.01) H 0 4 R 3/04

請求項の数 11 (全28頁)

(21)出願番号	特願2022-536233(P2022-536233)	(73)特許権者	000002185
(86)(22)出願日	令和3年6月30日(2021.6.30)		ソニーグループ株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/024669		東京都港区港南1丁目7番1号
(87)国際公開番号	WO2022/014325	(74)代理人	100121131
(87)国際公開日	令和4年1月20日(2022.1.20)		弁理士 西川 孝
審査請求日	令和6年5月9日(2024.5.9)	(74)代理人	
(31)優先権主張番号	特願2020-120706(P2020-120706)		稲本 義雄
(32)優先日	令和2年7月14日(2020.7.14)	(74)代理人	100168686
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 三浦 勇介
		(72)発明者	米田 道昭
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー
			グループ株式会社内
		審査官	山本 章裕

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 信号処理装置および方法、並びにプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

高域信号と低域信号が混合されたオーディオ信号に基づいて1つのスピーカにより音を再生する場合における前記スピーカの振動板の変位を、前記オーディオ信号に基づいて予測する変位予測部と、

前記予測により得られた前記変位および音速に基づいて求められる補正時間に基づいて、前記オーディオ信号の3以上のサンプルを用いた補間処理により、前記オーディオ信号に対して時間方向の補正を行う補正部とを備える信号処理装置。

【請求項2】

前記変位予測部は、非線形予測により前記変位を求める請求項1に記載の信号処理装置。

【請求項3】

前記変位予測部は、多項式近似による前記非線形予測を行う請求項2に記載の信号処理装置。

【請求項4】

前記補正時間は、前記オーディオ信号の遅延時間であり、前記振動板が前方に動く場合、前記補正時間は増加し、前記振動板が後方に動く場合、前記補正時間は減少する請求項1に記載の信号処理装置。

【請求項5】

前記補正部は、前記予測により得られた前記変位、前記音速、および前記オーディオ信号のサンプリング周波数に基づいて、前記補正時間のサンプル数を算出し、前記サンプル数に基づいて前記補間処理を行う

請求項 1 に記載の信号処理装置。

【請求項 6】

前記補正部は、小数点以下の値を含む前記サンプル数を算出する

請求項 5 に記載の信号処理装置。

【請求項 7】

前記補正部は、前記補間処理により前記オーディオ信号のサンプル値を補正することにより、前記時間方向の補正を行う

請求項 1 に記載の信号処理装置。

【請求項 8】

前記補間処理は、ラグランジュ補間、ニュートン補間、またはスプライン補間である

請求項 1 に記載の信号処理装置。

【請求項 9】

前記変位予測部は、前記補間処理により得られたオーディオ信号に基づいて、前記変位を予測する

請求項 1 に記載の信号処理装置。

【請求項 10】

信号処理装置が、

高域信号と低域信号が混合されたオーディオ信号に基づいて 1 つのスピーカにより音を再生する場合における前記スピーカの振動板の変位を、前記オーディオ信号に基づいて予測し、

前記予測により得られた前記変位および音速に基づいて求められる補正時間に基づいて、前記オーディオ信号の 3 以上のサンプルを用いた補間処理により、前記オーディオ信号に対して時間方向の補正を行う

信号処理方法。

【請求項 11】

高域信号と低域信号が混合されたオーディオ信号に基づいて 1 つのスピーカにより音を再生する場合における前記スピーカの振動板の変位を、前記オーディオ信号に基づいて予測し、

前記予測により得られた前記変位および音速に基づいて求められる補正時間に基づいて、前記オーディオ信号の 3 以上のサンプルを用いた補間処理により、前記オーディオ信号に対して時間方向の補正を行う

ステップを含む処理をコンピュータに実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本技術は、信号処理装置および方法、並びにプログラムに関し、特にドップラー歪を低減させることができるようにした信号処理装置および方法、並びにプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

例えばスピーカでの音楽再生において、低域の信号により高域の信号が影響を受け、音像定位がぼやけたり、揺らいで聴こえたりする現象が生じることがある。

【0003】

そのような現象の発生要因の 1 つとして、低域の信号によりスピーカの振動板が前後に振動し、振動板が前後することにより振動板から放射される信号の音源位置が変化することで起こるドップラー歪がある。これは、特に低域から高域まで 1 つの振動板から音を出力するフルレンジスピーカで顕著に生じる。

【0004】

10

20

30

40

50

そこで、2回積分した信号でクロック発振器を制御し、可変遅延器により信号の遅延時間を変化させることでドップラー歪を打ち消す技術が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

【0005】

また、デジタル信号処理で、スピーカの変位を、変位0[mm]のパラメータを用いて線形予測し、スピーカの非線形歪を補正する技術も提案されている（例えば、特許文献2参照）。この技術では、スピーカの非線形歪の補正に用いる変位の線形予測が用いられてドップラー歪の補正が行われている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0006】

【文献】特許第1556673号公報

【文献】米国特許第5438625号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上述した技術では、十分にドップラー歪を低減させることは困難であった。

【0008】

例えば特許文献1に記載の技術では、スピーカの振動板の動き（変位）を求める方法として簡易的に2回積分を行っているが、積分により求まる動きは、実際のスピーカの変位の動きとは異なる場合が多く、かえって歪が増えてしまうことがある。

20

【0009】

また、特許文献2に記載の技術では、ドップラー歪の補正を行う方法として、遅延時間を制御することで位相変調しているが、離散信号の遅延時間制御においてサンプル間隔の間のデータを算出するのに直線補間が用いられている。

【0010】

特にドップラー歪は高域の信号の周波数が高くなるにしたがって6dB/Octで増えていくが、直線補間では誤差が大きく生じることがあり、そのような場合には、誤差による新たな歪が生じてしまう。また、スピーカの振動板の変位量が大きく、1サンプリング間隔を超える場合の時間補正については考慮されていない。

30

【0011】

本技術は、このような状況に鑑みてなされたものであり、ドップラー歪を低減させることができるようにするものである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本技術の一側面の信号処理装置は、高域信号と低域信号が混合されたオーディオ信号に基づいて1つのスピーカにより音を再生する場合における前記スピーカの振動板の変位を、前記オーディオ信号に基づいて予測する変位予測部と、前記予測により得られた前記変位および音速に基づいて求められる補正時間に基づいて、前記オーディオ信号の3以上のサンプルを用いた補間処理により、前記オーディオ信号に対して時間方向の補正を行う補正部とを備える。

40

【0013】

本技術の一側面の信号処理方法またはプログラムは、高域信号と低域信号が混合されたオーディオ信号に基づいて1つのスピーカにより音を再生する場合における前記スピーカの振動板の変位を、前記オーディオ信号に基づいて予測し、前記予測により得られた前記変位および音速に基づいて求められる補正時間に基づいて、前記オーディオ信号の3以上のサンプルを用いた補間処理により、前記オーディオ信号に対して時間方向の補正を行うステップを含む。

【0014】

50

本技術の一側面においては、高域信号と低域信号が混合されたオーディオ信号に基づいて1つのスピーカにより音を再生する場合における前記スピーカの振動板の変位が、前記オーディオ信号に基づいて予測され、前記予測により得られた前記変位および音速に基づいて求められる補正時間に基づいて、前記オーディオ信号の3以上のサンプルを用いた補間処理により、前記オーディオ信号に対して時間方向の補正が行われる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】ドップラー歪について説明する図である。

【図2】ドップラー歪について説明する図である。

【図3】ドップラー歪について説明する図である。

10

【図4】オーディオ再生システムの構成例を示す図である。

【図5】ドップラー歪補正時の処理の流れについて説明する図である。

【図6】スピーカの等価回路の例を示す図である。

【図7】3次IIRフィルタの構成例を示す図である。

【図8】スピーカの変位に対する力係数の特性を示す図である。

【図9】スピーカの変位に対する機械系コンプライアンスの特性を示す図である。

【図10】スピーカの変位に対するインダクタンスの特性を示す図である。

【図11】3次IIRフィルタの構成例を示す図である。

【図12】非線形予測を行ったときの変位の予測結果と実測値を示す図である。

【図13】線形予測を行ったときの変位の予測結果と実測値を示す図である。

20

【図14】ドップラー歪補正について説明する図である。

【図15】ドップラー歪補正の効果について説明する図である。

【図16】ドップラー歪補正部の構成例を示す図である。

【図17】再生処理を説明するフローチャートである。

【図18】スピーカの等価回路の例を示す図である。

【図19】スピーカの等価回路の例を示す図である。

【図20】オーディオ再生システムの構成例を示す図である。

【図21】コンピュータの構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

30

以下、図面を参照して、本技術を適用した実施の形態について説明する。

【0017】

第1の実施の形態

本技術について

本技術は、2次以上の多項式での補間処理によりオーディオ信号を時間方向にずらす補正を行うことで、ドップラー歪を低減させるものである。また、本技術によれば、スピーカの振動板の変位を非線形予測することで、実際の振動板の動きの予測精度を向上させ、ドップラー歪をさらに低減させることができる。

【0018】

スピーカにより音楽等の音響再生を行う場合に、低域の信号により高域の信号が影響を受け、音像定位がぼやけたり、揺らいで聴こえたりする現象が生じることがあり、そのような現象の発生要因の1つとしてドップラー歪がある。

40

【0019】

ドップラー歪は、例えば図1に示すように、低域の信号によりスピーカの振動板D11が前後に振動することにより、振動板D11から放射される信号の音源位置が変化することにより生じる。

【0020】

具体的には、例えば図1の矢印Q11に示すように振動板D11が前方、つまりリスニングポイントP11の方向へと動くと音源位置、つまり音波の発生位置は前方へと移動し、振動板D11により出力される音(信号)の位相が進むことになる。そうすると、振動板D11が

50

ら出力される音の波長は短くなる。

【 0 0 2 1 】

逆に、矢印Q12に示すように振動板D11が後方、つまりリスニングポイントP11の方向とは逆の方向へと動くと音源位置は後方へと移動し、振動板D11により出力される音（信号）の位相が遅れる。そうすると、振動板D11から出力される音の波長は長くなる。

【 0 0 2 2 】

このように低域の信号により振動板D11が前後した状態で振動板D11から高域の信号（音）が出力されると、その音の波長が変化する。

【 0 0 2 3 】

このような現象がドップラー歪と呼ばれており、ドップラー歪は、特に低域から高域まで1つの振動板で音を出力するフルレンジスピーカで顕著に生じる。

10

【 0 0 2 4 】

いわゆる通常の2chステレオ再生から5.1chサラウンド、複数のスピーカによるサウンドAR（Augmented Reality）やVR（Virtual Reality）、波面合成ではスピーカを理想的な点音源として扱うために、フルレンジスピーカが用いられることが多い。

【 0 0 2 5 】

スピーカにおいてドップラー歪が生じると、意図した音源と実際に再生される音源の位置や大きさなどに影響が生じてしまう。

【 0 0 2 6 】

ドップラー歪は、例えば図2に示すように低域の信号と高域の信号とを同時に再生した場合に発生する。

20

【 0 0 2 7 】

すなわち、上述したように低域の信号によりスピーカの振動板が前後に振動することで高域の信号の音源位置が変化し、これによりリスニングポイントまでの音の到達時間が変化する。そうすると、高域の信号（音）の波長が短くなったり、長くなったりして信号が歪んでしまう。

【 0 0 2 8 】

例えば、ドップラー歪が生じたときの同時に出力された低域と高域の信号を周波数軸で見ると図3に示すようになる。なお、図3において縦軸は信号の振幅を示しており、横軸は周波数を示している。

30

【 0 0 2 9 】

この例では、周波数 f_1 の成分が低域の信号成分を示しており、周波数 f_2 の成分が高域の信号成分を示している。特に、ここでは低域の信号と高域の信号は、ともに正弦波信号とされている。

【 0 0 3 0 】

また、この例では低域の信号と高域の信号が同時にスピーカから出力されており、ドップラー歪が生じている。すなわち、ここでは側波帯の周波数成分である周波数 $(f_2 - f_1)$ の成分と周波数 $(f_2 + f_1)$ の成分とがドップラー歪により生じた信号成分となっている。

【 0 0 3 1 】

以上において説明したドップラー歪を低減させる方法として、スピーカの振動板の前後の動き（変位）を予測し、予測した変位を用いてスピーカの振動板の前後の動きと逆になるように遅延時間の制御を行う方法が考えられる。すなわち、遅延時間の制御として、予測により得られた振動板の変位に応じた時間だけ信号の出力（再生）のタイミングを遅延させる制御が行われる。

40

【 0 0 3 2 】

このようにすることで、スピーカの振動板の前後の動きにより変化してしまうリスニングポイントまでの音の到達時間を均一になるように制御し、ドップラー歪を低減させることができる。

【 0 0 3 3 】

以上のことから、ドップラー歪を打ち消すには、スピーカの振動板の動きを予測または

50

実測により取得し、その動きによる音（信号）の到達時間の変化分だけ逆方向に信号に対する時間補正を行えばよい。

【 0 0 3 4 】

ところが、現状、提案されている技術では、十分にドップラー歪を低減させることは困難であった。

【 0 0 3 5 】

また、スピーカの振動板の形状を工夫することによりドップラー歪を低減させる方法も提案されている。例えば、振動板の形状を非対称な楕円などの非円形状にすることで、振動板から周波数の高い信号を不均一に放射させ、位相変調を分散させることによりドップラー歪を低減させる方法も提案されている。しかしながら、そのような方法でもドップラー歪の改善効果は小さく、十分とはいえなかった。

10

【 0 0 3 6 】

そこで本技術では、非線形予測を行うことでスピーカの振動板の動き（変位）をより高精度に予測するとともに、２次以上の多項式での補間処理によりオーディオ信号を時間補正することでドップラー歪を低減させることができるようにした。

【 0 0 3 7 】

例えば非線形予測を行うことで、線形予測を行う場合よりもスピーカの変位をより高精度に予測することができる。また、２次以上の多項式での補間処理を行うようにすれば、２点での直線補間を行う場合よりも、より精度の高い補間を行うことができる。したがって、よりドップラー歪を低減させることができる。

20

【 0 0 3 8 】

オーディオ再生システムの構成例

図４は、本技術を適用したオーディオ再生システムの一実施の形態の構成例を示す図である。

【 0 0 3 9 】

図４に示すオーディオ再生システムは、信号処理装置１１、増幅部１２、およびスピーカ１３を有している。

【 0 0 4 0 】

信号処理装置１１は、再生対象となるコンテンツ等のオーディオ信号に対して、ドップラー歪を低減させるための補正を行い、その結果得られた補正オーディオ信号を増幅部１２に供給する。

30

【 0 0 4 1 】

以下では、信号処理装置１１に入力されるオーディオ信号、すなわち再生される音のソース信号を特に入力オーディオ信号とも称することとする。また、以下、ドップラー歪を低減させるための補正をドップラー歪補正とも称することとする。

【 0 0 4 2 】

信号処理装置１１に入力される入力オーディオ信号は、高域成分と低域成分が含まれるオーディオ信号、すなわち高域信号と低域信号が混合されたオーディオ信号となっている。

【 0 0 4 3 】

増幅部１２は、信号処理装置１１から供給された補正オーディオ信号を、所定の出力電圧であるアンプゲインにより増幅させ、増幅後の補正オーディオ信号をスピーカ１３に供給して駆動させる。

40

【 0 0 4 4 】

スピーカ１３は、例えば低域から高域までの周波数帯域の音を出力するフルレンジスピーカなどからなる。なお、フルレンジスピーカ以外の他のスピーカでもドップラー歪は生じるため、スピーカ１３はフルレンジスピーカに限らず、どのようなスピーカであってもよい。

【 0 0 4 5 】

スピーカ１３は増幅部１２から供給された補正オーディオ信号に基づいて駆動することで振動板を振動させ、補正オーディオ信号に基づく音を出力する。

50

【 0 0 4 6 】

また、信号処理装置 1 1 は、スピーカ変位予測部 2 1 およびドップラー歪補正部 2 2 を有している。

【 0 0 4 7 】

スピーカ変位予測部 2 1 は、供給された入力オーディオ信号に基づいて、ドップラー歪を補正するターゲットとなるスピーカ 1 3 の変位、より詳細にはスピーカ 1 3 の振動板の変位を予測し、その予測結果をドップラー歪補正部 2 2 に供給する。

【 0 0 4 8 】

すなわち、スピーカ変位予測部 2 1 では、入力オーディオ信号に基づいて 1 つのスピーカ 1 3 により音を再生する場合におけるスピーカ 1 3 の振動板の変位が、入力オーディオ信号に基づく非線形予測により求められる。特にスピーカ変位予測部 2 1 では、多項式近似（近似多項式）による非線形予測が行われ、スピーカ 1 3 の変位が求められる。

【 0 0 4 9 】

スピーカ変位予測部 2 1 は、増幅部 3 1 およびフィルタ部 3 2 を有している。

【 0 0 5 0 】

増幅部 3 1 は、供給された入力オーディオ信号を、増幅部 1 2 での出力電圧（アンプゲイン）により増幅させてフィルタ部 3 2 に供給する。

【 0 0 5 1 】

フィルタ部 3 2 は、例えば 3 次 IIR（Infinite Impulse Response）フィルタなどからなり、増幅部 3 1 から供給された入力オーディオ信号をフィルタリングすることにより非線形予測を行い、その予測結果として得られた変位をドップラー歪補正部 2 2 に供給する。

【 0 0 5 2 】

ドップラー歪補正部 2 2 は、スピーカ変位予測部 2 1 のフィルタ部 3 2 から供給された予測結果に基づいて、供給された入力オーディオ信号に対してドップラー歪補正を行い、その結果得られた補正オーディオ信号を増幅部 1 2 に供給する。

【 0 0 5 3 】

このような信号処理装置 1 1 では、大まかに図 5 に示すような処理が行われて補正オーディオ信号が生成される。

【 0 0 5 4 】

すなわち、まず増幅部 3 1 において、入力オーディオ信号（ソース信号）にアンプゲインが乗算され、ゲイン調整が行われる。このアンプゲインは、増幅部 1 2 での増幅、すなわちゲイン調整に用いられるゲイン値である。

【 0 0 5 5 】

次に、フィルタ部 3 2 において、ゲイン調整後の入力オーディオ信号に対して、例えば 3 次 IIR フィルタ等のフィルタによるフィルタリングが行われる。

【 0 0 5 6 】

このフィルタリングの処理は、スピーカ 1 3 の振動板の変位を予測する非線形な変位予測処理であり、このような変位予測処理により得られた予測結果がドップラー歪補正部 2 2 へと供給される。例えば振動板の変位の予測結果として、変位 $x[\text{mm}]$ など、振動板の位置の変化の大きさを示す距離が得られる。

【 0 0 5 7 】

ドップラー歪補正部 2 2 では予測結果として供給された変位 $x[\text{mm}]$ が、音速 $c[\text{m/s}]$ に基づいて、変位 $x[\text{mm}]$ に相当する補正時間 $d=x/c[\text{s}]$ に換算（変換）される。この補正時間 d は、入力オーディオ信号を遅延させる遅延時間を示している。

【 0 0 5 8 】

例えばスピーカ 1 3 の振動板が前方、つまりリスニングポイント側に動く場合、変位 $x[\text{mm}]$ は正の値となる。このような場合には、スピーカ 1 3 での音の出力のタイミングを遅らせるため、補正時間 d は増加する（正の値となる）。

【 0 0 5 9 】

逆に、スピーカ 1 3 の振動板が後方、つまりリスニングポイント側とは反対側に動く場

10

20

30

40

50

合、変位 $x[\text{mm}]$ は負の値となる。このような場合には、スピーカ 1 3 での音の出力のタイミングを進ませるため、補正時間 d は減少する（負の値となる）。

【 0 0 6 0 】

また、ドップラー歪補正部 2 2 では、補正時間 $d[\text{s}]$ が入力オーディオ信号のサンプリング周波数 F_s に基づいて、変位 $x[\text{mm}]$ に相当するサンプル単位の時間、すなわち補正サンプル数 $d \times F_s[\text{sample}]$ に変換（換算）される。

【 0 0 6 1 】

このようにして得られた補正サンプル数は、ドップラー歪を補正するために、入力オーディオ信号の出力タイミングを時間方向に遅延させたり進めたりする補正量を示している。特に、ここでは補正サンプル数は、小数点以下の値も含まれている。

10

【 0 0 6 2 】

さらにドップラー歪補正部 2 2 では、補正サンプル数と入力オーディオ信号に基づいて補間処理により入力オーディオ信号を補正サンプル数（補正量）だけ時間方向にずらす（シフトする）補正、つまり遅延時間補正処理が行われて補正オーディオ信号が生成される。

【 0 0 6 3 】

このとき、入力オーディオ信号に対する遅延時間補正処理として、小数点以下のサンプルについては 2 点間の直線補間ではなく、例えば少なくとも 3 点、つまり入力オーディオ信号の 3 以上のサンプルを用いた 2 次以上のラグランジュ補間など、2 次以上の多項式での補間処理が行われる。

【 0 0 6 4 】

20

このような 2 次以上の多項式での補間処理により、入力オーディオ信号のサンプルのサンプル値が補正され、その結果、入力オーディオ信号を補正サンプル数だけ時間方向にずらす遅延時間補正処理が実現される。

【 0 0 6 5 】

このような補間処理が行われるドップラー歪補正部 2 2 では、スピーカ 1 3 の振動板が前後に動く変位量と、入力オーディオ信号のサンプリング周波数が考慮され、遅延時間のオフセットが用意される。このオフセットは、ドップラー歪の補正量によらず、全体として補正オーディオ信号の出力タイミングを遅延させる遅延サンプル数である。

【 0 0 6 6 】

信号処理装置 1 1 では、以上のようにしてドップラー歪補正が行われる。このようなドップラー歪補正は、入力オーディオ信号に対する位相変調に相当する。

30

【 0 0 6 7 】

スピーカの変位予測について

続いて、スピーカ変位予測部 2 1 でのスピーカ 1 3 の変位予測と、ドップラー歪補正部 2 2 でのドップラー歪補正について、より具体的に説明する。

【 0 0 6 8 】

フィルタ部 3 2 では、スピーカ 1 3 の等価モデル、すなわち等価回路に基づいて、入力オーディオ信号を入力したときのスピーカ 1 3 の変位が予測される。すなわち、スピーカ 1 3 の等価回路をデジタルフィルタ化することで、スピーカ 1 3 の変位予測が実現される。

【 0 0 6 9 】

40

例えばスピーカ 1 3 が密閉型のスピーカである場合、そのスピーカ 1 3 の等価回路は、図 6 に示すようになる。

【 0 0 7 0 】

図 6 の例では、図中、左側の回路が電気系の等価回路を示しており、図中、右側が機械系の等価回路を示している。

【 0 0 7 1 】

また、図 6 における各文字は TS パラメータと呼ばれている各パラメータを示している。

【 0 0 7 2 】

すなわち、 R_e はボイスコイルの直流抵抗（DCR（Direct Current Resistance））を示しており、 L_e はボイスコイルのインダクタンスを示しており、 BL は力係数、つまり BL

50

値を示している。力係数BLは、ボイスコイルおよび磁気回路の部分における磁束密度と、ボイスコイルのコイル長の積により求まる。

【 0 0 7 3 】

また、Mmsは振動系等価質量を示しており、この振動系等価質量Mmsは、スピーカ 1 3 の振動板およびボイスコイルの質量である。

【 0 0 7 4 】

Cmsは、ユニットのサスペンションの柔らかさを示す指標である機械系コンプライアンスを示しており、Rmsはユニットのサスペンションがもつ機械的抵抗を示しており、Cmbはスピーカ 1 3、すなわち密閉型スピーカの密閉箱のサスペンションによるコンプライアンスを示している。

10

【 0 0 7 5 】

以下、これらのTSパラメータを用いたスピーカ 1 3 の変位予測について説明する。

【 0 0 7 6 】

スピーカの振動板の速度v(s)は、上述したTSパラメータを用いて、次式(1)で表すことができる。

【 0 0 7 7 】

【数 1 】

$$v(s) = \frac{Bl}{(Re + Le \cdot s) \left(Mms \cdot s + Rms + \frac{1}{Cms \cdot s} + \frac{1}{Cmb \cdot s} \right) + Bl^2} \quad \dots (1)$$

20

【 0 0 7 8 】

また、スピーカの振動板の変位X(s)は、速度v(s)を積分したものであるので、次式(2)により表すことができる。

【 0 0 7 9 】

【数 2 】

$$X(s) = \frac{v(s)}{s} \quad \dots (2)$$

30

【 0 0 8 0 】

したがって、上述の式(1)と式(2)から、変位X(s)はTSパラメータを用いて次式(3)で表すことができる。

【 0 0 8 1 】

【数 3 】

$$X(s) = \frac{Bl}{(Re + Le \cdot s) \left(Mms \cdot s^2 + Rms \cdot s + \frac{1}{Cms} + \frac{1}{Cmb} \right) + Bl^2 \cdot s} \quad \dots (3)$$

40

【 0 0 8 2 】

このような変位X(s)はアナログ伝達関数である。この変位X(s)を双一次Z変換($s = (1 - Z^{-1}) / (1 + Z^{-1})$)等を用いてデジタルフィルタ化し、そのデジタルフィルタの係数を求めると変位X(s)、すなわちアナログ伝達関数は図 7 に示す 3 次IIRフィルタで表すことができる。

【 0 0 8 3 】

図 7 の例では、3 次IIRフィルタは、増幅部 6 1 - 1 乃至増幅部 6 1 - 4、遅延部 6 2 - 1 乃至遅延部 6 2 - 3、加算部 6 3、遅延部 6 4 - 1 乃至遅延部 6 4 - 3、および増幅部 6 5 - 1 乃至増幅部 6 5 - 3 を有している。

【 0 0 8 4 】

50

この例では、処理対象となる信号が増幅部 6 1 - 1 および遅延部 6 2 - 1 に供給される。

【 0 0 8 5 】

増幅部 6 1 - 1 は、供給された信号に係数 a_0 を乗算することで信号を増幅させ、加算部 6 3 に供給する。また、遅延部 6 2 - 1 は供給された信号を遅延させて遅延部 6 2 - 2 および増幅部 6 1 - 2 に供給する。

【 0 0 8 6 】

遅延部 6 2 - 2 は、遅延部 6 2 - 1 から供給された信号を遅延させて遅延部 6 2 - 3 および増幅部 6 1 - 3 に供給し、遅延部 6 2 - 3 は、遅延部 6 2 - 2 から供給された信号を遅延させて増幅部 6 1 - 4 に供給する。

【 0 0 8 7 】

増幅部 6 1 - 2 乃至増幅部 6 1 - 4 は、遅延部 6 2 - 1 乃至遅延部 6 2 - 3 から供給された信号に係数 a_1 乃至係数 a_3 を乗算することで信号を増幅させ、加算部 6 3 に供給する。

【 0 0 8 8 】

なお、以下、増幅部 6 1 - 1 乃至増幅部 6 1 - 4 を特に区別する必要のない場合、単に増幅部 6 1 とも称することとする。また、以下、遅延部 6 2 - 1 乃至遅延部 6 2 - 3 を特に区別する必要のない場合、単に遅延部 6 2 とも称することとする。

【 0 0 8 9 】

加算部 6 3 は、増幅部 6 1 - 1 乃至増幅部 6 1 - 4 および増幅部 6 5 - 1 乃至増幅部 6 5 - 3 から供給された信号を加算し、加算により得られた信号を 3 次 IIR フィルタの出力として後段に供給するとともに遅延部 6 4 - 1 にも供給する。この加算部 6 3 の出力はスピーカの変位を示している。

【 0 0 9 0 】

遅延部 6 4 - 1 は、加算部 6 3 から供給された信号を遅延させて遅延部 6 4 - 2 および増幅部 6 5 - 1 に供給し、増幅部 6 5 - 1 は、遅延部 6 4 - 1 から供給された信号に係数 b_1 を乗算することで信号を増幅させ、加算部 6 3 に供給する。

【 0 0 9 1 】

遅延部 6 4 - 2 は、遅延部 6 4 - 1 から供給された信号を遅延させて遅延部 6 4 - 3 および増幅部 6 5 - 2 に供給し、遅延部 6 4 - 3 は、遅延部 6 4 - 2 から供給された信号を遅延させて増幅部 6 5 - 3 に供給する。

【 0 0 9 2 】

増幅部 6 5 - 2 および増幅部 6 5 - 3 は、遅延部 6 4 - 2 および遅延部 6 4 - 3 から供給された信号に係数 b_2 および係数 b_3 を乗算することで信号を増幅させ、加算部 6 3 に供給する。

【 0 0 9 3 】

なお、以下、遅延部 6 4 - 1 乃至遅延部 6 4 - 3 を特に区別する必要のない場合、単に遅延部 6 4 とも称することとする。また、以下、増幅部 6 5 - 1 乃至増幅部 6 5 - 3 を特に区別する必要のない場合、単に増幅部 6 5 とも称することとする。

【 0 0 9 4 】

例えば、図 7 に示した 3 次 IIR フィルタで用いられる係数 a_0 乃至係数 a_3 および係数 b_1 乃至係数 b_3 は、双一次変換により算出することができる。すなわち、これらの係数は、TS パラメータに基づいて算出することができる。

【 0 0 9 5 】

ところで、スピーカ 1 3 の等価回路の TS パラメータのなかで、スピーカユニットのパラメータである力係数 BL 、機械系コンプライアンス C_{ms} 、およびインダクタンス L_e は、例えば図 8 乃至図 10 に示すように、スピーカ 1 3 の変位 x によって非線形に変化する。

【 0 0 9 6 】

図 8 は、変位 x の変化に対するスピーカユニットの力係数 BL の特性を示している。すなわち、図 8 において縦軸は力係数 BL を示しており、横軸は変位 x を示している。

【 0 0 9 7 】

この例では、変位 x の絶対値が大きくなるにしたがって、非線形に力係数 BL が小さくな

10

20

30

40

50

っていることが分かる。

【 0 0 9 8 】

また、図 9 は変位 x の変化に対するスピーカユニットの機械系コンプライアンス C_{ms} の特性を示している。すなわち、図 9 において縦軸は機械系コンプライアンス C_{ms} を示しており、横軸は変位 x を示している。

【 0 0 9 9 】

この例においても、図 8 における場合と同様に、変位 x に対して機械系コンプライアンス C_{ms} の値が非線形に変化することが分かる。

【 0 1 0 0 】

図 10 は、変位 x の変化に対するスピーカユニットのインダクタンス L_e の特性を示している。すなわち、図 10 において縦軸はインダクタンス L_e を示しており、横軸は変位 x を示している。

10

【 0 1 0 1 】

この例では、変位 x の値が大きくなるにしたがって、非線形にインダクタンス L_e が小さくなっていることが分かる。

【 0 1 0 2 】

このように力係数 BL や、機械系コンプライアンス C_{ms} 、インダクタンス L_e は非線形に変化する。

【 0 1 0 3 】

そこで、これらの非線形要素を含んだ変位 x の予測を行う場合、出力される変位 x から非線形パラメータである力係数 BL 、機械系コンプライアンス C_{ms} 、およびインダクタンス L_e を求め、求められたそれらの非線形パラメータを用いて 3 次 IIR フィルタの係数を更新すればよい。

20

【 0 1 0 4 】

そのような場合、例えばフィルタ部 32 が 3 次 IIR フィルタからなる場合には、その 3 次 IIR フィルタは図 11 に示すように構成される。なお、図 11 において図 7 における場合と対応する部分には同一の符号を付してあり、その説明は適宜省略する。

【 0 1 0 5 】

図 11 に示す 3 次 IIR フィルタは、増幅部 61 - 1 乃至増幅部 61 - 4、遅延部 62 - 1 乃至遅延部 62 - 3、加算部 63、遅延部 64 - 1 乃至遅延部 64 - 3、増幅部 65 - 1 乃至増幅部 65 - 3、および更新部 91 を有している。

30

【 0 1 0 6 】

図 11 に示す 3 次 IIR フィルタでは、入力オーディオ信号をアンプゲインによりゲイン調整して得られた入力オーディオ信号 $u[n]$ が、3 次 IIR フィルタを構成する増幅部 61 - 1 および遅延部 62 - 1 に供給される。

【 0 1 0 7 】

なお、入力オーディオ信号 $u[n]$ における n はサンプルを示しており、各遅延部 62 および遅延部 64 では、供給された信号が 1 サンプル分の時間だけ遅延され、後段に出力される。

【 0 1 0 8 】

40

更新部 91 は、加算部 63 から供給された変位 $x[n-1]$ に基づいて、次のサンプルの変位 $x[n]$ を求めるために用いられる力係数 $BL[n]$ 、機械系コンプライアンス $C_{ms}[n]$ 、およびインダクタンス $L_e[n]$ を算出する。

【 0 1 0 9 】

例えば、これらの力係数 $BL[n]$ 、機械系コンプライアンス $C_{ms}[n]$ 、およびインダクタンス $L_e[n]$ は、次式 (4) に示すように 4 次の近似多項式により求めることができる。

【 0 1 1 0 】

【 数 4 】

$$\begin{aligned}
 B_l[n] &= b_{l4} * x[n-1]^4 + b_{l3} * x[n-1]^3 + b_{l2} * x[n-1]^2 + b_{l1} * x[n-1] + b_{l0} \\
 C_{ms}[n] &= c_{ms4} * x[n-1]^4 + c_{ms3} * x[n-1]^3 + c_{ms2} * x[n-1]^2 + c_{ms1} * x[n-1] + c_{ms0} \\
 L_e[n] &= l_{e4} * x[n-1]^4 + l_{e3} * x[n-1]^3 + l_{e2} * x[n-1]^2 + l_{e1} * x[n-1] + l_{e0} \\
 &\quad \cdot \cdot \cdot (4)
 \end{aligned}$$

【 0 1 1 1 】

なお、式 (4) において、 b_{l0} 乃至 b_{l4} は、それぞれ力係数 B_L を表す近似式の 0 次乃至 4 次の項を示している。同様に、 c_{ms0} 乃至 c_{ms4} は機械系コンプライアンス C_{ms} を表す近似式の 0 次乃至 4 次の項を示しており、 l_{e0} 乃至 l_{e4} はインダクタンス L_e を表す近似式の 0 次乃至 4 次の項を示している。

10

【 0 1 1 2 】

更新部 9 1 は、式 (4) の計算を行い、その結果として得られた力係数 $B_L[n]$ 、機械系コンプライアンス $C_{ms}[n]$ 、およびインダクタンス $L_e[n]$ に基づいて、上述の係数 a_0 乃至係数 a_3 および係数 b_1 乃至係数 b_3 を更新する。そして、更新部 9 1 は、更新されたそれらの係数を各増幅部 6 1 および増幅部 6 5 に供給する。

【 0 1 1 3 】

このように更新部 9 1 により、直前の変位 $x[n-1]$ に基づいて力係数 $B_L[n]$ 、機械系コンプライアンス $C_{ms}[n]$ 、およびインダクタンス $L_e[n]$ を計算することで、近似多項式を用いた非線形な変位予測を実現し、より正確な変位 $x[n]$ を得ることができるようになる。

20

【 0 1 1 4 】

ここで、図 1 2 および図 1 3 を参照して、所定のスピーカ 1 3 について、そのスピーカ 1 3 の変位の線形予測および非線形予測を行ったときの予測結果と実測値との比較について説明する。

【 0 1 1 5 】

なお、図 1 2 および図 1 3 において、縦軸はスピーカ 1 3 の変位 $x[n]$ を示しており、横軸はスピーカ 1 3 に入力された信号の周波数を示している。特に、これらの図における縦軸では、変位 $x[n]$ の正の値はリスニングポイント側、つまり前方への変位量を表しており、負の値は後方への変位量を表している。

30

【 0 1 1 6 】

図 1 2 は、非線形予測による変位 $x[n]$ の予測結果と実測値とを示している。特に、図 1 2 では、実線の曲線が非線形予測による予測結果を示しており、点線が実測値を示している。この例では、各周波数において信号レベル、すなわちスピーカ 1 3 の変位量によらず、予測結果と実測値との差 (予測誤差) が小さく、高精度に変位 $x[n]$ が予測できていることが分かる。

【 0 1 1 7 】

これに対して図 1 3 は、線形予測による変位 $x[n]$ の予測結果と実測値とを示している。特に、図 1 3 では、実線の曲線が線形予測による予測結果を示しており、点線が実測値を示している。この例ではスピーカ 1 3 (スピーカユニット) の力係数 B_L 、機械系コンプライアンス C_{ms} 、およびインダクタンス L_e の非線形性が大きく、信号レベル、つまりスピーカ 1 3 の変位量が大きくなると予測結果と実測値が乖離し、予測誤差が大きくなっていることが分かる。

40

【 0 1 1 8 】

以上のことから、このようなスピーカ 1 3 (スピーカユニット) では、変位 $x[n]$ の予測誤差を小さくするためには非線形予測を行う必要があることが分かる。

【 0 1 1 9 】

なお、変位 $x[n]$ の変化に対して力係数 B_L 、機械系コンプライアンス C_{ms} 、およびインダクタンス L_e の変化が少ない範囲でスピーカ 1 3 を使用している場合には、線形予測により

50

変位 $x[n]$ を求めてもよい。

【0120】

これは、例えば入力オーディオ信号の低域をカットするハイパスフィルタを、この変位予測処理の前段に設けることで変位の非線形性が大きくなる周波数帯域を減衰させ、線形に近い周波数帯域を中心にスピーカ13を使用する場合などである。

【0121】

また、変位 $x[n]$ の変化に対して力係数 BL 、機械系コンプライアンス C_{ms} 、およびインダクタンス L_e の非線形性が小さく、線形の領域で使用しているスピーカ13の場合にも変位 $x[n]$ を線形で予測するようにしてもよい。

【0122】

ドップラー歪補正について

次に、入力オーディオ信号に対するドップラー歪補正、すなわち時間補正について説明する。

【0123】

例えば図14の左側に示すように、スピーカ13の振動板D11が前方（リスニングポイントP11側）へと動くときに変位 $x[n]$ は正（プラス）となる。この場合、スピーカ13から出力される音（信号）のリスニングポイントP11までの到達時間は短くなるので、変位 $x[n]$ のプラス分だけ音の出力時間を遅らせる必要がある。なお、図14において図1における場合と対応する部分には同一の符号を付してあり、その説明は適宜省略する。

【0124】

一方、スピーカ13の振動板D11が後方へと動くときには変位 $x[n]$ は負（マイナス）となる。この場合、スピーカ13から出力される音（信号）のリスニングポイントP11までの到達時間は長くなるので、変位 $x[n]$ のマイナス分だけ音の出力時間を進める必要がある。

【0125】

したがって、再生を行いながらのドップラー歪補正を実現するには、入力オーディオ信号の時間を進める分だけ遅延によるオフセットを用意し、そのオフセットを中心にスピーカ13の変位量（変位 $x[n]$ ）に応じて時間補正をドップラー歪補正として行えばよい。

【0126】

ここで、ドップラー歪補正として行われる時間補正は、入力オーディオ信号を変位 $x[n]$ に応じた分だけ時間方向に遅延させるかまたは進めた信号を補正オーディオ信号として求める処理である。

【0127】

この処理は、入力オーディオ信号を変位 $x[n]$ に応じた分だけ時間方向に遅延させるかまたは進めたときの信号における、処理対象となるサンプルのサンプル値を、入力オーディオ信号の複数のサンプルのサンプル値に基づく補間処理により求める処理であるといえる。換言すれば、ドップラー歪補正として行われる時間補正は、入力オーディオ信号に対する振幅値の補正処理であるともいうことができる。

【0128】

また、オフセットは、スピーカ13の振動板D11の最大変位量を、音速を用いて距離から時間に換算し、さらにサンプリング周波数を用いてサンプル単位に換算することで求めることができる。

【0129】

具体的には、例えばスピーカ13の振動板D11の最大変位量が $\pm 10[\text{mm}]$ であり、入力オーディオ信号のサンプリング周波数 F_s が $48[\text{kHz}]$ であるとする。

【0130】

そのような場合、最大変位量 $\pm 10[\text{mm}]$ を音速 $c=340[\text{m/s}]$ で時間に換算すると $\pm 29.4[\mu\text{s}]$ となり、さらに $\pm 29.4[\mu\text{s}]$ をサンプリング周波数 $48[\text{kHz}]$ でサンプル単位に換算すると $\pm 1.4118[\text{sample}]$ となる。

【0131】

10

20

30

40

50

したがって、このような例では入力オーディオ信号をオフセットさせるサンプル数は2サンプルとし、図中、右側に示すようにオフセットの2倍の最大4サンプル分の遅延回路である4つの遅延部121-1乃至遅延部121-4を用意すればよい。

【0132】

遅延部121-1は、供給された入力オーディオ信号を1サンプル分の時間だけ遅延させて遅延部121-2に供給する。

【0133】

また、遅延部121-2および遅延部121-3は、遅延部121-1および遅延部121-2から供給された入力オーディオ信号を1サンプル分の時間だけ遅延させて遅延部121-3および遅延部121-4に供給する。同様に、遅延部121-4は、遅延部121-3から供給された入力オーディオ信号を1サンプル分の時間だけ遅延させて後段に出力する。

【0134】

なお、以下、遅延部121-1乃至遅延部121-4を特に区別する必要のない場合、単に遅延部121とも称することとする。

【0135】

図14の右側に示す例では、4サンプル分の遅延回路を設けることで、0.5882(=2-1.4118)サンプルから3.4118(=2+1.4118)サンプルまでの時間変化をカバーすることができ、スピーカ13の振動板D11の変位 $x[n]$ の変化に対応した時間補正が可能となる。

【0136】

このような時間補正を実現する、小数点以下を含んだ時間サンプル点での信号を取得するための補間処理として、例えばCD(Compact Disc)等のDAC(Digital to Analog Converter)でのオーバーサンプリングフィルタの補間によく用いられているラグランジュ補間を用いることができる。

【0137】

具体的には、例えばラグランジュ補間により、スピーカ13の変位0[mm]に対応するオフセットを含み、スピーカ13の最大変位量をカバーする n 点(例えば $n=3$)以上、つまり n サンプル以上で($n-1$)次の多項式での補間が行われる。

【0138】

一例として、スピーカ13の振動板の最大変位量が ± 10 [mm]であり、入力オーディオ信号のサンプリング周波数 F_s が48[kHz]であるとする。

【0139】

この場合、例えば次式(5)に示すように、次数 $n=0$ から次数 $n=4$ までの5点(5サンプル)で4次の補間多項式により補間処理を行い、変位 $x[n]$ に対応する時間だけ入力オーディオ信号 $u[n]$ を遅延させるかまたは進めた補正オーディオ信号 $u_d[n]$ を求めるようにすることができる。

【0140】

【数5】

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
u_d[n] &= \frac{(x-1)(x-2)(x-3)(x-4)}{(0-1)(0-2)(0-3)(0-4)} u[n] \\
&+ \frac{(x-0)(x-2)(x-3)(x-4)}{(1-0)(1-2)(1-3)(1-4)} u[n-1] + \frac{(x-0)(x-1)(x-3)(x-4)}{(2-0)(2-1)(2-3)(2-4)} u[n-2] \\
&+ \frac{(x-0)(x-1)(x-2)(x-4)}{(3-0)(3-1)(3-2)(3-4)} u[n-3] + \frac{(x-0)(x-1)(x-2)(x-3)}{(4-0)(4-1)(4-2)(4-3)} u[n-4] \\
&= \frac{(x-1)(x-2)(x-3)(x-4)}{24} u[n] \\
&+ \frac{(x-0)(x-2)(x-3)(x-4)}{-6} u[n-1] + \frac{(x-0)(x-1)(x-3)(x-4)}{4} u[n-2] \\
&+ \frac{(x-0)(x-1)(x-2)(x-4)}{-6} u[n-3] + \frac{(x-0)(x-1)(x-2)(x-3)}{24} u[n-4] \\
&\quad \dots (5)
\end{aligned}$$

【 0 1 4 1 】

なお、式(5)において、 x は変位 $x[n]$ に対応するサンプル単位の補正時間である補正サンプル数を示している。また、ここでは補間処理としてラグランジュ補間を用いる例について説明するが、これに限らず、ニュートン補間やスプライン補間など、2次以上の多項式での補間処理であれば、どのような補間処理であってもよい。

【 0 1 4 2 】

以上の式(5)に示したラグランジュ補間により生成された補正オーディオ信号に基づいてスピーカ13で音を再生すれば、リスニングポイントP11ではドップラー歪が打ち消され、高品質な音が観測される。

【 0 1 4 3 】

例えば図3を参照して説明した周波数 f_1 の低域の正弦波信号と、周波数 f_2 の高域の正弦波信号とからなる入力オーディオ信号から、本技術のドップラー歪補正により補正オーディオ信号を生成してスピーカ13で再生すると、図15に示すようになる。なお、図15において縦軸は信号の振幅を示しており、横軸は周波数を示している。

【 0 1 4 4 】

図15には、本技術のドップラー歪補正により得られた補正オーディオ信号に基づいてスピーカ13で再生した音を、リスニングポイントP11においてマイクロホンにより収音(測定)することにより得られたオーディオ信号の各周波数の成分が示されている。

【 0 1 4 5 】

この例では、図3における場合と同様に、もとの入力オーディオ信号に含まれている周波数 f_1 および周波数 f_2 の成分と、周波数 f_2 の側波帯である周波数 (f_2-f_1) および周波数 (f_2+f_1) の成分とが含まれている。

【 0 1 4 6 】

特に、図15では周波数 (f_2-f_1) と周波数 (f_2+f_1) の成分における点線部分は、ドップラー歪補正を行うことにより低減されたドップラー歪を表している。すなわち、この点

線部分はドップラー歪補正を行った場合と行わなかった場合（図 3 における場合）とでのドップラー歪の差分を表している。

【 0 1 4 7 】

このようにドップラー歪補正を行うことでドップラー歪を抑制し、より高品質な音響再生を実現することができる。

【 0 1 4 8 】

ドップラー歪補正部の構成例

以上において説明したドップラー歪補正が行われる場合、信号処理装置 1 1 のドップラー歪補正部 2 2 は、例えば図 1 6 に示すように構成される。なお、図 1 6 において図 1 4 における場合と対応する部分には同一の符号を付してあり、その説明は適宜省略する。

10

【 0 1 4 9 】

図 1 6 に示す例では、ドップラー歪補正部 2 2 は遅延部 1 2 1 - 1 乃至遅延部 1 2 1 - 4、変換部 1 5 1、および補間処理部 1 5 2 を有している。

【 0 1 5 0 】

変換部 1 5 1 は、スピーカ変位予測部 2 1 のフィルタ部 3 2 から供給された変位 $x[n]$ を、その変位 $x[n]$ に対応するサンプル単位の補正サンプル数 x に変換し、補間処理部 1 5 2 に供給する。

【 0 1 5 1 】

変換部 1 5 1 は、遅延部 1 6 1 - 1、遅延部 1 6 1 - 2、乗算部 1 6 2、乗算部 1 6 3、および加算部 1 6 4 を有している。

20

【 0 1 5 2 】

遅延部 1 6 1 - 1 は、フィルタ部 3 2 から供給された変位 $x[n]$ を 1 サンプル分の時間だけ遅延させて遅延部 1 6 1 - 2 に供給する。遅延部 1 6 1 - 2 は、遅延部 1 6 1 - 1 から供給された変位 $x[n]$ を 1 サンプル分の時間だけ遅延させて乗算部 1 6 2 に供給する。

【 0 1 5 3 】

なお、以下、遅延部 1 6 1 - 1 および遅延部 1 6 1 - 2 を特に区別する必要のない場合、単に遅延部 1 6 1 とも称することとする。

【 0 1 5 4 】

乗算部 1 6 2 は、遅延部 1 6 1 - 2 から供給された変位 $x[n]$ に音速 $c=340[m/s]$ の逆数 $1/c$ を乗算し、その結果得られた変位 $x[n]$ に対応する補正時間を乗算部 1 6 3 に供給する。すなわち、乗算部 1 6 2 では変位 $x[n]$ が音速 c で除算され、補正時間が算出される。

30

【 0 1 5 5 】

乗算部 1 6 3 は、乗算部 1 6 2 から供給された補正時間に対して入力オーディオ信号のサンプリング周波数 F_s を乗算し、その結果得られた小数点以下を含むサンプル単位の補正時間である補正サンプル数を加算部 1 6 4 に供給する。

【 0 1 5 6 】

加算部 1 6 4 は、乗算部 1 6 3 から供給された補正サンプル数に対して、オフセットのサンプル数を加算することで最終的な補正サンプル数 x を求め、補間処理部 1 5 2 に供給する。例えば、この例では乗算部 1 6 3 から供給された補正サンプル数に対して、オフセットとしてのサンプル数「2」が加算され、補正サンプル数 x とされる。

40

【 0 1 5 7 】

補間処理部 1 5 2 は、入力された入力オーディオ信号 $u[n]$ 、各遅延部 1 2 1 から供給された入力オーディオ信号 $u[n-1]$ 乃至入力オーディオ信号 $u[n-4]$ 、および加算部 1 6 4 から供給された補正サンプル数 x に基づいて補間処理を行い、補正オーディオ信号 $u_d[n]$ を生成する。

【 0 1 5 8 】

例えば補間処理部 1 5 2 では、上述した式（5）を計算することでラグランジュ補間が行われる。補間処理部 1 5 2 は、補間処理により得られた補正オーディオ信号 $u_d[n]$ を増幅部 1 2 に供給する。

【 0 1 5 9 】

50

再生処理の説明

次に、図 4 に示したオーディオ再生システムの動作について説明する。すなわち、以下、図 17 のフローチャートを参照して、オーディオ再生システムにより行われる再生処理について説明する。この再生処理はソース信号である入力オーディオ信号が入力され、コンテンツ等の音響再生が指示されると開始される。

【0160】

ステップ S 11 において増幅部 31 は、供給された入力オーディオ信号 $u[n]$ に対して増幅部 12 でのアンプゲインを乗算し、その結果得られた増幅後の入力オーディオ信号 $u[n]$ をフィルタ部 32 に供給する。

【0161】

ステップ S 12 においてフィルタ部 32 は、増幅部 31 から供給された入力オーディオ信号 $u[n]$ に対して 3 次 IIR フィルタによるフィルタリングを行い、その結果得られた変位 $x[n]$ を変換部 151 の遅延部 161 - 1 に供給する。

【0162】

例えばフィルタ部 32 では、図 11 を参照して説明したように更新部 91 が加算部 63 から供給された変位 $x[n-1]$ に基づいて上述した式 (4) を計算し、力係数 $BL[n]$ 、機械系コンプライアンス $Cms[n]$ 、およびインダクタンス $Le[n]$ を算出する。

【0163】

また、更新部 91 は、求めた力係数 $BL[n]$ 、機械系コンプライアンス $Cms[n]$ 、およびインダクタンス $Le[n]$ を含む TS パラメータに基づいて、係数 $a0$ 乃至係数 $a3$ および係数 $b1$ 乃至係数 $b3$ を算出し、各増幅部 61 および増幅部 65 に供給する。

【0164】

さらに各遅延部 62 および遅延部 64 は、供給された信号を 1 サンプル分の時間だけ遅延させて後段に出力し、増幅部 61 および増幅部 65 は供給された信号に更新部 91 から供給された係数を乗算し、得られた信号を加算部 63 に供給する。

【0165】

加算部 63 は、各増幅部 61 および増幅部 65 から供給された信号を加算して変位 $x[n]$ とし、その変位 $x[n]$ を更新部 91 および遅延部 161 - 1 に供給する。

【0166】

すると、遅延部 161 - 1 は、加算部 63 から供給された変位 $x[n]$ を遅延させて遅延部 161 - 2 に供給し、遅延部 161 - 2 は、遅延部 161 - 1 から供給された変位 $x[n]$ を遅延させて乗算部 162 に供給する。

【0167】

このようなフィルタ部 32 でのフィルタリングにより、変位 $x[n]$ の非線形予測が行われたことになる。

【0168】

ステップ S 13 において乗算部 162 は、遅延部 161 - 2 から供給された変位 $x[n]$ に音速 c の逆数 $1/c$ を乗算することで補正時間を求め、得られた補正時間を乗算部 163 に供給する。

【0169】

ステップ S 14 において乗算部 163 は、乗算部 162 から供給された補正時間に対してサンプリング周波数 Fs を乗算することで補正サンプル数を求め、加算部 164 に供給する。また、加算部 164 は、乗算部 163 から供給された補正サンプル数に対して、オフセットのサンプル数を加算することで最終的な補正サンプル数 x を求め、補間処理部 152 に供給する。

【0170】

さらに、各遅延部 121 は、供給された入力オーディオ信号を遅延させて後段の遅延部 121 や補間処理部 152 に供給する。

【0171】

ステップ S 15 において補間処理部 152 は、入力された入力オーディオ信号 $u[n]$ 、各

10

20

30

40

50

遅延部 1 2 1 から供給された入力オーディオ信号 $u[n-1]$ 乃至入力オーディオ信号 $u[n-4]$ 、および加算部 1 6 4 から供給された補正サンプル数 x に基づいてラグランジュ補間を行う。

【 0 1 7 2 】

すなわち、補間処理部 1 5 2 は、上述した式 (5) を計算することでラグランジュ補間を行い、その結果得られた補正オーディオ信号 $u_d[n]$ を増幅部 1 2 に供給する。

【 0 1 7 3 】

ステップ S 1 6 において増幅部 1 2 は、補間処理部 1 5 2 から供給された補正オーディオ信号 $u_d[n]$ に対してアンプゲインを乗算するゲイン調整を行い、ゲイン調整後の補正オーディオ信号 $u_d[n]$ をスピーカ 1 3 に供給する。

【 0 1 7 4 】

ステップ S 1 7 においてスピーカ 1 3 は、増幅部 1 2 から供給された補正オーディオ信号 $u_d[n]$ に基づいて駆動することで音を出力し、再生処理は終了する。オーディオ再生システムでは、以上において説明した処理が入力オーディオ信号のサンプルごとに行われる。

【 0 1 7 5 】

以上のようにしてオーディオ再生システムは、非線形予測により変位 $x[n]$ を求めるとともに、その変位 $x[n]$ に対応する補正サンプル数 x に基づいて、2 次以上の多項式でのラグランジュ補間を行うことで補正オーディオ信号 $u_d[n]$ を求める。このようにすることで、よりドップラー歪を低減させ、高品質な音響再生を実現することができる。

【 0 1 7 6 】

なお、以上においてはスピーカシステム、すなわちスピーカ 1 3 が密閉型である場合を例として説明したが、これに限らずバスレフ型やパッシブラジエータ型など、どのようなスピーカであっても本技術を適用することが可能である。

【 0 1 7 7 】

例えばスピーカ 1 3 がバスレフ型のスピーカである場合、そのスピーカ 1 3 の等価回路は、図 1 8 に示すようになる。

【 0 1 7 8 】

図 1 8 の例では、図中、左側の回路が電気系の等価回路を示しており、図中、右側が機械系の等価回路を示している。図 1 8 における各文字は TS パラメータと呼ばれている各パラメータを示しており、これらの TS パラメータは図 6 における場合と同様である。

【 0 1 7 9 】

また、例えばスピーカ 1 3 がパッシブラジエータ型である場合、そのスピーカ 1 3 の等価回路は、図 1 9 に示すようになる。

【 0 1 8 0 】

図 1 9 の例では、図中、左側の回路が電気系の等価回路を示しており、図中、右側が機械系の等価回路を示している。図 1 9 における各文字は TS パラメータと呼ばれている各パラメータを示しており、これらの TS パラメータは図 6 における場合と同様である。

【 0 1 8 1 】

これらの図 1 8 や図 1 9 に示した例においても、スピーカ 1 3 の等価回路に基づいてデジタルフィルタ化を行うことで得られる変位予測のためのフィルタを用いれば、非線形予測により変位 $x[n]$ を求めることができる。

【 0 1 8 2 】

第 2 の実施の形態

オーディオ再生システムの構成例

さらに、以上においては図 4 に示したようにソース信号である入力オーディオ信号をスピーカ変位予測部 2 1 の入力とする例について説明したが、ドップラー歪補正後の補正オーディオ信号を入力としてもよい。

【 0 1 8 3 】

そのような場合、オーディオ再生システムは、図 2 0 に示すように構成される。なお、図 2 0 において図 4 における場合と対応する部分には同一の符号を付してあり、その説明は適宜省略する。

10

20

30

40

50

【 0 1 8 4 】

図 2 0 に示すオーディオ再生システムは、信号処理装置 1 1、増幅部 1 2、およびスピーカ 1 3 を有しており、信号処理装置 1 1 はスピーカ変位予測部 2 1 およびドップラー歪補正部 2 2 を有している。

【 0 1 8 5 】

また、図示は省略されているが、スピーカ変位予測部 2 1 は増幅部 3 1 およびフィルタ部 3 2 を有しており、ドップラー歪補正部 2 2 は遅延部 1 2 1 - 1 乃至遅延部 1 2 1 - 4、変換部 1 5 1、および補間処理部 1 5 2 を有している。

【 0 1 8 6 】

このオーディオ再生システムは、ドップラー歪補正部 2 2 から出力される補正オーディオ信号がスピーカ変位予測部 2 1 に入力される点で図 4 に示したオーディオ再生システムと異なり、その他の点では図 4 のオーディオ再生システムと同じとなっている。

10

【 0 1 8 7 】

したがって、図 2 0 に示すオーディオ再生システムでは、スピーカ変位予測部 2 1 の増幅部 3 1 は、ドップラー歪補正部 2 2 の補間処理部 1 5 2 から供給された補正オーディオ信号を増幅部 1 2 でのアンプゲインにより増幅させてフィルタ部 3 2 に供給する。

【 0 1 8 8 】

フィルタ部 3 2 は、増幅部 3 1 から供給された補正オーディオ信号をフィルタリングすることにより非線形予測を行い、その予測結果として得られた変位をドップラー歪補正部 2 2 の変換部 1 5 1、より詳細には変換部 1 5 1 の遅延部 1 6 1 - 1 に供給する。

20

【 0 1 8 9 】

このように、図 2 0 に示す構成とする場合においても、図 4 における場合と同様に、ドップラー歪を低減させ、高品質な音響再生を実現することができる。

【 0 1 9 0 】

なお、以上の第 1 の実施の形態および第 2 の実施の形態においては、スピーカ 1 3 がフルレンジスピーカである場合を例として説明を行ったが、マルチウェイのミッドスピーカやウーファなどに対しても本技術は適用可能である。

【 0 1 9 1 】

例えばスピーカ 1 3 がマルチウェイのミッドスピーカやウーファである場合、帯域分割フィルタが 12dB/Oct などの緩やかな特性であるときには、少ないながらもドップラー歪の影響が生じる高域も再生される。そこで本技術を適用し、ドップラー歪補正を行うことで、マルチウェイのスピーカ等から放射される音の音質が改善される。

30

【 0 1 9 2 】

コンピュータの構成例

ところで、上述した一連の処理は、ハードウェアにより実行することもできるし、ソフトウェアにより実行することもできる。一連の処理をソフトウェアにより実行する場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、コンピュータにインストールされる。ここで、コンピュータには、専用のハードウェアに組み込まれているコンピュータや、各種のプログラムをインストールすることで、各種の機能を実行することが可能な、例えば汎用のパーソナルコンピュータなどが含まれる。

40

【 0 1 9 3 】

図 2 1 は、上述した一連の処理をプログラムにより実行するコンピュータのハードウェアの構成例を示すブロック図である。

【 0 1 9 4 】

コンピュータにおいて、CPU (Central Processing Unit) 5 0 1、ROM (Read Only Memory) 5 0 2、RAM (Random Access Memory) 5 0 3 は、バス 5 0 4 により相互に接続されている。

【 0 1 9 5 】

バス 5 0 4 には、さらに、入出力インターフェース 5 0 5 が接続されている。入出力インターフェース 5 0 5 には、入力部 5 0 6、出力部 5 0 7、記録部 5 0 8、通信部 5 0 9

50

、及びドライブ 5 1 0 が接続されている。

【 0 1 9 6 】

入力部 5 0 6 は、キーボード、マウス、マイクロホン、撮像素子などよりなる。出力部 5 0 7 は、ディスプレイ、スピーカなどよりなる。記録部 5 0 8 は、ハードディスクや不揮発性のメモリなどよりなる。通信部 5 0 9 は、ネットワークインターフェースなどよりなる。ドライブ 5 1 0 は、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、又は半導体メモリなどのリムーバブル記録媒体 5 1 1 を駆動する。

【 0 1 9 7 】

以上のように構成されるコンピュータでは、CPU 5 0 1 が、例えば、記録部 5 0 8 に記録されているプログラムを、入出力インターフェース 5 0 5 及びバス 5 0 4 を介して、RAM 5 0 3 にロードして実行することにより、上述した一連の処理が行われる。

10

【 0 1 9 8 】

コンピュータ (CPU 5 0 1) が実行するプログラムは、例えば、パッケージメディア等としてのリムーバブル記録媒体 5 1 1 に記録して提供することができる。また、プログラムは、ローカルエリアネットワーク、インターネット、デジタル衛星放送といった、有線または無線の伝送媒体を介して提供することができる。

【 0 1 9 9 】

コンピュータでは、プログラムは、リムーバブル記録媒体 5 1 1 をドライブ 5 1 0 に装着することにより、入出力インターフェース 5 0 5 を介して、記録部 5 0 8 にインストールすることができる。また、プログラムは、有線または無線の伝送媒体を介して、通信部 5 0 9 で受信し、記録部 5 0 8 にインストールすることができる。その他、プログラムは、ROM 5 0 2 や記録部 5 0 8 に、あらかじめインストールしておくことができる。

20

【 0 2 0 0 】

なお、コンピュータが実行するプログラムは、本明細書で説明する順序に沿って時系列に処理が行われるプログラムであっても良いし、並列に、あるいは呼び出しが行われたとき等の必要なタイミングで処理が行われるプログラムであっても良い。

【 0 2 0 1 】

また、本技術の実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本技術の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

【 0 2 0 2 】

例えば、本技術は、1つの機能をネットワークを介して複数の装置で分担、共同して処理するクラウドコンピューティングの構成をとることができる。

30

【 0 2 0 3 】

また、上述のフローチャートで説明した各ステップは、1つの装置で実行する他、複数の装置で分担して実行することができる。

【 0 2 0 4 】

さらに、1つのステップに複数の処理が含まれる場合には、その1つのステップに含まれる複数の処理は、1つの装置で実行する他、複数の装置で分担して実行することができる。

【 0 2 0 5 】

さらに、本技術は、以下の構成とすることも可能である。

40

【 0 2 0 6 】

(1)

高域信号と低域信号が混合されたオーディオ信号に基づいて1つのスピーカにより音を再生する場合における前記スピーカの振動板の変位を、前記オーディオ信号に基づいて予測する変位予測部と、

前記予測により得られた前記変位および音速に基づいて求められる補正時間に基づいて、前記オーディオ信号の3以上のサンプルを用いた補間処理により、前記オーディオ信号に対して時間方向の補正を行う補正部と

を備える信号処理装置。

50

(2)

前記変位予測部は、非線形予測により前記変位を求める

(1) に記載の信号処理装置。

(3)

前記変位予測部は、多項式近似による前記非線形予測を行う

(2) に記載の信号処理装置。

(4)

前記補正時間は、前記オーディオ信号の遅延時間であり、前記振動板が前方に動く場合、前記補正時間は増加し、前記振動板が後方に動く場合、前記補正時間は減少する

(1) 乃至 (3) の何れか一項に記載の信号処理装置。

10

(5)

前記補正部は、前記予測により得られた前記変位、前記音速、および前記オーディオ信号のサンプリング周波数に基づいて、前記補正時間のサンプル数を算出し、前記サンプル数に基づいて前記補間処理を行う

(1) 乃至 (4) の何れか一項に記載の信号処理装置。

(6)

前記補正部は、小数点以下の値を含む前記サンプル数を算出する

(5) に記載の信号処理装置。

(7)

前記補正部は、前記補間処理により前記オーディオ信号のサンプル値を補正することにより、前記時間方向の補正を行う

(1) 乃至 (6) の何れか一項に記載の信号処理装置。

20

(8)

前記補間処理は、ラグランジュ補間、ニュートン補間、またはスプライン補間である

(1) 乃至 (7) の何れか一項に記載の信号処理装置。

(9)

前記変位予測部は、前記補間処理により得られたオーディオ信号に基づいて、前記変位を予測する

(1) 乃至 (8) の何れか一項に記載の信号処理装置。

(1 0)

信号処理装置が、

高域信号と低域信号が混合されたオーディオ信号に基づいて1つのスピーカにより音を再生する場合における前記スピーカの振動板の変位を、前記オーディオ信号に基づいて予測し、

前記予測により得られた前記変位および音速に基づいて求められる補正時間に基づいて、前記オーディオ信号の3以上のサンプルを用いた補間処理により、前記オーディオ信号に対して時間方向の補正を行う

信号処理方法。

(1 1)

高域信号と低域信号が混合されたオーディオ信号に基づいて1つのスピーカにより音を再生する場合における前記スピーカの振動板の変位を、前記オーディオ信号に基づいて予測し、

前記予測により得られた前記変位および音速に基づいて求められる補正時間に基づいて、前記オーディオ信号の3以上のサンプルを用いた補間処理により、前記オーディオ信号に対して時間方向の補正を行う

ステップを含む処理をコンピュータに実行させるプログラム。

【符号の説明】

【 0 2 0 7 】

1 1 信号処理装置, 1 2 増幅部, 1 3 スピーカ, 2 1 スピーカ変位予測部, 2 2 ドップラー歪補正部, 3 1 増幅部, 3 2 フィルタ部, 1 5 1 変換部, 1

40

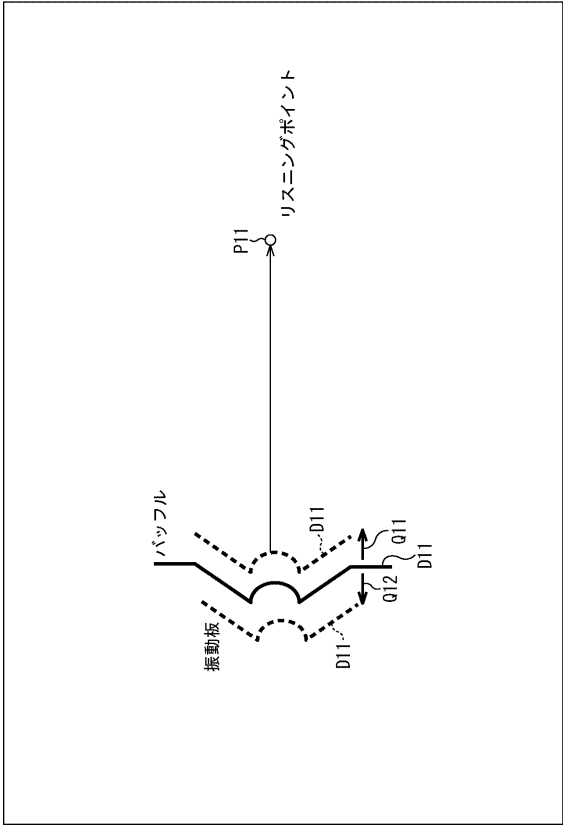
50

5 2 補間処理部

【図面】

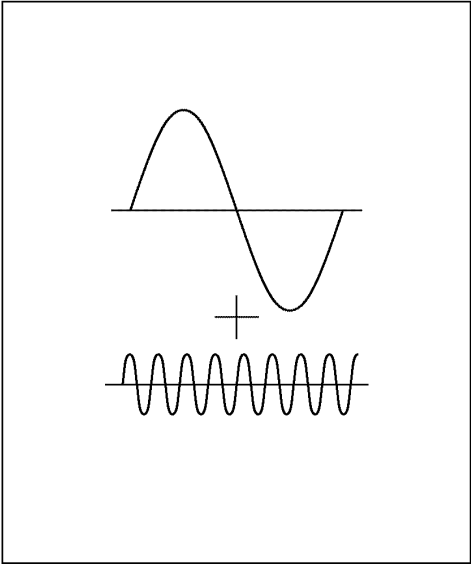
【図 1】

FIG. 1



【図 2】

FIG. 2



10

20

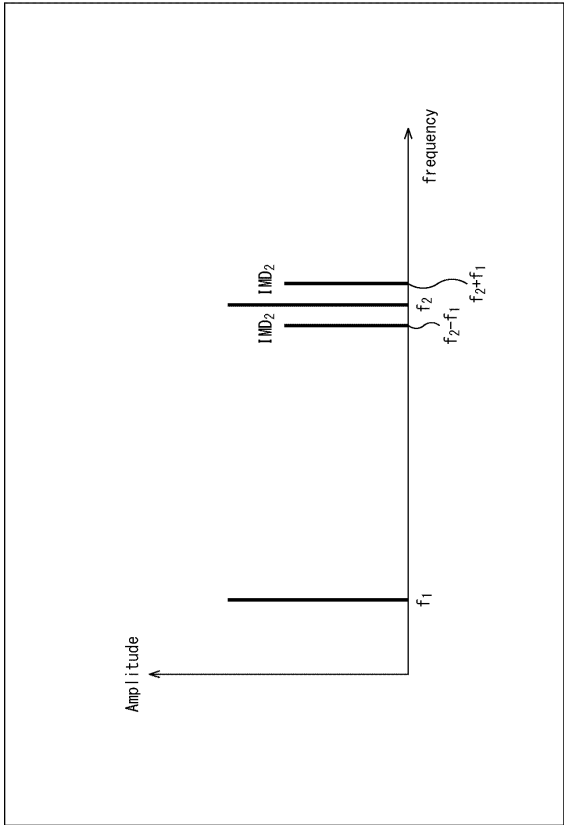
30

40

50

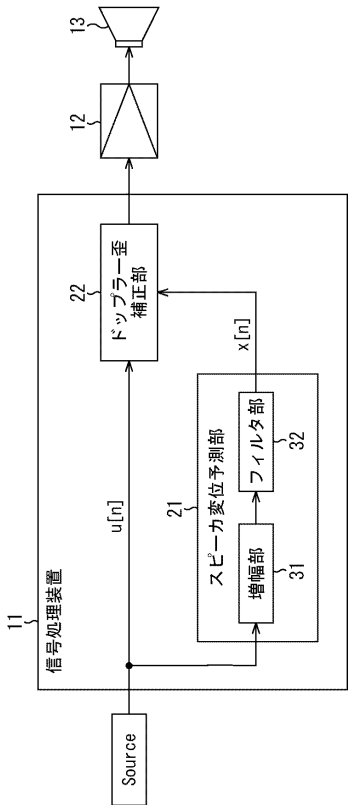
【図 3】

FIG. 3



【図 4】

FIG. 4

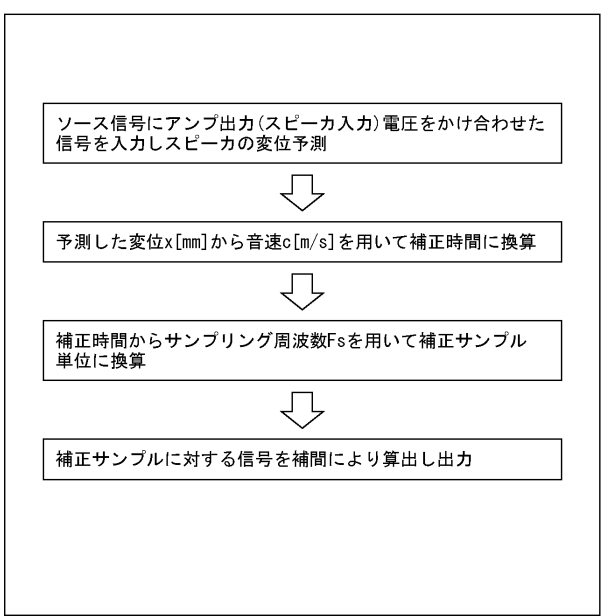


10

20

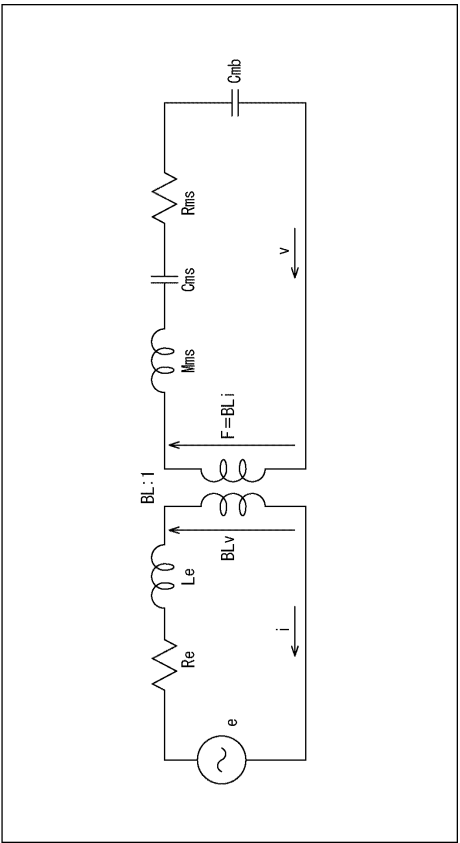
【図 5】

FIG. 5



【図 6】

FIG. 6



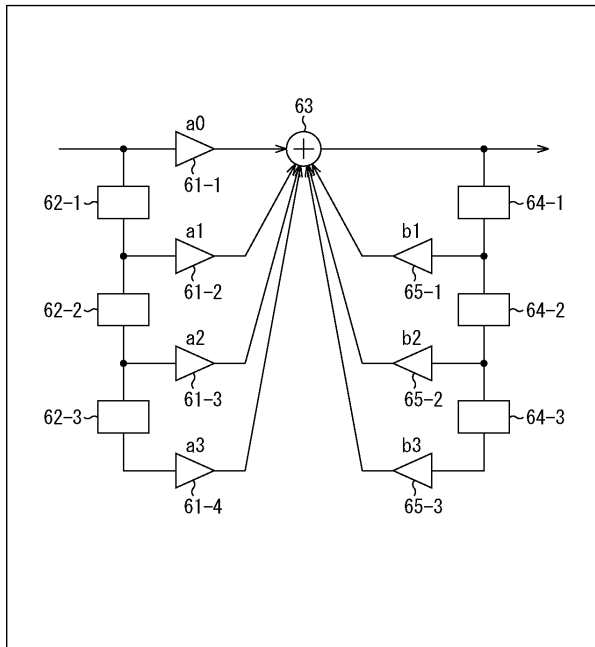
30

40

50

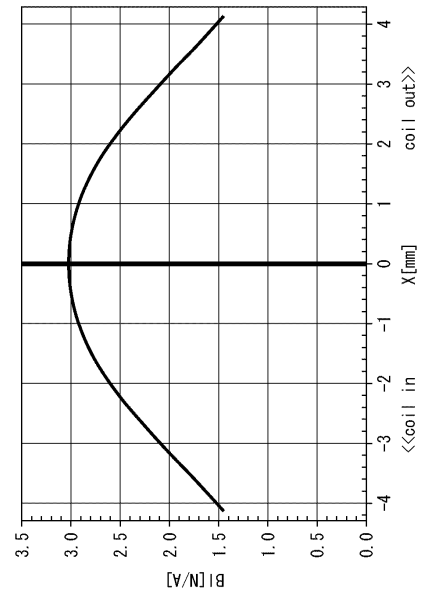
【圖 7】

FIG. 7



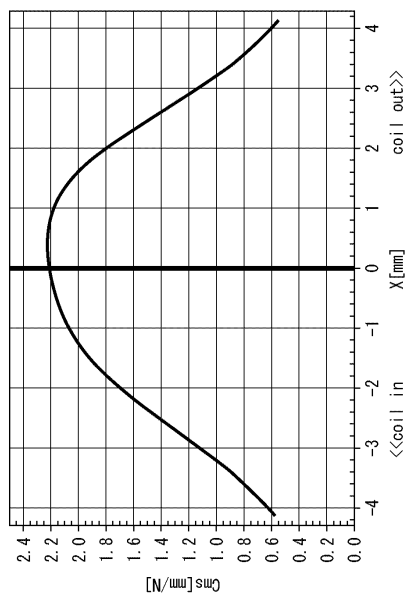
【圖 8】

FIG. 8



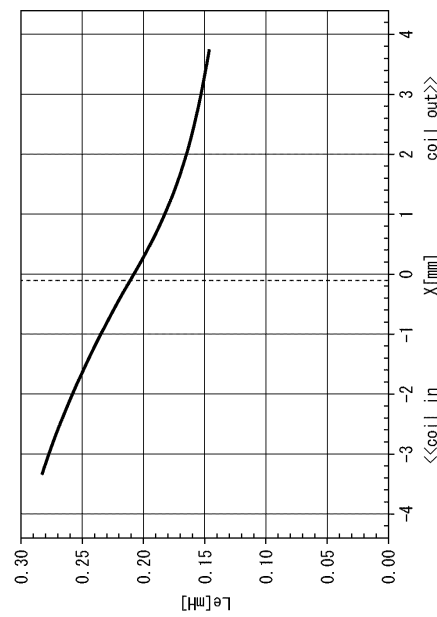
【 図 9 】

FIG. 9



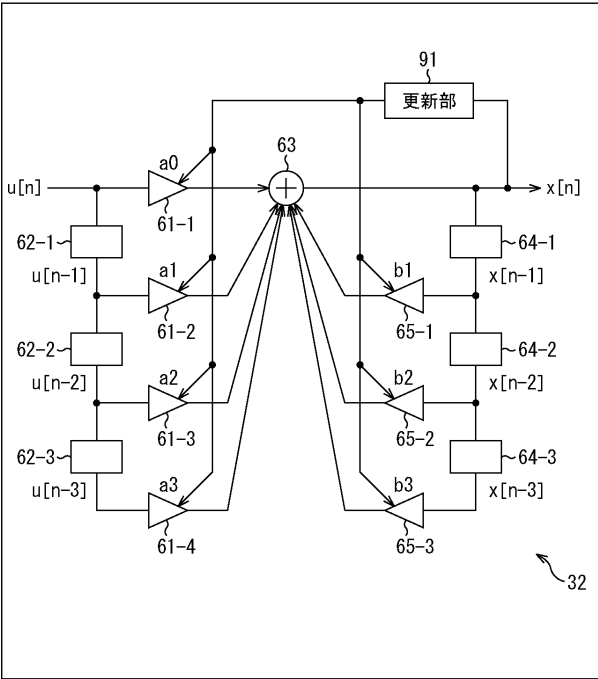
【 図 1 0 】

FIG. 10



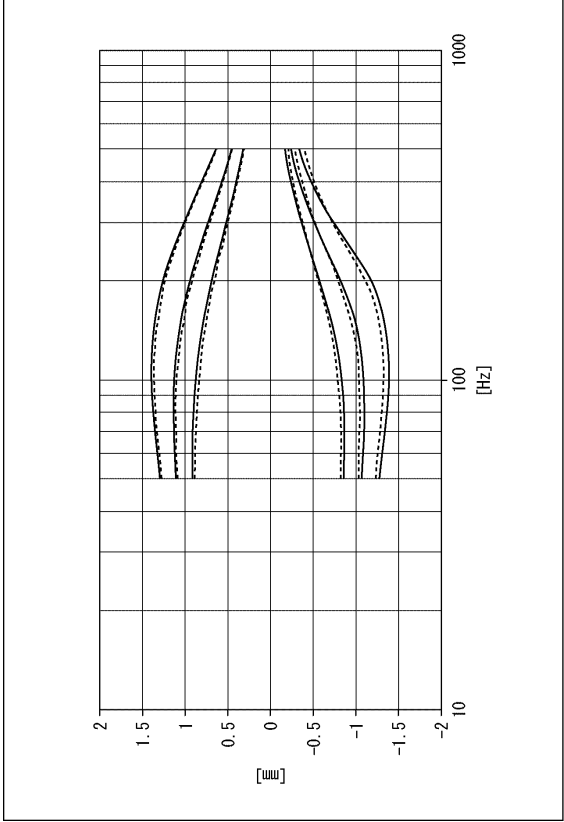
【図 1 1】

FIG. 11



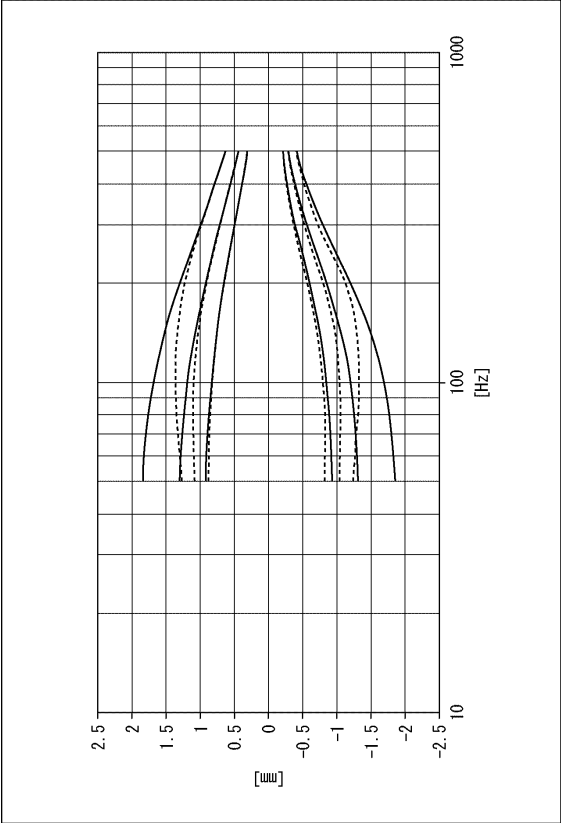
【図 1 2】

FIG. 12



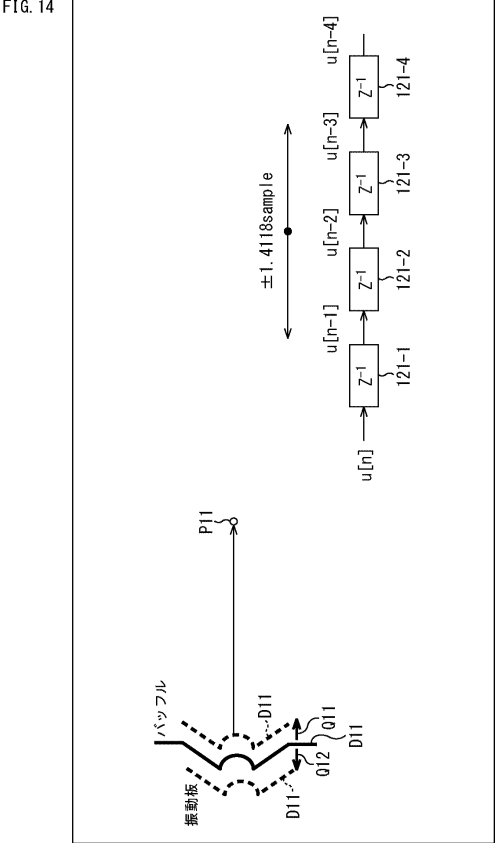
【図 1 3】

FIG. 13



【図 1 4】

FIG. 14



10

20

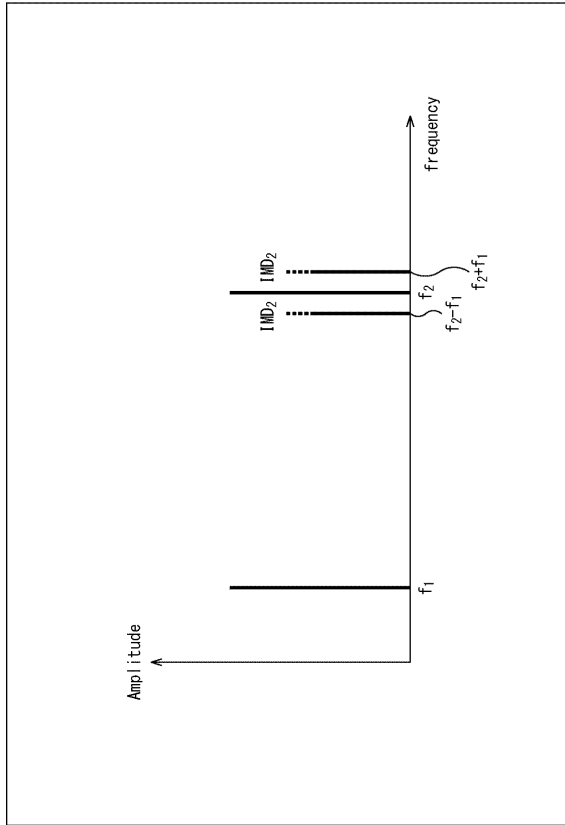
30

40

50

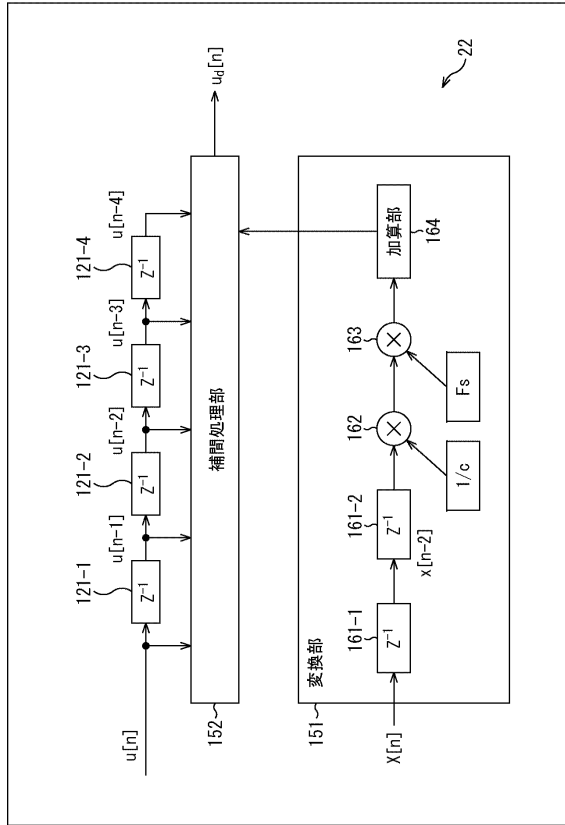
【図 15】

FIG. 15



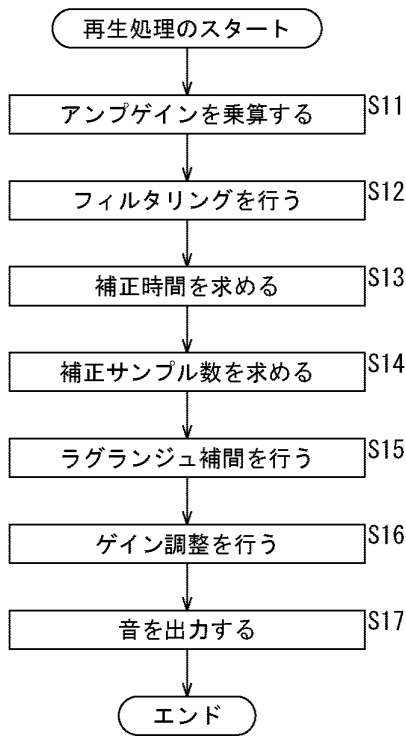
【図 16】

FIG. 16



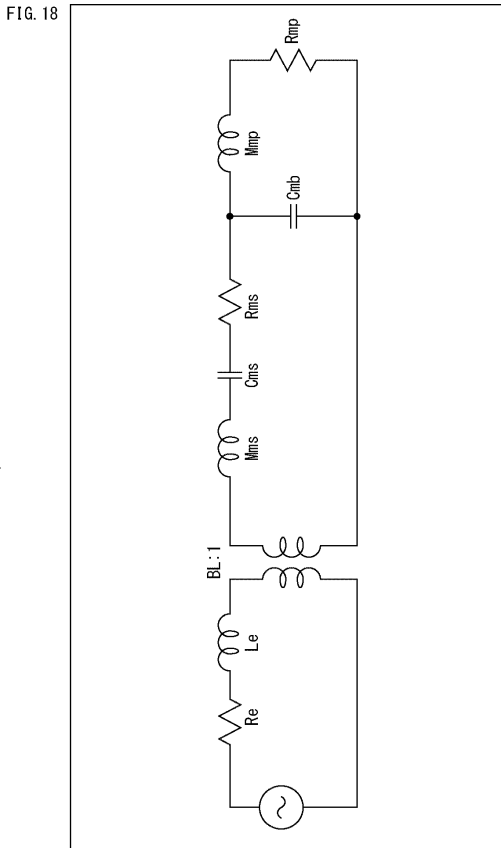
【図 17】

FIG. 17



【図 18】

FIG. 18



10

20

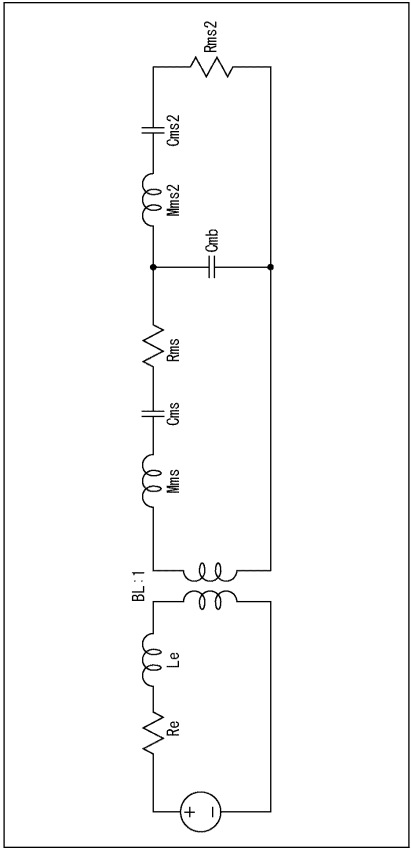
30

40

50

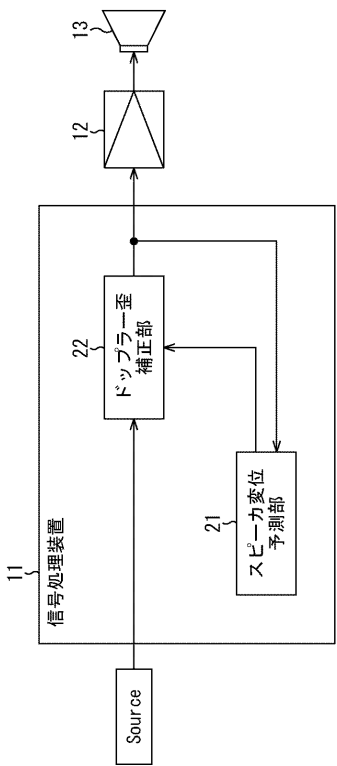
【図 19】

FIG. 19



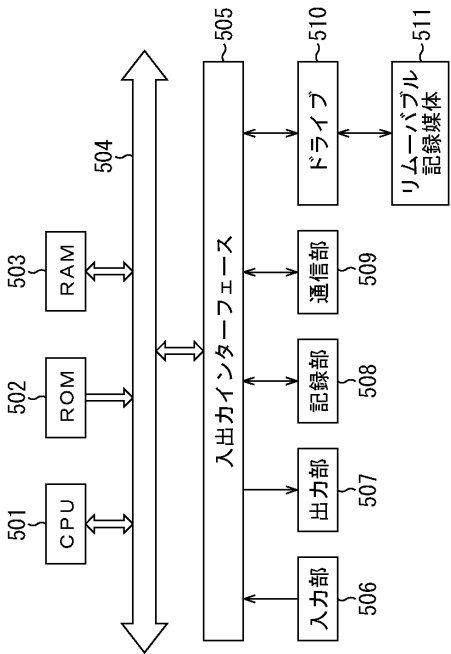
【図 20】

FIG. 20



【図 21】

FIG. 21



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 1 - 1 0 9 4 8 7 (J P , A)
 特開昭 5 5 - 1 4 1 8 9 2 (J P , A)
 特開 2 0 1 2 - 2 9 0 0 0 (J P , A)
 特開 2 0 1 9 - 1 4 0 6 6 0 (J P , A)
 特開 2 0 2 0 - 1 8 4 7 5 5 (J P , A)
 特開平 2 - 9 0 8 9 4 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
 H 0 4 R 3 / 0 0
 H 0 4 R 3 / 0 4