

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6337274号
(P6337274)

(45) 発行日 平成30年6月6日(2018.6.6)

(24) 登録日 平成30年5月18日(2018.5.18)

(51) Int.Cl. F I
G 1 O K 11/178 (2006.01) G 1 O K 11/178 1 4 0
B 6 O R 11/02 (2006.01) B 6 O R 11/02 S

請求項の数 8 (全 65 頁)

(21) 出願番号	特願2014-523581 (P2014-523581)	(73) 特許権者	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(86) (22) 出願日	平成25年6月25日(2013.6.25)	(74) 代理人	100106116 弁理士 鎌田 健司
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/003951	(74) 代理人	100170494 弁理士 前田 浩夫
(87) 国際公開番号	W02014/006846	(72) 発明者	谷 充博 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(87) 国際公開日	平成26年1月9日(2014.1.9)	(72) 発明者	舟山 敏之 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
審査請求日	平成28年6月20日(2016.6.20)		
(31) 優先権主張番号	特願2012-148243 (P2012-148243)		
(32) 優先日	平成24年7月2日(2012.7.2)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2012-215888 (P2012-215888)		
(32) 優先日	平成24年9月28日(2012.9.28)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 能動騒音低減装置および能動騒音低減方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

参照信号源と二次騒音源と誤差信号源と共に用いられるように構成された能動騒音低減装置であって、

前記参照信号源は騒音と相関のある参照信号を出力し、

前記二次騒音源は二次騒音信号に対応する二次騒音を発生し、

前記誤差信号源は前記二次騒音と前記騒音との干渉による残留音に対応する誤差信号を出力し、

前記能動騒音低減装置は、前記参照信号を受ける第一の入力端と前記誤差信号を受ける第二の入力端と前記二次騒音信号を出力する出力端とを有する信号処理装置を備え、

前記信号処理装置は、

前記参照信号に基づき前記二次騒音信号を出力する適応フィルタ部と、

前記出力端から前記第二の入力端までの音響伝達特性を模擬した模擬音響伝達特性で前記参照信号を補正して濾波参照信号を出力する模擬音響伝達特性フィルタ部と、

前記誤差信号と前記濾波参照信号とステップサイズパラメータとを用いて前記適応フィルタ部のフィルタ係数を更新する最小二乗平均演算部と、

前記ステップサイズパラメータを決定するμ調整部と、

を有し、

前記μ調整部は、

前記参照信号と前記濾波参照信号のうちの少なくとも1つの信号の振幅に相当する代表入

力値を算出し、

前記参照信号と前記濾波参照信号のうちの前記少なくとも1つの信号の振幅が所定の振幅であるときの代表入力値である基準代表入力値と、前記代表入力値が前記基準代表入力値である場合に前記フィルタ係数が収束する前記ステップサイズパラメータの値である所定の基準ステップサイズパラメータとを記憶し、

前記基準代表入力値の前記代表入力値に対する比を前記基準ステップサイズパラメータに乘じることにより前記ステップサイズパラメータを算出する、

ように動作することで前記騒音を低減する能動騒音低減装置。

【請求項2】

前記基準代表入力値は、前記参照信号と前記濾波参照信号のうちの前記少なくとも1つの信号の振幅の最大値に相当する、請求項1に記載の能動騒音低減装置。

10

【請求項3】

前記基準ステップサイズパラメータは、前記代表入力値が前記基準代表入力値である場合に前記フィルタ係数が収束する前記ステップサイズパラメータの値の最大値である、請求項1または2のいずれか一項に記載の能動騒音低減装置。

【請求項4】

前記基準ステップサイズパラメータに乘じる係数の上限値と下限値のうちの少なくとも一方の値が設定されている、請求項1から3のいずれか一項に記載の能動騒音低減装置。

【請求項5】

前記係数は固定小数点のフォーマットを有する前記信号処理装置のレジスタ上で表されるデジタル値であり、

20

前記 μ 調整部は前記係数の小数点の位置を変えることで前記係数の前記上限値と前記下限値のうちの前記少なくとも一方の値を設定する、請求項4に記載の能動騒音低減装置。

【請求項6】

前記能動騒音低減装置は空間を有する移動体に搭載されるように構成されており、

前記騒音は前記空間に生じ、

前記二次騒音源は前記空間で二次騒音を発生し、

前記残留音は前記空間で発生する、請求項1から5のいずれか一項に記載の能動騒音低減装置。

【請求項7】

30

騒音と相関のある参照信号を適応フィルタ部により処理して二次騒音信号を得るステップと、

前記参照信号を補正して濾波参照信号を得るステップと、

前記二次騒音信号に基づいて発生された二次騒音と前記騒音との干渉による残留音に対応する誤差信号と前記濾波参照信号とステップサイズパラメータとを用いて前記適応フィルタ部のフィルタ係数を更新するステップと、

を含み、

前記フィルタ係数を更新するステップは、

前記参照信号と前記濾波参照信号のうちの少なくとも1つの信号の振幅に相当する代表入力値を算出するステップと、

40

前記参照信号と前記濾波参照信号のうちの前記少なくとも1つの信号の振幅が所定の振幅であるときの代表入力値である基準代表入力値と、前記代表入力値が前記基準代表入力値である場合に前記フィルタ係数が収束する前記ステップサイズパラメータの値である所定の基準ステップサイズパラメータとを得るステップと、

前記基準代表入力値の前記代表入力値に対する比を前記基準ステップサイズパラメータに乘じることにより前記ステップサイズパラメータを算出するステップと、

前記濾波参照信号と前記算出されたステップサイズパラメータとを用いて前記適応フィルタ部のフィルタ係数を更新するステップと、

を含む能動騒音低減方法。

【請求項8】

50

前記基準代表入力値は、前記参照信号と前記濾波参照信号のうちの前記少なくとも1つの信号の振幅の最大値に相当する、請求項7に記載の能動騒音低減方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、騒音にキャンセル音を干渉させることでこの騒音を低減する能動騒音低減装置及び能動騒音低減方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、自動車等の車両の走行中に発生する騒音を車室内でキャンセルし、運転者や添乗者に聞こえる騒音を低減する能動騒音低減装置が実用化されてきている。図19は車両の車室等の空間S1で聞こえる騒音N0を低減する従来の能動騒音低減装置901のブロック図である。能動騒音低減装置901は、参照信号源1と二次騒音源2と誤差信号源3と信号処理装置904とを備える。

10

【0003】

参照信号源1は車両のシャーシに設置された加速度センサや空間S1に設置されたマイクロフォン等の振動を検出するセンサであり、騒音N0と相関のある参照信号x(i)を出力する。二次騒音源2は二次騒音N1を発生する空間S1に設置されるスピーカである。誤差信号源3は空間S1における騒音N0と二次騒音N1とが干渉した残留音に対応する誤差信号e(i)を出力する空間S1に設置されるマイクロフォンである。

20

【0004】

信号処理装置904は、適応フィルタ(以下、ADF)部5と、模擬音響伝達特性フィルタ(以下、Chat)部6と、最小二乗平均(以下、LMS)演算部7とを有し、サンプリング周期Tsの離散時間で動作する。

【0005】

ADF部5は、サンプリング周期Tsごとに値が更新されるN個のフィルタ係数w(k)、(ここで、k=0, 1, ..., N-1)からなる有限インパルス応答(以下、FIR)型の適応フィルタで構成される。現時点であるn番目のステップのフィルタ係数w(k, n)は、非特許文献1や非特許文献2に記載されているフィルタードX-LMS(以下、FXLMS)アルゴリズムにより更新される。ADF部5はフィルタ係数w(k, n)と参照信号x(i)を用いて現時点であるn番目のステップでの二次騒音信号y(n)を(数1)で示すフィルタリング演算すなわち畳み込み演算することにより求める。

30

【0006】

【数1】

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w(k, n) \cdot x(n-k)$$

【0007】

Chat部6は信号処理装置904の二次騒音信号y(i)を出力する出力端から誤差信号e(i)を取得する入力端の間の音響伝達特性C(i)を模擬した時不変のフィルタ係数C^からなるFIR型のフィルタを有している。Chat部6はフィルタ係数C^と参照信号x(i)とをフィルタリング演算すなわち畳み込み演算して得られる濾波参照信号r(i)を作成する。

40

【0008】

LMS演算部7は、現時点であるn番目のステップでの濾波参照信号R(n)と誤差信号e(n)とステップサイズパラメータμとを用いて、ADF部5の現時点でのフィルタ係数W(n)を(数2)のように更新し、次時点である次の(n+1)番目のステップでのフィルタ係数W(n+1)を求める。

【0009】

50

【数 2】

$$W(n+1) = W(n) - \mu \cdot e(n) \cdot R(n)$$

【0010】

ここで、ADF部5のフィルタ係数 $W(n)$ は現時点である n 番目のステップの N 個のフィルタ係数 $w(k, n)$ で構成される N 行1列のベクトルであり、(数3)で表す。

【0011】

【数 3】

$$W(n) = [w(0, n), w(1, n), \dots, w(N-1, n)]^T$$

10

【0012】

また、濾波参照信号 $R(n)$ は、現時点から $(N-1)$ 個のステップ分の過去までの N 個の濾波参照信号 $r(i)$ を表す N 行1列のベクトルである。

【0013】

能動騒音低減装置901は、(数2)によりサンプリング周期 T_s ごとにADF部5のフィルタ係数 $W(i)$ を更新することで、誤差信号源3の位置で騒音 $N0$ を打ち消す最適な二次騒音信号 $y(i)$ を求めることができ、空間 $S1$ 内で騒音 $N0$ を低減することができる。

20

【0014】

ステップサイズパラメータ μ はADF部5の1回あたりの更新量つまり収束速度を調整するパラメータであるとともに、適応動作の安定性を決定付ける重要なパラメータである。能動騒音低減装置901が安定して動作するためには、ステップサイズパラメータ μ を参照信号 $x(i)$ が最大の場合にもフィルタ係数 $W(i)$ が発散しない値に設定する必要がある。フィルタ係数 $W(i)$ が収束するためのステップサイズパラメータ μ の条件は非特許文献3などに記載されている(数4)である。

【0015】

【数 4】

$$0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{MAX}}$$

30

【0016】

ここで、 λ_{MAX} は濾波参照信号 $R(n)$ の自己相関行列の最大固有値である。 $F \times L$ MSアルゴリズムを用いた一般的な能動騒音低減装置901において、ステップサイズパラメータ μ の値は、(数4)を基に参照信号と騒音のレベル変動を考慮して決定される。通常は安定性が優先されるため、ある程度の余裕を見てステップサイズパラメータ μ を小さめの値に設定する場合が多い。

【0017】

しかし、ステップサイズパラメータ μ を小さく設定すると1ステップごとのフィルタ係数 $W(i)$ の更新量が小さくなり、騒音 $N0$ を十分に低減する効果を得るのに時間を要する。

40

【0018】

このため、残差や収束量に応じてステップサイズパラメータ μ を求める特許文献1~3等に、ステップサイズパラメータ μ を固定せずに可変にすることでフィルタ係数 $W(i)$ を早く収束させるいくつかの従来の能動騒音低減装置が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0019】

50

- 【特許文献1】特開2004-64681号公報
 【特許文献2】特開平6-130970号公報
 【特許文献3】特開平8-179782号公報
 【特許文献4】特開2001-142468号公報
 【特許文献5】特開平10-307590号公報

【非特許文献】

【0020】

【非特許文献1】Barnard Widrow & Samuel D. Stearns 著、「ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING」、Prentice Hall、1985年(P288)

10

【非特許文献2】P. A. Nelson & S. J. Elliott 著、「Active Control of Sound」、Academic Press、1992年(P196)

【非特許文献3】Scott D. Snyder & Colin H. Hansen 著、「The Effect of Transfer Function Estimation Errors on the Filtered-X LMS Algorithm」、IEEE、TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING、vol. 42、No. 4、APRIL、1994年

【発明の概要】

【0021】

20

能動騒音低減装置は、参照信号源と二次騒音源と誤差信号源と共に用いられるように構成されている。参照信号源は騒音と相関のある参照信号を出力する。二次騒音源は二次騒音信号に対応する二次騒音を発生する。誤差信号源は二次騒音と騒音との干渉による残留音に対応する誤差信号を出力する。能動騒音低減装置は、参照信号を受ける第一の入力端と誤差信号を受ける第二の入力端と二次騒音信号を出力する出力端とを有する信号処理装置を備える。信号処理装置は、適応フィルタ部と、模擬音響伝達特性フィルタ部と、最小二乗平均演算部と、 μ 調整部とを有する。適応フィルタ部は、参照信号に基づき二次騒音信号を出力する。模擬音響伝達特性フィルタ部は、出力端から第二の入力端までの音響伝達特性を模擬した模擬音響伝達特性で参照信号を補正して濾波参照信号を出力する。最小二乗平均演算部は、誤差信号と濾波参照信号とステップサイズパラメータとを用いて適応フィルタ部のフィルタ係数を更新する。 μ 調整部は、ステップサイズパラメータを決定する。 μ 調整部は、参照信号と濾波参照信号のうちの少なくとも1つの信号の振幅に相当する代表入力値を算出するように動作する。また、 μ 調整部は、参照信号と濾波参照信号のうちの少なくとも1つの信号の振幅が所定の振幅であるときの代表入力値である基準代表入力値と、代表入力値が基準代表入力値である場合にフィルタ係数が収束するステップサイズパラメータの値である所定の基準ステップサイズパラメータとを記憶するように動作する。また、 μ 調整部は、基準代表入力値の代表入力値に対する比を基準ステップサイズパラメータに乗じることによりステップサイズパラメータを算出するように動作する。上記構成によりこの能動騒音低減装置は騒音を低減する。

30

【0022】

40

また、他の能動騒音低減装置は二次騒音源と誤差信号源と共に用いられるように構成されている。二次騒音源は二次騒音信号に対応する二次騒音を発生する。誤差信号源は二次騒音と騒音との干渉による残留音に対応する誤差信号を出力する。その能動騒音低減装置は、誤差信号を受ける入力端と二次騒音信号を出力する出力端とを有する信号処理装置を備える。信号処理装置は、適応フィルタ部と、模擬音響伝達特性フィルタ部と、最小二乗平均演算部と、 μ 調整部とを有する。適応フィルタ部は、参照信号に基づき二次騒音信号を出力する。模擬音響伝達特性フィルタ部は、出力端から入力端までの音響伝達特性を模擬した模擬音響伝達特性で参照信号を補正して濾波参照信号を出力する。最小二乗平均演算部は、誤差信号と濾波参照信号とステップサイズパラメータとを用いて適応フィルタ部のフィルタ係数を更新する。 μ 調整部は、ステップサイズパラメータを決定する。 μ 調整

50

部は、濾波誤差信号と誤差信号のうちの少なくとも1つの信号の振幅に相当する代表入力値を算出するように動作する。 μ 調整部は、濾波誤差信号と誤差信号のうちの少なくとも1つの信号の振幅が所定の振幅であるときの代表入力値である基準代表入力値と、代表入力値が基準代表入力値である場合にフィルタ係数が収束するステップサイズパラメータの値である所定の基準ステップサイズパラメータとを記憶するように動作する。 μ 調整部は、基準代表入力値の代表入力値に対する比を基準ステップサイズパラメータに乗じることによりステップサイズパラメータを算出するように動作することで騒音を低減する。

【0023】

また、能動騒音低減方法は上記の動作で騒音を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0024】

【図1】図1は本発明の実施の形態1における能動騒音低減装置のブロック図である。

【図2】図2は実施の形態1における能動騒音低減装置が搭載された移動体の概略図である。

【図3】図3は比較例の能動騒音低減装置のフィルタ係数の収束特性を示す図である。

【図4】図4は他の比較例の能動騒音低減装置のフィルタ係数の収束特性を示す図である。

【図5】図5は比較例の能動騒音低減装置のフィルタ係数の収束特性を示す図である。

【図6】図6は実施の形態1における能動騒音低減装置のフィルタ係数の収束特性を示す図である。

20

【図7】図7は実施の形態1における能動騒音低減装置のフィルタ係数の収束特性を示す図である。

【図8】図8は実施の形態1における他の能動騒音低減装置のブロック図である。

【図9】図9は本発明の実施の形態2における能動騒音低減装置のブロック図である。

【図10】図10は実施の形態2における能動騒音低減装置が搭載された移動体の概略図である。

【図11】図11は実施の形態2における他の能動騒音低減装置のブロック図である。

【図12】図12は本発明の実施の形態3における能動騒音低減装置のブロック図である。

【図13】図13は実施の形態3における能動騒音低減装置が搭載された移動体の概略図である。

30

【図14】図14は本発明の実施の形態4における能動騒音低減装置のブロック図である。

【図15】図15は実施の形態4における能動騒音低減装置が搭載された移動体の概略図である。

【図16】図16は本発明の実施の形態4における特別な場合の能動騒音低減装置のブロック図である。

【図17】図17は本発明の実施の形態5における能動騒音低減装置のブロック図である。

【図18】図18は本発明の実施の形態6における能動騒音低減装置のブロック図である

40

【図19】図19は従来の能動騒音低減装置のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

(実施の形態1)

図1は本発明の実施の形態1における能動騒音低減装置101のブロック図である。図2は能動騒音低減装置101が搭載された移動体102の概略図である。実施の形態1における移動体102は車室等の空間S1を有する車両である。能動騒音低減装置101は参照信号源1と二次騒音源2と誤差信号源3と信号処理装置4とで構成される。信号処理装置4が参照信号 $x(i)$ と誤差信号 $e(i)$ とに応じて二次騒音信号 $y(i)$ を出力す

50

る。二次騒音源 2 が二次騒音信号 $y(i)$ を再生して発生させる二次騒音 $N1$ を空間 $S1$ 内に生じている騒音 $N0$ に干渉させることによって騒音 $N0$ を低減する。

【0026】

参照信号源 1 は騒音 $N0$ と相関のある参照信号 $x(i)$ を出力するトランスデューサであり、移動体 102 のシャーシに設置されている。すなわち、参照信号源 1 は参照信号 $x(i)$ を発生する参照信号生成部として機能するトランスデューサであり、参照信号源 1 はエンジン、車軸、タイヤ、タイヤハウス、ナックル、アーム、サブフレーム、ボディーなど騒音 $N0$ の騒音源あるいは騒音伝達経路に設置されてもよく、振動や音を検出する加速度センサやマイクロフォン等を用いることができ、エンジンに対するタコパルスなど騒音源の動作に関連する信号を用いてもよい。

10

【0027】

二次騒音源 2 は二次騒音信号 $y(i)$ を出力して二次騒音 $N1$ を発生させるトランスデューサであり、空間 $S1$ 内に設置されるスピーカを用いることができる。二次騒音源 2 は移動体 102 のルーフ等の構造物に設置したアクチュエータ等でもよく、この場合アクチュエータの出力によって加振された構造物から放射される音が二次騒音 $N1$ にあたる。また、二次騒音源 2 は一般に二次騒音信号 $y(i)$ を増幅する電力増幅部を有するか、外部に設けた電力増幅器によって増幅された二次騒音信号 $y(i)$ によって駆動されることが多い。実施の形態 1 では電力増幅部は二次騒音源 2 に含まれるが、これは実施の形態を制限するものではない。

【0028】

20

誤差信号源 3 は空間 $S1$ における騒音 $N0$ と二次騒音 $N1$ とが干渉した残留音を検出し、残留音に対応する誤差信号 $e(i)$ を出力するマイクロフォン等のトランスデューサであり、騒音 $N0$ を低減する空間 $S1$ 内に設置されることが望ましい。

【0029】

信号処理装置 4 は、参照信号 $x(i)$ を取得する入力端 41 と誤差信号 $e(i)$ を取得する入力端 43 と、二次騒音信号 $y(i)$ を出力する出力端 42 と参照信号 $x(i)$ と誤差信号 $e(i)$ とを元に二次騒音信号 $y(i)$ を算出する演算部とを有する。入力端 41、43 および出力端 42 は低域通過フィルタ等のフィルタ部や信号の振幅や位相を調整する信号調整器を含んでもよい。演算部はサンプリング周期 T_s の離散時間で動作するマイコンや DSP などの演算装置であり、少なくとも適応フィルタ(以下、ADF)部 5 と模擬音響伝達特性フィルタ(以下、Chat)部 6 と最小二乗平均(以下、LMS)演算部 7 とステップサイズパラメータを算出する μ 調整部 8 とを有する。

30

【0030】

ADF 部 5 はフィルタード $X-LMS$ (以下、 $FxLMS$) アルゴリズムによりサンプリング周期 T_s ごとに値が更新される N 個のフィルタ係数 $w(k)$ 、($k=0, 1, \dots, N-1$) からなる有限インパルス応答(以下、FIR)フィルタで構成される。ADF 部 5 は、現時点である n 番目のステップにおける二次騒音信号 $y(n)$ をフィルタ係数 $w(k, n)$ と参照信号 $x(i)$ を(数 5)で示すフィルタリング演算すなわち畳み込み演算することにより求める。

【0031】

40

【数 5】

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w(k, n) \cdot x(n-k)$$

【0032】

Chat 部 6 は出力端 42 と誤差信号 $e(i)$ の入力端 43 との間の音響伝達特性 $C(i)$ を模擬したフィルタの係数 $C^{\wedge}(i)$ を有している。音響伝達特性 $C(i)$ には出力端 42 と誤差信号 $e(i)$ の入力端 43 の間での二次騒音源 2 の特性や空間 $S1$ の音響特性に加えて、出力端 42 と入力端 43 に含まれるフィルタの特性やデジタルアナログ変

50

換およびアナログデジタル変換による信号の遅延を内包してもよい。実施の形態1ではChat部6は N_c 個の時不変なフィルタ係数 $c^{\wedge}(k_c)$ 、($k_c = 0, 1, \dots, N_c - 1$)からなるFIRフィルタで構成する。Chat部6の N_c 行1列のベクトルであるフィルタ係数 C^{\wedge} を(数6)で表現する。

【0033】

【数6】

$$C^{\wedge} = [c^{\wedge}(0), c^{\wedge}(1), \dots, c^{\wedge}(N_c - 1)]^T$$

【0034】

10

Chat部6は特許文献4や特許文献5などの手法によって更新あるいは補正される時変なフィルタ係数 $c^{\wedge}(k_c, n)$ とすることもできる。

【0035】

Chat部6は(数6)に示すフィルタ係数 C^{\wedge} と参照信号 $X(n)$ とを(数7)で示すフィルタリング演算すなわち畳み込み演算して得られる濾波参照信号 $r(n)$ を作成する。

【0036】

【数7】

$$r(n) = \sum_{k_c=0}^{N_c-1} c^{\wedge}(k_c) \cdot x(n - k_c) = C^{\wedge T} X(n)$$

20

【0037】

参照信号 $X(n)$ は現時点の n 番目のステップから($N_c - 1$)ステップ分過去までの N_c 個の参照信号 $x(i)$ からなる(数8)で表す N_c 行1列のベクトルである。

【0038】

【数8】

$$X(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n - (N_c - 1))]^T$$

30

【0039】

μ 調整部8は予め定めた基準となるステップサイズパラメータである所定の基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} と、参照信号 $x(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうち少なくとも1つの信号に基づき、現時点である n 番目のステップでのステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を出力する。

【0040】

LMS演算部7は、現時点である n 番目のステップでの濾波参照信号 $R(n)$ と誤差信号 $e(n)$ とステップサイズパラメータ $\mu(n)$ とを用いて、ADF部5のフィルタ係数 $W(n)$ をF×LMSアルゴリズムによって更新し、次の時点である($n+1$)番目のステップにおけるフィルタ係数 $W(n+1)$ を(数9)のように算出する。

40

【0041】

【数9】

$$W(n+1) = W(n) - \mu(n) \cdot e(n) \cdot R(n)$$

【0042】

ADF部5のフィルタ係数 $W(n)$ は現時点である n 番目のステップでの N 個のフィルタ係数 $w(k, n)$ 、($k = 0, 1, \dots, N - 1$)で構成される N 行1列のベクトルであり、(数10)で表す。

50

【 0 0 4 3 】

【 数 1 0 】

$$W(n) = [w(0, n), w(1, n), \dots, w(N-1, n)]^T$$

【 0 0 4 4 】

濾波参照信号 $R(n)$ は現時点である n 番目のステップから $(N-1)$ ステップ分過去までの N 個の濾波参照信号 $r(i)$ からなる N 行 1 列のベクトルであり、(数 1 1) で表す。

【 0 0 4 5 】

【 数 1 1 】

$$R(n) = [r(n), r(n-1), \dots, r(n-(N-1))]^T$$

【 0 0 4 6 】

以上のように、能動騒音低減装置 101 は(数 9)に基づいてサンプリング周期 T_s ごとに ADF 部 5 のフィルタ係数 $W(i)$ を更新することで、誤差信号源 3 の位置で騒音 N_0 を打ち消す最適な二次騒音信号 $y(i)$ を求めることができ、空間 S_1 内で騒音 N_0 を低減することができる。

【 0 0 4 7 】

以下に μ 調整部 8 の動作に関して詳しく説明する。ステップサイズパラメータ μ は LMS アルゴリズムによるフィルタ係数 $W(i)$ の収束特性を調整する重要なパラメータであり、一般に濾波参照信号 $r(i)$ の自己相関行列の固有値 $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{N_1-1})$ との関連で収束特性が議論される。適応動作が安定的に行われるすなわち平均二乗誤差が収束するためには、ステップサイズパラメータ μ と自己相関行列の最大固有値 λ_{MAX} が(数 1 2) の関係を満たす必要がある。

【 0 0 4 8 】

【 数 1 2 】

$$0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{MAX}}$$

【 0 0 4 9 】

特に、能動騒音低減装置 101 を移動体 102 に搭載する場合には、走行条件による騒音 N_0 の変化すなわち参照信号 $x(i)$ の変化に伴い濾波参照信号 $r(i)$ が時々刻々と変動する。いかなる走行条件の場合にもフィルタ係数 $W(i)$ が発散しない値に設定するためには、ステップサイズパラメータ μ が現時点である n 番目のステップで LMS 演算部 7 が用いる濾波参照信号 $R(n)$ の自己相関行列の最大固有値 $\lambda_{MAX}(n)$ に対して(数 1 2) を満たすことが必要となる。一般に、ステップサイズパラメータ μ には最大固有値 $\lambda_{MAX}(n)$ の最大値を予測し、その 10 分の 1 から 1000 分の 1 程度の値が選ばれる。一方でステップサイズパラメータ μ を小さく設定すると 1 ステップごとのフィルタ係数 $W(i)$ の更新量が小さくなり、収束速度が低くなる。なお、LMS アルゴリズムの収束速度の時定数は μ 分の 1 に比例する。これは、ステップサイズパラメータ μ を小さく設定すると走行条件による騒音 N_0 の変化に対して、騒音低減効果が追従しにくくなることを意味している。さらには騒音 N_0 が小さいような走行条件になるほどフィルタ係数 $W(i)$ の更新量が小さくなることから、不適当なフィルタ係数 $W(i)$ の改善が遅くなり、出力される二次騒音 N_1 により増音した状態が続いてしまう危険性も生じることとなる。そこで実施の形態 1 における能動騒音低減装置 101 では、 μ 調整部 8 はステップサイズパラメータ $\mu(i)$ をステップ毎に最適な値に調整している。

【 0 0 5 0 】

10

20

30

40

50

μ 調整部8は移動体102の基準となる走行条件における濾波参照信号 $r(i)$ である基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ の振幅を示す指標である基準代表入力値 d_{REF} と、基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を記憶する。さらに、 μ 調整部8は基準代表入力値 d_{REF} に対応する濾波参照信号 $r(i)$ の振幅を示す指標である代表入力値 $d(i)$ を求める。

【0051】

μ 調整部8は、記憶した基準代表入力値 d_{REF} と基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} と、代表入力値 $d(n)$ から n 番目のステップでのステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を算出する。

【0052】

まず、基準代表入力値 d_{REF} と基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を定める動作を説明する。実施の形態1では、濾波参照信号 $r(i)$ の振幅が最大となる走行条件を基準走行条件に設定する。濾波参照信号 $r(i)$ の振幅が最大となる走行条件は例えば移動体102が凹凸の大きい路面を走行するときである。基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ は、基準走行条件での移動体102の実際の走行実験や振動実験等の実験によって濾波参照信号 $r(i)$ を計測して求めてもよいし、CAEなどシミュレーションによって求めてもよい。基準代表入力値 d_{REF} は基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ に基づいた定数として与えられる。例えば基準代表入力値 d_{REF} は基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ の最大値として定義することができる。ここで、基準走行条件におけるある時点である l 番目のステップから $(N_1 - 1)$ ステップ分過去までの N_1 個の基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ からなる N_1 行1列のベクトルである基準濾波参照信号 R_{REF} を(数13)で定義する。

【0053】

【数13】

$$R_{REF} = [r_{REF}(1), r_{REF}(1-1), \dots, r_{REF}(1-(N_1-1))]^T$$

【0054】

また、基準代表入力値 d_{REF} は(数13)に示す基準濾波参照信号 R_{REF} に基づき、例えば(数14)で示す実効値や(数15)で示す平均値の二乗によって定数として与えてもよい。

【0055】

【数14】

$$d_{REF} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (r_{REF}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0056】

【数15】

$$d_{REF} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} |r_{REF}(l)| \right)^2$$

【0057】

基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} は基準代表入力値 d_{REF} を定めた基準走行条件での実験やシミュレーションによって予め決定することができる。例えば(数12)に基づいて基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を定める場合、基準濾波参照信号 R_{REF} の自己相関行列の最大固有値 $\lambda_{REF, MAX}$ により(数16)で表される。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 8 】

【数 1 6】

$$\mu_{\text{REF}} = \frac{2}{\lambda_{\text{REF,MAX}}}$$

【 0 0 5 9 】

次に、現時点である n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を求める動作について説明する。現時点の n 番目のステップから $(N_m - 1)$ ステップ分過去までの N_m 行 1 列のベクトルである (数 1 7) で示す濾波参照信号 $R_m(n)$ から代表入力値 $d(n)$ を算出する。

10

【 0 0 6 0 】

【数 1 7】

$$R_m(n) = [r(n), r(n-1), \dots, r(n-(N_m-1))]^T$$

【 0 0 6 1 】

ステップ数 N_m は基準濾波参照信号 R_{REF} のステップ数 N_1 と異なってもよいが一致させることが望ましい。代表入力値 $d(n)$ は基準代表入力値 d_{REF} と対応するパラメータとして定義され、基準代表入力値 d_{REF} が (数 1 4) で表される場合には (数 1 8) で求められ、(数 1 5) で定義される場合には (数 1 9) で求められる。

20

【 0 0 6 2 】

【数 1 8】

$$d(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (r(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【 0 0 6 3 】

【数 1 9】

$$d(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} |r(n-m)| \right)^2$$

30

【 0 0 6 4 】

現時点である n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu(n)$ は基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を基準代表入力値 d_{REF} に対する代表入力値 $d(n)$ の比で除算することにより (数 2 0) で求める。

【 0 0 6 5 】

【数 2 0】

40

$$\mu(n) = \mu_{\text{REF}} \cdot \frac{1}{\frac{d_{\text{REF}}}{d(n)}} = \mu_{\text{REF}} \cdot \frac{d_{\text{REF}}}{d(n)}$$

【 0 0 6 6 】

このように、 μ 調整部 8 がステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を決定することにより、参照信号 $x(i)$ が大きい場合でも ADF 部 5 のフィルタ係数 $W(i)$ が発散せずに能動

50

騒音低減装置 101 が安定して動作する。さらに、参照信号 $x(i)$ が小さい場合でもフィルタ係数 $W(i)$ の収束速度が高く、能動騒音低減装置 101 は効果的に騒音 N_0 を低減することができる。実際の動作では、例えば基準代表入力値 d_{REF} を (数 15)、代表入力値 $d(n)$ を (数 19) とする場合、 μ 調整部 8 は (数 21)、(数 22) のように時不変の定数部分をまとめて定数として記憶することで、演算量を低減することができる。

【0067】

【数 21】

$$\mu(n) = \mu_{REF} \cdot \frac{\left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} |r_{REF}(l)| \right)^2}{\left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} |r(n-m)| \right)^2} \quad 10$$

$$= \frac{N_m^2 \cdot \mu_{REF} \cdot d_{REF}}{\left(\sum_{k=m}^{N_m-1} |r(n-m)| \right)^2} = \frac{\alpha}{\left(\sum_{m=0}^{N_m-1} |r(n-m)| \right)^2} \quad 20$$

【0068】

【数 22】

$$\alpha = N_m^2 \cdot \mu_{REF} \cdot d_{REF}$$

【0069】

さらには、騒音 N_0 の変化が少ない走行条件においてはステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を毎ステップ更新せずとも所定の間隔で更新することで、演算負荷を軽減することもできる。加えて、 μ 調整部 8 は、複数の代表入力値 $d(i)$ と、その代表入力値 $d(i)$ ごとに (数 20) に基づいて算出された複数のステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の組み合わせデータテーブルを記憶してもよい。 μ 調整部 8 は、代表入力値 $d(n)$ の値に応じたステップサイズパラメータ $\mu(n)$ の値をデータテーブルから読み出すことで、ステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を短時間で調整できる。また、走行条件の変化が能動騒音低減装置 101 のサンプリング周期 T_s よりも緩やかな場合には、 μ 調整部 8 は現時点の n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を、現時点での濾波参照信号 $R_m(n)$ の代わりに現時点より前の濾波参照信号 $R_m(n - \cdot)$ 、(\cdot は正の整数) を使用して求めてもよい。

【0070】

図 19 に示す従来の能動騒音低減装置では、騒音が走行条件によって頻繁に変動するような場合には、騒音を打ち消す最適な二次騒音を出力するために、ADF 部のフィルタ係数を迅速に適応させる必要がある。しかしながら、ステップサイズパラメータを大きく設定すると適応フィルタが発散しやすくなる。また、残差や収束量に応じてステップサイズパラメータを算出する方法では、参照信号が小さいとフィルタ係数の更新が間に合わず、騒音を低減する効果が低下する。

【0071】

図 3 ~ 図 7 は様々な参照信号 $x(i)$ の振幅の値に対する能動騒音低減装置の ADF 部 5 のフィルタ係数 $W(i)$ の収束特性をシミュレーションした結果を示している。図 3 ~

30

40

50

図7において、横軸はステップを示し、縦軸は各ステップでのフィルタ係数 $W(i) = w(k, i)$ の二乗平均値の対数表記である。図3～図6は参照信号 $x(i)$ の振幅が a 、 $a \times 0.75$ 、 $a \times 0.5$ の場合のフィルタ係数 $W(i)$ の収束特性を示している。図3はステップサイズパラメータ μ が一定値である通常のLMSアルゴリズムを用いた比較例の能動騒音低減装置のフィルタ係数 $W(i)$ の収束特性を示す。図4は正規化LMS(以下、NLMS)アルゴリズムを用いた比較例の能動騒音低減装置のフィルタ係数 $W(i)$ の収束特性を、図5は特許文献3に記載されているロバスト可変ステップサイズ(以下、RVSS)アルゴリズムを用いた比較例の能動騒音低減装置のフィルタ係数 $W(i)$ の収束特性をそれぞれ示している。図4と図5の比較例の能動騒音低減装置は共に適応速度向上を目的としたアルゴリズムを用いた能動騒音低減装置である。

10

【0072】

図3に示すLMSアルゴリズムに対し、図4に示すNLMSアルゴリズムと図5に示すRVSSアルゴリズムは参照信号 $x(i)$ の振幅が小さい場合における収束速度の低下が抑えられている。図6に示す実施の形態1における能動騒音低減装置101は図4と図5に示す収束特性よりもさらに優れており、参照信号 $x(i)$ の振幅が小さい場合における収束速度の低下がほとんど見られない。

【0073】

図7は参照信号 $x(i)$ が振幅 $a \times 2$ を有する場合の各アルゴリズムにおけるADF部5のフィルタ係数 $W(i)$ の収束特性のシミュレーション結果を示す。図7の縦軸の目盛り線の間値は図3～図6のそれと同じである。図3から図7に示すように、LMSアルゴリズム、NLMSアルゴリズム、RVSSアルゴリズムを用いた比較例の能動騒音低減装置ではフィルタ係数 $W(i)$ が安定して成長していないが、実施の形態1における能動騒音低減装置101では参照信号 $x(i)$ の振幅が大きくなってもフィルタ係数の安定した収束特性を示している。

20

【0074】

このように実施の形態1における能動騒音低減装置101は、ADF部5の安定性の確保と高い収束速度とを両立できる。

【0075】

以上述べた方法では、 μ 調整部8は基準走行条件における基準代表入力値 d_{REF} と基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} と現在の走行状態を表す代表入力値 $d(n)$ に基づき、(数20)によってステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を算出する。しかし、移動体102によって異なる走行条件に応じた騒音 $N0$ ごとに最適な基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を設定するのは時間がかかる。加えて、信号処理装置4は一般に有限のビット数のフォーマットを有するレジスタ4Rで構成されるので、演算精度には制限がある。これらにより、濾波参照信号 $R_m(n)$ が著しく大きい場合にステップサイズパラメータ $\mu(n)$ がゼロになる可能性があり、この場合、騒音 $N0$ が大きいにもかかわらずフィルタ係数 $W(n)$ が更新されず、騒音 $N0$ が低減されないという不具合を生じる。また反対に濾波参照信号 $R_m(n)$ が極端に小さい場合には(数20)の分母に位置する代表入力値 $d(n)$ がゼロに近づくので、ステップサイズパラメータ $\mu(n)$ が過大になりフィルタ係数 $W(n)$ の収束が不安定になる。

30

40

【0076】

これを防ぐために、実施の形態1における能動騒音低減装置101では、代表入力値 $d(i)$ の算出結果およびステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の算出結果に上下限值を設定する。これらのパラメータの値は有限のビット数で構成されるフォーマットを有する信号処理装置4のレジスタ4R上で表されるデジタル値であり、特に固定小数点方式である場合には小数部分のビット数を変えることでこれらの値の上限値と下限値の少なくとも一方の値を設定することができる。例えば、代表入力値 $d(i)$ の演算結果を格納する16ビットのレジスタ4RをQ12フォーマットで使用した場合には、代表入力値 $d(i)$ の最大値は $7.999755859375 (= 2^3 - 2^{-12})$ であり、分解能は $0.000244140625 (= 2^{-12})$ であることから、(数20)において基準ステップ

50

サイズパラメータ μ_{REF} に乗じられる値は 0.125 ~ 4096 に制限される。さらにステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を格納する 16 ビットのレジスタ 4R を Q10 フォーマットで使用した場合は、代表入力値 $d(i)$ の最大値は 127.99609375 ($= 2^5 - 2^{-10}$) であるので、ステップサイズパラメータ $\mu(i)$ は 0.125 ~ 127.99609375 に制限される。

【0077】

このような手法によりステップサイズパラメータ $\mu(i)$ に上限値と下限値の少なくとも一方の値を設定することで参照信号源 1 が出力する参照信号 $x(i)$ の振幅がいかなる値であっても、ステップサイズパラメータ $\mu(i)$ がゼロまたは非常に大きな値をとることがなく、能動騒音低減装置 101 は安定かつ正常に動作することができる。

10

【0078】

実施の形態 1 では濾波参照信号 $r(i)$ の振幅が最大となる走行条件を基準走行条件に設定したが、基準走行条件は上記の走行条件に制限されるものではなく、その場合、ステップサイズパラメータ $\mu(i)$ に上限を設定することで適応動作の安定性を保証できる。

【0079】

また、基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ を事前に実験やシミュレーションで得なくとも、移動体 102 の走行開始時の濾波参照信号 $r(l)$ 、(l は小さい整数) を基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ として用いてもよい。さらには能動騒音低減装置 101 では、動作中に濾波参照信号 $r(i)$ の振幅が基準走行条件の基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ の振幅の最大値を上回るなどの特定の条件を満たす場合に基準代表入力値 d_{REF} および基準

20

【0080】

また、実施の形態 1 における能動騒音低減装置 101 では、ADF 部 5 は FxLMS アルゴリズムを用いた適応フィルタであるが、射影アルゴリズムや SHARF アルゴリズム、周波数領域 LMS アルゴリズムなどステップサイズパラメータを用いた適応アルゴリズムを用いる ADF 部 5 であっても同様の効果が得られる。

【0081】

実施の形態 1 における能動騒音低減装置 101 は移動体 102 のみならず、騒音 N_0 が存在する空間 S_1 を有する移動しない装置においても騒音 N_0 を低減することができる。

【0082】

基準代表入力値 d_{REF} は (数 14)、(数 15) で示した一例のように基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ のみに基づくだけでなく、基準走行条件における N_1 個の基準誤差信号 $e_{REF}(i)$ を用いてもよい。例えば (数 23) で示す基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ と基準誤差信号 $e_{REF}(i)$ の積や、(数 24) で示す基準誤差信号 $e_{REF}(i)$ の実効値である。

30

【0083】

【数 23】

$$d_{REF} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (e_{REF}(l) \cdot r_{REF}(l)) \right)^{\frac{1}{2}}$$

40

【0084】

【数 24】

$$d_{REF} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (e_{REF}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

50

【 0 0 8 5 】

代表入力値 $d(i)$ は基準代表入力値 d_{REF} と対応した形で定義するので、 n 番目のステップでの代表入力値 $d(n)$ は基準代表入力値 d_{REF} が (数 2 3) で表される場合は (数 2 5) で求められ、(数 2 4) で表される場合は (数 2 6) で求められる。

【 0 0 8 6 】

【 数 2 5 】

$$d(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (e(n-m) \cdot r(n-m)) \right)^{\frac{1}{2}}$$

10

【 0 0 8 7 】

【 数 2 6 】

$$d(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (e(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【 0 0 8 8 】

図 8 は実施の形態 1 における他の能動騒音低減装置 103 のブロック図である。図 8 において図 1 に示す能動騒音低減装置 101 と同じ部分には同じ参照番号を付す。Chat 部 6 のフィルタ係数 $c^{\wedge}(i)$ を時不変の定数 c^{\wedge} とする場合には、濾波参照信号 $r(i)$ は参照信号 $x(i)$ と (数 7) のように一定の関係となることから、基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ の代わりに基準参照信号 $x_{REF}(i)$ と参照信号 $x(i)$ を用いてステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を算出してもよい。

20

【 0 0 8 9 】

図 8 に示す能動騒音低減装置 103 では、 μ 調整部 8 は、基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ の代わりに基準参照信号 $x_{REF}(i)$ と参照信号 $x(i)$ を用いてステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を算出する。すなわち、(数 17) に示す濾波参照信号 $R_m(n)$ の代わりに、現時点である n 番目のステップから $(N_m - 1)$ ステップ分過去までの N_m 個の参照信号 $x(i)$ からなる N_m 行 1 列のベクトルである参照信号 $X_m(n)$ を (数 27) で定義する。

30

【 0 0 9 0 】

【 数 2 7 】

$$X_m(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-(N_m-1))]^T$$

【 0 0 9 1 】

また、基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ である (数 13) に示す N_1 行 1 列の基準濾波参照信号 R_{REF} の代わりに、基準走行条件のある時点である l 番目のステップから $(N_1 - 1)$ ステップ分過去までの N_1 個の基準参照信号 $x_{REF}(i)$ で構成される N_1 行 1 列のベクトルである基準参照信号 X_{REF} を (数 28) で定義する。

40

【 0 0 9 2 】

【 数 2 8 】

$$X_{REF} = [x_{REF}(l), x_{REF}(l-1), \dots, x_{REF}(l-(N_1-1))]^T$$

【 0 0 9 3 】

基準代表入力値 d_{REF} は (数 28) に示す基準参照信号 X_{REF} に基づき、例えば (数 29) で示す実効値によって定数として与えてもよい。

50

【 0 0 9 4 】

【 数 2 9 】

$$d_{\text{REF}} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (x_{\text{REF}}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【 0 0 9 5 】

代表入力値 $d(i)$ は基準代表入力値 d_{REF} と対応するパラメータとして定義し、基準代表入力値 d_{REF} が (数 29) で表される場合には (数 18) に示す代表入力値 $d(n)$ と同様に参照信号 $x_m(n)$ から (数 30) のように算出する。

10

【 0 0 9 6 】

【 数 3 0 】

$$d(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (x_m(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【 0 0 9 7 】

以下、図 1 に示す能動騒音低減装置 101 と同様に、能動騒音低減装置 103 の μ 調整部 8 は (数 29) に示す基準代表入力値 d_{REF} と (数 30) に示す代表入力値 $d(n)$ とを用いて、(数 20) により n 番目のステップでのステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を求める。能動騒音低減装置 103 は図 1 に示す能動騒音低減装置 101 と同様の効果を有する。

20

【 0 0 9 8 】

以上述べたように、能動騒音低減装置 101 (103) は参照信号源 1 と二次騒音源 2 と誤差信号源 3 と共に用いられるように構成されている。参照信号源 1 は騒音と相関のある参照信号 $x(i)$ を出力する。二次騒音源 2 は二次騒音信号 $y(i)$ に対応する二次騒音 N_1 を発生する。誤差信号源 3 は二次騒音 N_1 と騒音 N_0 との干渉による残留音に対応する誤差信号 $e(i)$ を出力する。能動騒音低減装置 101 (103) は、参照信号 $x(i)$ を受ける入力端 41 (第一の入力端) と誤差信号 $e(i)$ を受ける入力端 43 (第二の入力端) と二次騒音信号 $y(i)$ を出力する出力端 42 とを有する信号処理装置 4 を備える。信号処理装置 4 は、ADF 部 5 と、Chat 部 6 と、LMS 演算部 7 と、 μ 調整部 8 とを有する。ADF 部 5 は、参照信号 $x(i)$ に基づき二次騒音信号 $y(i)$ を出力する。Chat 部 6 は、出力端 42 から入力端 43 までの音響伝達特性を模擬した模擬音響伝達特性で参照信号 $x(i)$ を補正して濾波参照信号 $r(i)$ を出力する。LMS 演算部 7 は、誤差信号 $e(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ とステップサイズパラメータ $\mu(i)$ とを用いて ADF 部 5 のフィルタ係数 $w(k, i)$ を更新する。 μ 調整部 8 はステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を決定する。 μ 調整部 8 は、参照信号 $x(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうちの少なくとも 1 つの信号の振幅に相当する代表入力値 $d(i)$ を算出するように動作する。また、 μ 調整部 8 は、参照信号 $x(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうちの上記少なくとも 1 つの信号の振幅が所定の振幅であるときの代表入力値 $d(i)$ である基準代表入力値 d_{REF} と、代表入力値 $d(i)$ が基準代表入力値 d_{REF} である場合にフィルタ係数 $w(k, i)$ が収束するステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の値である所定の基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} とを記憶するように動作する。また、 μ 調整部 8 は、基準代表入力値 d_{REF} の代表入力値 $d(i)$ に対する比を基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} に乗じることによりステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を算出するように動作する。上記の動作により能動騒音低減装置 101 (103) は騒音 N_0 を低減する。

30

40

【 0 0 9 9 】

50

基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} は、代表入力値 $d(i)$ が基準代表入力値 d_{REF} である場合にフィルタ係数 $w(k, i)$ が収束するステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の値の最大値であってもよい。

【0100】

基準代表入力値 d_{REF} は、参照信号 $x(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうちの上記少なくとも1つの信号の振幅の最大値に相当してもよい。

【0101】

基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} に乗じる係数の上限値と下限値のうち少なくとも一方の値が設定されていてもよい。また、この係数は固定小数点のフォーマットを有する信号処理装置4のレジスタ4R上で表されるデジタル値であってもよい。この場合には、 μ 調整部8はこの係数の小数点の位置を変えることでこの係数の上限値と下限値のうちの上記少なくとも一方の値を設定する。

【0102】

能動騒音低減装置101(103)は空間S1を有する移動体102に搭載されるように構成されている。騒音N0は空間S1に生じ、二次騒音源2は空間S1で二次騒音N1を発生する。上記残留音は空間S1で発生する。

【0103】

(実施の形態2)

図9は本発明の実施の形態2における能動騒音低減装置201のブロック図である。図10は能動騒音低減装置201が搭載された移動体202の概略図である。図9と図10において、図1と図2に示す実施の形態1における能動騒音低減装置101と移動体102と同じ部分には同じ参照番号を付す。

【0104】

実施の形態1における能動騒音低減装置101は1つの参照信号源1と1つの二次騒音源2と1つの誤差信号源3と信号処理装置4とを備える。能動騒音低減装置201は信号処理装置204と少なくとも1つの参照信号源1と少なくとも1つの二次騒音源2と少なくとも1つの誤差信号源3とで空間S1の騒音を低減することができる。

【0105】

実施の形態2における能動騒音低減装置201は4つの参照信号源 $1_0 \sim 1_3$ と4つの二次騒音源 $2_0 \sim 2_3$ と4つの誤差信号源 $3_0 \sim 3_3$ とを備えるcase(4, 4, 4)のシステム構成である。実施の形態2ではcase(4, 4, 4)のシステムを一例として示すが、参照信号源1と二次騒音源2と誤差信号源3の数は4個に限らず、互いに異なるcase(, ,)の構成であってもよい。

【0106】

実施の形態2の説明では、同数を示す符号には参照信号の数「 n 」、二次騒音源の数「 m 」、誤差信号源の数「 p 」など同じ添え字を付す。またChat部60など複数個の要素を有する場合には複数の添え字を付して表し、例えば「 6_0 」は個の二次騒音源がそれぞれ個の誤差信号源と関連していることを示しており、($n \times m$)個の成分を持つ。

【0107】

信号処理装置204は、参照信号源1の出力する参照信号 $x(i)$ を取得する複数の入力端41と、誤差信号源3の出力する誤差信号 $e(i)$ を取得する複数の入力端43と、二次騒音源2に対して二次騒音信号 $y(i)$ を出力する複数の出力端42と、二次騒音信号 $y(i)$ を算出する複数の信号処理部204で構成される。ここでは複数の入力端41、43と出力端42で信号の入出力を行っているが、これらは参照信号源1、誤差信号源3、二次騒音源2と同数でなくてもよく、極端には1つの入力端にすべての信号が入力され、1つの出力端からすべての信号を出力してもよい。信号処理装置204はサンプリング周期 T_s で動作する。1つの信号処理装置204ではサンプリング周期 T_s 内で処理が完了しないcase(, ,)のシステムでは複数の信号処理装置を用いてもよい。

10

20

30

40

50

【0108】

信号処理部204はそれぞれ複数のADF部5とChat部6とLMS演算部7と μ 調整部8と、複数の信号を加算して得られた信号を出力する信号加算器9とを備える。

【0109】

以下に信号処理部204の動作を説明する。二次騒音源20を駆動する二次騒音信号 $y_0(i)$ を出力する信号処理部2040は、参照信号源10~13と同数の4組のADF部500~530とLMS演算部700~730と μ 調整部800~830と、信号加算器90と、参照信号源10~13の数と誤差信号源30~33の数の積の16個のChat部6000~6303とを備える。

10

【0110】

まず、参照信号源10に関する一組のADF部500とLMS演算部700と μ 調整部800およびChat部600に関しての動作を示す。ADF部500は二次騒音信号 $y_{00}(n)$ を(数31)のようにフィルタ係数 $w_{00}(k, n)$ と参照信号 $x_0(i)$ をフィルタリング演算することにより求める。

【0111】

【数31】

$$y_{00}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_{00}(k, n) \cdot x_0(n-k)$$

20

【0112】

Chat部60は実施の形態1における出力端42と誤差信号 $e(i)$ の入力端43との間の経路の音響伝達特性 $C(i)$ を模擬したフィルタ係数 $C^{\wedge}(i)$ と同様に、実施の形態2における出力端42と誤差信号 $e(i)$ の入力端43との間の音響伝達特性 $C(i)$ を模擬したフィルタ係数 $C^{\wedge}(i)$ をそれぞれ有している。実施の形態2でもChat部6は時不変なフィルタ係数 C^{\wedge} とする。信号処理部2040は誤差信号 $e(i)$ の数分4つのChat部6000~6003を有しており、このフィルタ係数 $C^{\wedge}_{00} \sim C^{\wedge}_{03}$ を(数32)で表す。

【0113】

【数32】

$$C^{\wedge}_{00} = [c^{\wedge}_{00}(0), c^{\wedge}_{00}(1), \dots, c^{\wedge}_{00}(N_c - 1)]^T$$

$$\vdots$$

$$C^{\wedge}_{0\zeta} = [c^{\wedge}_{0\zeta}(0), c^{\wedge}_{0\zeta}(1), \dots, c^{\wedge}_{0\zeta}(N_c - 1)]^T$$

$$\vdots$$

$$C^{\wedge}_{03} = [c^{\wedge}_{03}(0), c^{\wedge}_{03}(1), \dots, c^{\wedge}_{03}(N_c - 1)]^T$$

40

【0114】

Chat部600は(数32)に示すフィルタ係数 C^{\wedge}_{00} と参照信号 $x_0(n)$ とを(数33)で示すフィルタリング演算して濾波参照信号 $r_{00}(n)$ を出力する。

【0115】

【数 3 3】

$$r_{000}(n) = C_{00}^{\wedge T} X_0(n)$$

⋮

$$r_{00\zeta}(n) = C_{0\zeta}^{\wedge T} X_0(n)$$

⋮

$$r_{003}(n) = C_{03}^{\wedge T} X_0(n)$$

10

【0 1 1 6】

ここで参照信号 $X_0(n)$ は、(数 3 4) で示す現時点の n 番目のステップから $(N_c - 1)$ ステップ分過去までの N_c 個の参照信号 $x_0(i)$ で構成されるベクトルである。

【0 1 1 7】

【数 3 4】

$$X_0(n) = [x_0(n), x_0(n-1), \dots, x_0(n-(N_c-1))]^T$$

20

【0 1 1 8】

μ 調整部 8₀₀ は予め定めた基準となるステップサイズパラメータである所定の基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF,00}$ と、参照信号 $x_0(i)$ と濾波参照信号 $r_{00}(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうち少なくとも1つの信号に基づき、現時点である n 番目のステップでのステップサイズパラメータ $\mu_{00}(n)$ を出力する。

【0 1 1 9】

LMS 演算部 7₀₀ は、(数 3 3) で求めたそれぞれ4つの濾波参照信号 $R_{00}(n)$ と誤差信号 $e(n)$ とステップサイズパラメータ $\mu_{00}(n)$ とを用いて、ADF 部 5₀₀ のフィルタ係数 $W_{00}(n)$ を(数 3 5)のように更新する。

【0 1 2 0】

30

【数 3 5】

$$W_{00}(n+1) = W_{00}(n) - \sum_{\zeta=0}^3 \mu_{00\zeta}(n) \cdot e_{\zeta}(n) \cdot R_{00\zeta}(n)$$

【0 1 2 1】

ここで、濾波参照信号 $R_{00}(n)$ は参照信号 $x_0(i)$ が模擬音響伝達特性 $C_{\wedge 0}$ によってフィルタリングされた濾波参照信号 $r_{00}(i)$ によって(数 3 6)で示すように構成される。

【0 1 2 2】

40

【数36】

$$\mathbf{R}_{000}(n) = [r_{000}(n), r_{000}(n-1), \dots, r_{000}(n-(N-1))]^T$$

⋮

$$\mathbf{R}_{00\zeta}(n) = [r_{00\zeta}(n), r_{00\zeta}(n-1), \dots, r_{00\zeta}(n-(N-1))]^T$$

⋮

$$\mathbf{R}_{003}(n) = [r_{003}(n), r_{003}(n-1), \dots, r_{003}(n-(N-1))]^T$$

10

【0123】

また、ADF部500のフィルタ係数 $W_{00}(n)$ は(数37)で表す。

【0124】

【数37】

$$\mathbf{W}_{00}(n) = [w_{00}(0, n), w_{00}(1, n), \dots, w_{00}(N-1, n)]^T$$

【0125】

(数35)によれば、濾波参照信号 $R_{00}(n)$ と誤差信号 $e(n)$ はステップサイズパラメータ $\mu_{00}(n)$ が示す度合いであり、フィルタ係数 $W_{00}(n)$ の更新に寄与する。

20

【0126】

次に、他の3つの参照信号 $x_1(i) \sim x_3(i)$ に応じて二次騒音信号 $y_{10}(i) \sim y_{30}(i)$ を求める3組のADF部510~530とLMS演算部710~730と μ 調整部810~830と、Chat部610~630とに関して、二次騒音信号 $y_{00}(i)$ を求める動作を一般化する。

【0127】

ADF部500が参照信号 $x(i)$ をフィルタリング演算することによって求められる現時点の二次騒音信号 $y(n)$ は、(数38)で得られる。

30

【0128】

【数38】

$$y_{\xi 0}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_{\xi 0}(k, n) \cdot x_{\xi}(n-k)$$

【0129】

Chat部600は(数32)に示すフィルタ係数 C^{\wedge}_0 と(数39)に示す参照信号 $X(n)$ より、(数40)の演算によって濾波参照信号 $r_{00}(n)$ を出力する。

40

【0130】

【数39】

$$\mathbf{X}_{\xi}(n) = [x_{\xi}(n), x_{\xi}(n-1), \dots, x_{\xi}(n-(N_c-1))]^T$$

【0131】

【数40】

$$r_{\xi 0 \zeta}(n) = C_{0 \zeta}^{\wedge T} X_{\xi}(n)$$

【0132】

濾波参照信号 $r_{\xi 0}(i)$ からなる N 行 1 列の濾波参照信号 $R_{\xi 0}(n)$ は (数41) で示される。

【0133】

【数41】

$$R_{\xi 0 \zeta}(n) = [r_{\xi 0 \zeta}(n), r_{\xi 0 \zeta}(n-1), \dots, r_{\xi 0 \zeta}(n-(N-1))]^T$$

10

【0134】

μ 調整部 8₀ は基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF, 0}$ と、参照信号 $x(i)$ と濾波参照信号 $r_{\xi 0}(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうち少なくとも 1 つの信号に基づき、現時点のステップサイズパラメータ $\mu_{\xi 0}(n)$ を出力する。

【0135】

LMS 演算部 7₀ は、(数42) で示すフィルタ係数 $W_{\xi 0}(n)$ を (数43) のように更新する。

【0136】

【数42】

$$W_{\xi 0}(n) = [w_{\xi 0}(0, n), w_{\xi 0}(1, n), \dots, w_{\xi 0}(N-1, n)]^T$$

20

【0137】

【数43】

$$W_{\xi 0}(n+1) = W_{\xi 0}(n) - \sum_{\zeta=0}^3 \mu_{\xi 0 \zeta}(n) \cdot e_{\zeta}(n) \cdot R_{\xi 0 \zeta}(n)$$

30

【0138】

信号加算器 9₀ は、このようにして得られた 4 つの二次騒音信号 $y_{00}(n) \sim y_{30}(n)$ を (数44) で示すように合計して、二次騒音源 2₀ に供給される二次騒音信号 $y_0(n)$ を生成する。

【0139】

【数44】

$$y_0(n) = \sum_{\xi=0}^3 y_{\xi 0}(n)$$

40

【0140】

他の二次騒音源 2₁ ~ 2₃ を含む二次騒音源 2_へ 二次騒音信号 $y(i)$ を出力する信号処理部 204 については、信号処理部 204₀ の動作を展開して示す。

【0141】

ADF 部 5 はフィルタ係数 $w(k, n)$ と参照信号 $x(i)$ を用いて現時点である n 番目のステップでの二次騒音信号 $y(n)$ を (数45) で示すフィルタリング演算すなわち畳み込み演算することにより求める。

【0142】

【数45】

$$y_{\xi \eta}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_{\xi \eta}(k, n) \cdot x_{\xi}(n-k)$$

【0143】

Chat部6 は出力端42 と誤差信号 $e(i)$ の入力端43 との間の音響伝達特性 $C(i)$ を模擬した(数46)に示す時不変なフィルタ係数 C^{\wedge} を有している。

【0144】

10

【数46】

$$C^{\wedge}_{\eta \zeta} = [c^{\wedge}_{\eta \zeta}(0), c^{\wedge}_{\eta \zeta}(1), \dots, c^{\wedge}_{\eta \zeta}(N_c - 1)]^T$$

【0145】

実施の形態2では4つの二次騒音源2 がそれぞれ4つの誤差信号源3 に対する経路を有するので、16個のフィルタ係数を持つ。

【0146】

Chat部6 は(数46)に示すフィルタ係数 C^{\wedge} と(数39)に示す参照信号 $X(n)$ より(数47)で濾波参照信号 $r(n)$ を算出する。

20

【0147】

【数47】

$$r_{\xi \eta \zeta}(n) = C^{\wedge}_{\eta \zeta}{}^T X_{\xi}(n)$$

【0148】

濾波参照信号 $r(i)$ からなるN行1列の濾波参照信号 $R(n)$ は(数48)で示される。

【0149】

【数48】

30

$$R_{\xi \eta \zeta}(n) = [r_{\xi \eta \zeta}(n), r_{\xi \eta \zeta}(n-1), \dots, r_{\xi \eta \zeta}(n-(N-1))]^T$$

【0150】

μ 調整部8 は基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} と、参照信号 $x(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうち少なくとも1つの信号に基づき、現時点のステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を出力する。

【0151】

LMS演算部7 は、(数49)で示すフィルタ係数 $W(n)$ を(数50)のように更新する。

40

【0152】

【数49】

$$W_{\xi \eta}(n) = [w_{\xi \eta}(0, n), w_{\xi \eta}(1, n), \dots, w_{\xi \eta}(N-1, n)]^T$$

【0153】

【数50】

$$W_{\xi\eta}(n+1) = W_{\xi\eta}(n) - \sum_{\zeta=0}^3 \mu_{\xi\eta\zeta}(n) \cdot e_{\zeta}(n) \cdot R_{\xi\eta\zeta}(n)$$

【0154】

信号加算器9は、二次騒音信号 $y_{\xi\eta}(n)$ を(数51)で示すように合計して、二次騒音源2に供給される二次騒音信号 $y_{\xi\eta}(n)$ を生成する。

【0155】

【数51】

$$y_{\eta}(n) = \sum_{\xi=0}^3 y_{\xi\eta}(n)$$

【0156】

以上のように、能動騒音低減装置201は(数50)に基づいてサンプリング周期 T_s ごとにADF部5のフィルタ係数 $W_{\xi\eta}(n)$ を更新することで、複数の誤差信号源3の位置で騒音N0を打ち消す最適な二次騒音信号 $y_{\xi\eta}(n)$ を求めることができ、空間S1内で騒音N0を低減することができる。

【0157】

次に μ 調整部8における現時点である n 番目のステップのステップサイズパラメータ $\mu_{\xi\eta}(n)$ を算出する動作に関して、信号処理部204の動作と同様に、参照信号 $x_0(i)$ と誤差信号 $e_0(i)$ とに基づき二次騒音信号 $y_0(i)$ を出力する系の μ 調整部800の動作を説明し、それを一般化する。

【0158】

μ 調整部800は、移動体202の基準となる走行条件における濾波参照信号 $r_{00}(i)$ である基準濾波参照信号 $r_{REF,00}(i)$ に基づく基準代表入力値 $d_{REF,00}$ と基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF,00}$ を記憶する。さらに、 μ 調整部800は基準代表入力値 $d_{REF,00}$ に対応する代表入力値 $d_{00}(n)$ を濾波参照信号 $r_{00}(i)$ に基づいて求める。

【0159】

μ 調整部800は、記憶した基準代表入力値 $d_{REF,00}$ と基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF,00}$ と代表入力値 $d_{00}(n)$ からステップサイズパラメータ $\mu_{00}(n)$ を算出する。

【0160】

実施の形態2では実施の形態1と同様に、濾波参照信号 $r_{00}(i)$ の振幅が最大となる走行条件を基準走行条件に設定し、基準代表入力値 $d_{REF,00}$ と基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF,00}$ を定める動作を説明する。基準走行条件におけるある時点である l 番目のステップから $(N_1 - 1)$ ステップ分過去までの基準濾波参照信号 $r_{REF,00}(i)$ で構成される N_1 行1列のベクトルである基準濾波参照信号 $R_{REF,00}$ を(数13)同様に(数52)で定義する。

【0161】

【数52】

$$R_{REF,00\zeta} = [r_{REF,00\zeta}(1), r_{REF,00\zeta}(1-1), \dots, r_{REF,00\zeta}(1-(N_1-1))]^T$$

【0162】

基準代表入力値 $d_{REF,00}$ は(数52)に示す基準濾波参照信号 $R_{REF,00}$ に基づき、例えば(数14)、(数15)と同様に(数53)、(数54)で示す実効値や平均値の二乗によって定数として与えることができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 6 3 】

【 数 5 3 】

$$d_{\text{REF},00\zeta} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (r_{\text{REF},00\zeta}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【 0 1 6 4 】

【 数 5 4 】

$$d_{\text{REF},00\zeta} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} |r_{\text{REF},00\zeta}(l)| \right)^2$$

10

【 0 1 6 5 】

4つの基準代表入力値 $d_{\text{REF},000} \sim d_{\text{REF},003}$ は、例えば基準代表入力値 $d_{\text{REF},000}$ を(数53)で定義し、基準代表入力値 $d_{\text{REF},001} \sim d_{\text{REF},003}$ を(数54)で定義するなど、互いに異なる定義を採用してもよい。また、基準代表入力値 $d_{\text{REF},00}$ の算出に用いる基準濾波参照信号 $r_{\text{REF},00}(i)$ の数 N_1 は互いに異なってもよい。

20

【 0 1 6 6 】

基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF},00}$ は例えば(数16)と同様に、基準濾波参照信号 $R_{\text{REF},00}$ の自己相関行列の最大固有値 $\lambda_{\text{REF},\text{MAX},00}$ により(数55)で表される。

【 0 1 6 7 】

【 数 5 5 】

$$\mu_{\text{REF},00\zeta} = \frac{2}{\lambda_{\text{REF},\text{MAX},00\zeta}}$$

30

【 0 1 6 8 】

代表入力値 $d_{00}(n)$ は、現時点である n 番目のステップから $(N_m - 1)$ ステップ分過去までの N_m 個の濾波参照信号 $r_{00}(i)$ である(数56)に示す濾波参照信号 $R_{m,00}(n)$ に基づいて求める。

【 0 1 6 9 】

【 数 5 6 】

$$R_{m,00\zeta}(n) = [r_{00\zeta}(n), r_{00\zeta}(n-1), \dots, r_{00\zeta}(n-(N_m-1))]^T$$

40

【 0 1 7 0 】

基準代表入力値 $d_{\text{REF},00}$ が(数53)で表される場合には(数57)で、(数54)で表される場合には(数58)で求められる。

【 0 1 7 1 】

【 数 5 7 】

$$d_{00\zeta}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{00\zeta}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

50

【 0 1 7 2 】

【 数 5 8 】

$$d_{00\xi}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} |r_{00\xi}(n-m)| \right)^2$$

【 0 1 7 3 】

代表入力値 $d_{000}(n)$ は基準代表入力値 $d_{REF,000}$ と対応する定義で求めるので、例えば基準代表入力値 $d_{REF,000}$ を (数 5 3) で定義し、基準代表入力値 $d_{REF,001} \sim d_{REF,003}$ を (数 5 4) で定義するなど、基準代表入力値 $d_{REF,000}$ に互いに異なる定義を採用する場合は、代表入力値 $d_{000}(n)$ も代表入力値 $d_{000}(n)$ は (数 5 7) で定義し、代表入力値 $d_{001}(n) \sim d_{003}(n)$ は (数 5 8) で定義する。

10

【 0 1 7 4 】

現時点である n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu_{000}(n)$ は、例えば (数 2 0) と同様に、基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF,000}$ を基準代表入力値 $d_{REF,000}$ に対する代表入力値 $d_{000}(n)$ の比で除算することにより (数 5 9) で求める。

【 0 1 7 5 】

【 数 5 9 】

20

$$\mu_{00\xi}(n) = \mu_{REF,00\xi} \cdot \frac{1}{d_{00\xi}(n)} = \mu_{REF,00\xi} \cdot \frac{d_{REF,00\xi}}{d_{00\xi}(n)}$$

【 0 1 7 6 】

このように、 μ 調整部 8₀₀ がステップサイズパラメータ $\mu_{000}(i)$ を決定することにより、参照信号 $x_0(i)$ が大きい場合でも ADF 部 5₀₀ のフィルタ係数 $W_{00}(i)$ が発散しない。さらに、参照信号 $x_0(i)$ が小さい場合でもフィルタ係数 $W_{00}(i)$ の収束速度を高くできる。

30

【 0 1 7 7 】

μ 調整部 8₀₀ の場合には、基準走行条件における複数の基準濾波参照信号 $r_{REF,000}(i)$ それぞれに基づく基準代表入力値 $d_{REF,000}$ と基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF,000}$ と、各基準代表入力値 $d_{REF,001} \sim d_{REF,003}$ に対応する代表入力値 $d_{001}(n) \sim d_{003}(n)$ から現時点である n 番目のステップのステップサイズパラメータ $\mu_{001}(n) \sim \mu_{003}(n)$ を算出する。

【 0 1 7 8 】

基準代表入力値 $d_{REF,000}$ は基準走行条件における基準濾波参照信号 $R_{REF,000}$ に基づき、例えば (数 5 3) と同様に (数 6 0) によって定数として与えることができる。

40

【 0 1 7 9 】

【 数 6 0 】

$$d_{REF,\xi\eta\zeta} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (r_{REF,\xi\eta\zeta}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

50

【 0 1 8 0 】

基準代表入力値 $d_{REF, \xi \eta \zeta}$ はそれぞれ異なる定義を採用してよく、異なる基準走行条件を採用してもよいが、基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF, \xi \eta \zeta}$ は基準代表入力値 $d_{REF, \xi \eta \zeta}$ と対応する走行条件で定める必要がある。

【 0 1 8 1 】

代表入力値 $d_{\xi \eta \zeta}(n)$ は、(数 6 1) で示す濾波参照信号 $R_{m, \xi \eta \zeta}$ に基づき、基準代表入力値 $d_{REF, \xi \eta \zeta}$ が(数 6 0) で表される場合には(数 6 2) で求められる。

【 0 1 8 2 】

【 数 6 1 】

$$R_{m, \xi \eta \zeta}(n) = [r_{\xi \eta \zeta}(n), r_{\xi \eta \zeta}(n-1), \dots, r_{\xi \eta \zeta}(n-(N_m-1))]^T$$

10

【 0 1 8 3 】

【 数 6 2 】

$$d_{\xi \eta \zeta}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{\xi \eta \zeta}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

20

【 0 1 8 4 】

(数 5 9) と同様に、現時点である n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu_{\xi \eta \zeta}(n)$ は基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF, \xi \eta \zeta}$ を基準代表入力値 $d_{REF, \xi \eta \zeta}$ に対する代表入力値 $d_{\xi \eta \zeta}(n)$ の比で除算することにより(数 6 3) で求める。

【 0 1 8 5 】

【 数 6 3 】

$$\mu_{\xi \eta \zeta}(n) = \mu_{REF, \xi \eta \zeta} \cdot \frac{1}{\frac{d_{\xi \eta \zeta}(n)}{d_{REF, \xi \eta \zeta}}} = \mu_{REF, \xi \eta \zeta} \cdot \frac{d_{REF, \xi \eta \zeta}}{d_{\xi \eta \zeta}(n)}$$

30

【 0 1 8 6 】

以上のように、 μ 調整部 8 がステップサイズパラメータ $\mu_{\xi \eta \zeta}(i)$ を決定することにより、参照信号 $x_{\xi \eta \zeta}(i)$ が大きい場合でもすべての ADF 部 5 のフィルタ係数 $W_{\xi \eta \zeta}(i)$ が発散せずに能動騒音低減装置 201 が安定して動作する。さらに、参照信号 $x_{\xi \eta \zeta}(i)$ が小さい場合でもフィルタ係数 $W_{\xi \eta \zeta}(i)$ の収束速度が高く、能動騒音低減装置 201 は効果的に騒音 N0 を低減することができる。

【 0 1 8 7 】

実際の動作では、実施の形態 2 においても実施の形態 1 と同様に、(数 2 1)、(数 2 2) のように時不変の定数部分を $\mu_{REF, \xi \eta \zeta}$ としてまとめて記憶することで、演算量を低減することができる。例えば、基準代表入力値 $d_{REF, \xi \eta \zeta}$ を(数 6 0) で、代表入力値 $d_{\xi \eta \zeta}(n)$ を(数 6 2) で定義する場合は、(数 6 4)、(数 6 5) のようにまとめることができる。

40

【 0 1 8 8 】

【数 6 4】

$$\begin{aligned} \mu_{\xi \eta \zeta}(\mathbf{n}) &= \mu_{\text{REF}, \xi \eta \zeta} \cdot \frac{\left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (r_{\text{REF}, \xi \eta \zeta}(\mathbf{l}))^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{\xi \eta \zeta}(\mathbf{n}-\mathbf{m}))^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \\ &= \frac{N_m^2 \cdot \mu_{\text{REF}, \xi \eta \zeta} \cdot d_{\text{REF}, \xi \eta \zeta}}{\left(\sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{\xi \eta \zeta}(\mathbf{n}-\mathbf{m}))^2 \right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{\alpha_{\xi \eta \zeta}}{\left(\sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{\xi \eta \zeta}(\mathbf{n}-\mathbf{m}))^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \quad 10$$

【0189】

【数 6 5】

$$\alpha_{\xi \eta \zeta} = N_m^2 \cdot \mu_{\text{REF}, \xi \eta \zeta} \cdot d_{\text{REF}, \xi \eta \zeta} \quad 20$$

【0190】

しかしながら、能動騒音低減装置 201 は上記の式にしたがって動作すると、ステップサイズパラメータ μ (n) を更新するための代表入力値 d (n) や定数の数は参照信号源 1 の数と二次騒音源 2 の数と誤差信号源 3 の数との積となるので、実施の形態 2 では ($4 \times 4 \times 4 = 64$) と大きく、信号処理装置 204 での演算負荷が大きくなる。

【0191】

移動体 202 に能動騒音低減装置 201 を搭載するような場合において、例えば Chat 部 6 のフィルタ係数 C^{\wedge} を時不変とすると、基準代表入力値 d_{REF} に対する代表入力値 d (i) の比の計算にフィルタ係数 C^{\wedge} の変動を考慮しなくてもよい。また、例えば凹凸の大きい路面を走行するときには、基準代表入力値 d_{REF} に対する代表入力値 d (i) の比が大きくなるなど、基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} に乗じられる値は同一傾向で変化することが多い。そこで、少なくとも 1 つの基準濾波参照信号 R_{REF} と濾波参照信号 R_m (i) とのセットを代表して採用し、基準代表入力値 d_{REF} と代表入力値 d (i) とを算出し、各基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を調整してもよい。このとき、基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} は代表して採用した基準代表入力値 d_{REF} を定めた基準走行条件での値を使用することが望ましい。 40

【0192】

例えば実施の形態 2 において、 μ 調整部 8 の演算に Chat 部 600 によって出力される 4 つの基準濾波参照信号 $R_{\text{REF}, 000} \sim R_{\text{REF}, 300}$ と濾波参照信号 $R_{000}(n) \sim R_{300}(n)$ とのセットを代表して採用する場合、ステップサイズパラメータ μ (n) は基準代表入力値 ($d_{\text{REF}} = d_{\text{REF}, 000}$) と代表入力値 (d (n) = $d_{000}(n)$) の比を用いて (数 66) で求めることができる。

【0193】

【数 6 6】

$$\mu_{\xi \eta \zeta}(n) = \mu_{\text{REF}, \xi \eta \zeta} \cdot \frac{d_{\text{REF}, \xi}}{d_{\xi}(n)}$$

【0194】

同様に実施の形態 2 において、 μ 調整部 8 の演算に基準走行条件での基準濾波参照信号 $r_{\text{REF}, 0}(i)$ と濾波参照信号 $r_0(i)$ とを代表して採用する場合、ステップサイズパラメータ $\mu(n)$ は基準代表入力値 ($d_{\text{REF}, 0} = d_{\text{REF}, 0} \sim d_{\text{REF}, 3}$) と代表入力値 ($d(n) = d_0(n) \sim d_3(n)$) を用いて (数 6 7) で求める。

10

【0195】

【数 6 7】

$$\mu_{\xi \eta \zeta}(n) = \mu_{\text{REF}, \xi \eta \zeta} \cdot \frac{d_{\text{REF}, \eta \zeta}}{d_{\eta \zeta}(n)}$$

【0196】

(数 6 6) や (数 6 7) ではステップサイズパラメータ $\mu(n)$ の演算数は削減されないが、代表入力値 $d(n)$ の数は (数 6 7) では ($1 \times 4 \times 4 = 16$)、(数 6 6) では ($4 \times 1 \times 1 = 4$) とすることができ、信号処理装置 204 での演算負荷を低減できる。

20

【0197】

さらに、いくつかの基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF}, \dots}$ を同一値に設定できる場合には代表入力値 $d(i)$ だけでなく定数 の数も削減でき、ステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の演算数を減らすことが可能となる。

【0198】

例えば各二次騒音信号 $y(i)$ を 4 つの誤差信号源 3 の位置を均等の重みで低減するように算出するように動作する場合、基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF}, 0} \sim \mu_{\text{REF}, 3}$ は同一の基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF}, \dots}$ を採用してもよい。この基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF}, \dots}$ に加えて、(数 6 6) のように基準代表入力値 $d_{\text{REF}, \dots}$ と代表入力値 $d(n)$ を用いる場合には、ステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を (数 6 8) で求めることができる。

30

【0199】

【数 6 8】

$$\mu_{\xi \eta}(n) = \mu_{\text{REF}, \xi \eta} \cdot \frac{d_{\text{REF}, \xi}}{d_{\xi}(n)}$$

40

【0200】

この (数 6 8) に示すステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を用いると、(数 5 0) に示す LMS 演算部 7 の演算は (数 6 9) に変換でき、演算が必要な代表入力値 $d(n)$ の数が ($4 \times 1 \times 1 = 4$) に削減できるだけでなく、ステップサイズパラメータ $\mu(n)$ の演算もステップサイズパラメータ ($\mu(n) = \mu_0(n) \sim \mu_3(n)$) の ($4 \times 1 \times 4 = 16$) に削減することができ、消費電力の低減や処理速度の向上を実現できる。

【0201】

【数 6 9】

$$W_{\xi \eta}(n+1) = W_{\xi \eta}(n) - \mu_{\xi \eta}(n) \cdot \sum_{\zeta=0}^3 e_{\zeta}(n) \cdot R_{\xi \eta \zeta}(n)$$

【0202】

実施の形態 2 においても実施の形態 1 と同様に、基準濾波参照信号 $r_{REF, (i)}$ (i) を事前に実験やシミュレーションで得なくとも、移動体 202 の走行開始時の濾波参照信号 $r_{(l)}$ (l は小さい整数) を基準濾波参照信号 $r_{REF, (i)}$ (i) として用いてもよい。さらには能動騒音低減装置 201 では、動作中に濾波参照信号 $r_{(i)}$ の振幅が基準走行条件の基準濾波参照信号 $r_{REF, (i)}$ の振幅の最大値を上回るなどの特定の条件を満たす場合に基準代表入力値 $d_{REF, (i)}$ および基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF, (i)}$ を各々更新することも可能である。また、能動騒音低減装置 201 でも、ADF 部 5 は $F \times LMS$ アルゴリズムのみならず、射影アルゴリズムや $SHARF$ アルゴリズム、周波数領域 LMS アルゴリズムなどステップサイズパラメータを用いた適応アルゴリズムを用いる ADF 部 5 であっても同様の効果が得られる。さらに、能動騒音低減装置 201 では、サンプリング周期 T_s 毎に ADF 部 5 のすべてのフィルタ係数 $W_{(i)}$ やステップサイズパラメータ $\mu_{(i)}$ を更新せず、いくつかのフィルタ係数 $W_{(i)}$ やステップサイズパラメータ $\mu_{(i)}$ を順次更新する方法や、騒音低減への寄与度が低い ADF 部 5 および付随する LMS 演算部 7 と μ 調整部 8 との演算を行わないことで、信号処理装置 204 の演算負荷を低減できる。

【0203】

さらには、 μ 調整部 8 は、複数の代表入力値 $d_{(i)}$ と、その代表入力値 $d_{(i)}$ ごとに (数 60) に基づいて算出された複数のステップサイズパラメータ $\mu_{(i)}$ の組み合わせデータテーブルを記憶してもよい。 μ 調整部 8 は、代表入力値 $d(n)$ の値に応じたステップサイズパラメータ $\mu(n)$ の値をデータテーブルから読み出すことで、ステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を短時間で調整できる。また、走行条件の変化が能動騒音低減装置 201 のサンプリング周期 T_s よりも緩やかな場合には、 μ 調整部 8 は現時点の n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を、現時点での濾波参照信号 $R_{m, (n)}$ の代わりに現時点より前の濾波参照信号 $R_{m, (n -)}$ ($は正の整数$) を使用して求めてもよい。

【0204】

実施の形態 2 における能動騒音低減装置 201 の μ 調整部 8 においても、能動騒音低減装置 101 の μ 調整部 8 のように基準濾波参照信号 $r_{REF, (i)}$ のみだけでなく、基準走行条件における基準誤差信号 $e_{REF, (i)}$ に基づいて基準代表入力値 $d_{REF, (i)}$ を与えてもよい。例えば (数 23) のように (数 70) で示す基準濾波参照信号 $r_{REF, (i)}$ と基準誤差信号 $e_{REF, (i)}$ の積や、(数 24) のように (数 71) で示す基準誤差信号 $e_{REF, (i)}$ の実効値である。

【0205】

【数 70】

$$d_{REF, \xi \eta \zeta} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} e_{REF, \zeta}(l) \cdot r_{REF, \xi \eta \zeta}(l) \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0206】

【数 7 1】

$$d_{\text{REF}, \xi \eta \zeta} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (e_{\text{REF}, \zeta}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0 2 0 7】

代表入力値 $d(i)$ は基準代表入力値 d_{REF} と対応した形で定義するので、現時点である n 番目のステップでの代表入力値 $d(n)$ は基準代表入力値 d_{REF} が(数 7 0)で表される場合は(数 7 2)で求められ、(数 7 1)で表される場合は(数 7 3)で求められる。

【0 2 0 8】

【数 7 2】

$$d_{\xi \eta \zeta}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} e_{\zeta}(n-m) \cdot r_{\xi \eta \zeta}(n-m) \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0 2 0 9】

【数 7 3】

20

$$d_{\xi \eta \zeta}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (e_{\zeta}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0 2 1 0】

次に、実施の形態 2 においても実施の形態 1 のように Chat 部 6 のフィルタ係数 $c^{\wedge}(i)$ を時不変の定数 c^{\wedge} として、基準濾波参照信号 r_{REF} (i) と濾波参照信号 $r(i)$ の代わりに基準参照信号 x_{REF} (i) と参照信号 $x(i)$ を用いてステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を算出する動作を説明する。

【0 2 1 1】

図 1 1 は実施の形態 2 における他の能動騒音低減装置 2 0 3 のブロック図である。図 1 1 において図 9 に示す能動騒音低減装置 2 0 1 と同じ部分には同じ参照番号を付す。

【0 2 1 2】

図 1 1 に示す能動騒音低減装置 2 0 3 では、 μ 調整部 8 は、基準濾波参照信号 r_{REF} (i) と濾波参照信号 $r(i)$ の代わりに基準参照信号 x_{REF} (i) と参照信号 $x(i)$ を用いてステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を算出する。

【0 2 1 3】

40

Chat 部 6 のフィルタ係数 $c^{\wedge}(i)$ を時不変の定数 c^{\wedge} として考える場合には、上述のように 4 つの基準濾波参照信号 ($R_{\text{REF}} = R_{\text{REF}, 00}$) を代表して採用でき、Chat 部 6 のフィルタ係数 c^{\wedge} の変動を考慮しなくてよい。このため、基準濾波参照信号 R_{REF} の代わりに基準走行条件における基準参照信号 X_{REF} に基づき、例えば(数 6 0)と同様に(数 7 4)によって基準代表入力値 d_{REF} を与えることができる。

【0 2 1 4】

【数 7 4】

$$d_{\text{REF},\xi} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (x_{\text{REF},\xi}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0 2 1 5】

同様に、代表入力値 $d(n)$ は基準代表入力値 $d_{\text{REF},\xi}$ が (数 7 4) で表される場合には (数 3 0) に示す代表入力値 $d(n)$ のように参照信号 $x_{m,\xi}(i)$ から (数 7 5) のように算出する。

【0 2 1 6】

【数 7 5】

$$d_{\xi}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (x_{m,\xi}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0 2 1 7】

以下、図 9 に示す能動騒音低減装置 2 0 1 と同様に、能動騒音低減装置 2 0 3 の μ 調整部 8 は (数 7 4) に示す基準代表入力値 $d_{\text{REF},\xi}$ と (数 7 5) に示す代表入力値 $d(n)$ とを用いて、(数 6 6) により n 番目のステップでのステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を求めることができる。したがってステップサイズパラメータを更新するためのパラメータの数や演算を少なくすることができるので、 μ 調整部 8 の処理負荷を能動騒音低減装置 2 0 1 よりも軽くすることができる。

【0 2 1 8】

また、実施の形態 1 と同様に、騒音 N_0 の変化が少ない走行条件においてはステップサイズパラメータ $\mu(n)$ の更新のための演算負荷を軽減することもできる。加えて、 μ 調整部 8 は、複数のステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の組み合わせデータテーブルを記憶してもよく、これによりステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を短時間で調整できる。また、走行条件の変化が能動騒音低減装置 1 0 1 のサンプリング周期 T_s よりも緩やかな場合には、 μ 調整部 8 は現時点の n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を、現時点での濾波参照信号 $R_{m,0,0}(n)$ の代わりに現時点より前の濾波参照信号 $R_{m,0,0}(n-)$ 、($-$ は正の整数) を使用して求めてもよい。

【0 2 1 9】

(実施の形態 3)

図 1 2 は本発明の実施の形態 3 における能動騒音低減装置 3 0 1 のブロック図である。図 1 3 は能動騒音低減装置 3 0 1 が搭載された移動体 3 0 2 の概略図である。図 1 2 と図 1 3 において、図 1 と図 2 に示す実施の形態 1 における能動騒音低減装置 1 0 1 と移動体 1 0 2 と同じ部分には同じ参照番号を付す。実施の形態 3 における移動体 3 0 2 は車室等の空間 S_1 を有する車両である。能動騒音低減装置 3 0 1 は二次騒音源 2 と誤差信号源 3 と信号処理装置 3 0 4 とで構成される。信号処理装置 3 0 4 が誤差信号 $e(i)$ とに応じて二次騒音信号 $y(i)$ を出力する。二次騒音源 2 が二次騒音信号 $y(i)$ を再生して発生させる二次騒音 N_1 を空間 S_1 内に生じている騒音 N_0 に干渉させることによって騒音 N_0 を低減する。一般に実施の形態 3 のようなフィードバック型 ANC の場合、信号処理装置 3 0 4 は騒音と無関係に出力されるオーディオ信号の誤差信号源 3 へのまわり込みを防ぐためのエコーキャンセラなどの補償部を有する。本実施の形態では説明の簡単化のためにこれを省略しているが、これは補償部の使用を制限するものではない。

【0 2 2 0】

二次騒音源 2 は二次騒音信号 $y(i)$ を出力して二次騒音 N_1 を発生させるトランスデ

10

20

30

40

50

ューサであり、空間 S 1 内に設置されるスピーカを用いることができる。二次騒音源 2 は移動体 3 0 2 のルーフ等の構造物に設置したアクチュエータ等でもよく、この場合アクチュエータの出力によって加振された構造物から放射される音が二次騒音 N 1 にあたる。また、二次騒音源 2 は一般に二次騒音信号 $y(i)$ を増幅する電力増幅部を有するか、外部に設けた電力増幅器によって増幅された二次騒音信号 $y(i)$ によって駆動されることが多い。実施の形態 3 では電力増幅部は二次騒音源 2 に含まれるが、これは実施の形態を制限するものではない。

【 0 2 2 1 】

誤差信号源 3 は空間 S 1 における騒音 N 0 と二次騒音 N 1 とが干渉した残留音を検出し、残留音に対応する誤差信号 $e(i)$ を出力するマイクロフォン等のトランスデューサであり、騒音 N 0 を低減する空間 S 1 内に設置されることが望ましい。

10

【 0 2 2 2 】

信号処理装置 3 0 4 は、誤差信号 $e(i)$ を取得する入力端 4 3 と、二次騒音信号 $y(i)$ を出力する出力端 4 2 と誤差信号 $e(i)$ を元に二次騒音信号 $y(i)$ を算出する演算部とを有する。入力端 4 3 および出力端 4 2 は低域通過フィルタ等のフィルタ部や信号の振幅や位相を調整する信号調整器を含んでもよい。演算部はサンプリング周期 T_s の離散時間で動作するマイコンや DSP などの演算装置であり、少なくとも ADF 部 5 と、Chat 部 6 と、LMS 演算部 7 と、ステップサイズパラメータを算出する μ 調整部 8 とを有し、加えて参照信号生成部 1 0 を有してもよい。

【 0 2 2 3 】

20

参照信号生成部 1 0 は誤差信号 $e(i)$ に基づき参照信号 $x(i)$ を出力する。例えば、誤差信号 $e(i)$ のパターンから予め記憶してある信号を読み出して参照信号 $x(i)$ を生成したり、誤差信号 $e(i)$ の位相をシフトして参照信号 $x(i)$ を生成する処理を行うことができる。また、誤差信号 $e(i)$ をそのまま参照信号 $x(i)$ として用いる場合は参照信号生成部 1 0 を用いない構成と同じである。

【 0 2 2 4 】

ADF 部 5 はフィルタード X - LMS (以下、FxLMS) アルゴリズムによりサンプリング周期 T_s ごとに値が更新される N 個のフィルタ係数 $w(k)$ 、($k = 0, 1, \dots, N - 1$) からなる有限インパルス応答 (以下、FIR) フィルタで構成される。ADF 部 5 は、現時点である n 番目のステップにおける二次騒音信号 $y(n)$ をフィルタ係数 $w(k, n)$ と参照信号生成部 1 0 によって生成された参照信号 $x(i)$ を (数 7 6) で示すフィルタリング演算すなわち畳み込み演算することにより求める。

30

【 0 2 2 5 】

【 数 7 6 】

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w(k, n) \cdot x(n-k)$$

【 0 2 2 6 】

Chat 部 6 は出力端 4 2 と誤差信号 $e(i)$ の入力端 4 3 との間の音響伝達特性 $C(i)$ を模擬したフィルタの係数 $C^{\wedge}(i)$ を有している。音響伝達特性 $C(i)$ には出力端 4 2 と誤差信号 $e(i)$ の入力端 4 3 の間での二次騒音源 2 の特性や空間 S 1 の音響特性に加えて、出力端 4 2 と入力端 4 3 に含まれるフィルタの特性やデジタルアナログ変換およびアナログデジタル変換による信号の遅延を内包してもよい。実施の形態 3 では Chat 部 6 は N_c 個の時不変なフィルタ係数 $c^{\wedge}(k_c)$ 、($k_c = 0, 1, \dots, N_c - 1$) からなる FIR フィルタで構成する。Chat 部 6 の N_c 行 1 列のベクトルであるフィルタ係数 C^{\wedge} を (数 7 7) で表現する。

40

【 0 2 2 7 】

【数 77】

$$C^{\wedge} = [c^{\wedge}(0), c^{\wedge}(1), \dots, c^{\wedge}(N_c - 1)]^T$$

【0228】

Chat 部 6 は特許文献 4 や特許文献 5 などの手法によって更新あるいは補正される時変なフィルタ係数 $c^{\wedge}(k_c, n)$ とすることもできる。

【0229】

Chat 部 6 は (数 77) に示すフィルタ係数 C^{\wedge} と参照信号 $X(n)$ とを (数 78) で示すフィルタリング演算すなわち畳み込み演算して得られる濾波参照信号 $r(n)$ を作成する。 10

【0230】

【数 78】

$$r(n) = \sum_{k_c=0}^{N_c-1} c^{\wedge}(k_c) \cdot x(n - k_c) = C^{\wedge T} X(n)$$

【0231】

参照信号 $X(n)$ は現時点の n 番目のステップから $(N_c - 1)$ ステップ分過去までの N_c 個の参照信号 $x(i)$ からなる (数 79) で表す N_c 行 1 列のベクトルである。 20

【0232】

【数 79】

$$X(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n - (N_c - 1))]^T$$

【0233】

μ 調整部 8 は予め定めた基準となるステップサイズパラメータである所定の基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} と、参照信号 $x(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうち少なくとも 1 つの信号に基づき、現時点である n 番目のステップでのステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を出力する。 30

【0234】

LMS 演算部 7 は、現時点である n 番目のステップでの濾波参照信号 $R(n)$ と誤差信号 $e(n)$ とステップサイズパラメータ $\mu(n)$ とを用いて、ADF 部 5 のフィルタ係数 $W(n)$ を $F \times LMS$ アルゴリズムによって更新し、次の時点である $(n + 1)$ 番目のステップにおけるフィルタ係数 $W(n + 1)$ を (数 80) のように算出する。

【0235】

【数 80】

$$W(n+1) = W(n) - \mu(n) \cdot e(n) \cdot R(n)$$

40

【0236】

ADF 部 5 のフィルタ係数 $W(n)$ は現時点である n 番目のステップでの N 個のフィルタ係数 $w(k, n)$ 、 $(k = 0, 1, \dots, N - 1)$ で構成される N 行 1 列のベクトルであり、(数 81) で表す。

【0237】

【数 81】

$$W(n) = [w(0, n), w(1, n), \dots, w(N-1, n)]^T$$

【0238】

50

濾波参照信号 $R(n)$ は現時点である n 番目のステップから $(N-1)$ ステップ分過去までの N 個の濾波参照信号 $r(i)$ からなる N 行 1 列のベクトルであり、(数 8 2) で表す。

【0239】

【数 8 2】

$$R(n) = [r(n), r(n-1), \dots, r(n-(N-1))]^T$$

【0240】

以上のように、能動騒音低減装置 301 は (数 8 0) に基づいてサンプリング周期 T_s ごとに ADF 部 5 のフィルタ係数 $W(i)$ を更新することで、誤差信号源 3 の位置で騒音 N_0 を打ち消す最適な二次騒音信号 $y(i)$ を求めることができ、空間 S_1 内で騒音 N_0 を低減することができる。

10

【0241】

μ 調整部 8 は移動体 302 の基準となる走行条件における濾波参照信号 $r(i)$ である基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ の振幅を示す指標である基準代表入力値 d_{REF} と、基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を記憶する。さらに、 μ 調整部 8 は基準代表入力値 d_{REF} に対応する濾波参照信号 $r(i)$ の振幅を示す指標である代表入力値 $d(i)$ を求める。

【0242】

μ 調整部 8 は、記憶した基準代表入力値 d_{REF} と基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} と、代表入力値 $d(n)$ から n 番目のステップでのステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を算出する。

20

【0243】

まず、基準代表入力値 d_{REF} と基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を定める動作を説明する。実施の形態 3 では、濾波参照信号 $r(i)$ の振幅が最大となる走行条件を基準走行条件に設定する。濾波参照信号 $r(i)$ の振幅が最大となる走行条件は例えば移動体 302 が凹凸の大きい路面を走行するときである。基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ は、基準走行条件での移動体 302 の実際の走行実験や振動実験等の実験によって濾波参照信号 $r(i)$ を計測して求めてもよいし、CAE などシミュレーションによって求めてもよい。基準代表入力値 d_{REF} は基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ に基づいた定数として与えられる。例えば基準代表入力値 d_{REF} は基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ の最大値として定義することができる。ここで、基準走行条件におけるある時点である l 番目のステップから (N_1-1) ステップ分過去までの N_1 個の基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ からなる N_1 行 1 列のベクトルである基準濾波参照信号 R_{REF} を (数 8 3) で定義する。

30

【0244】

【数 8 3】

$$R_{REF} = [r_{REF}(1), r_{REF}(1-1), \dots, r_{REF}(1-(N_1-1))]^T$$

40

【0245】

また、基準代表入力値 d_{REF} は (数 8 3) に示す基準濾波参照信号 R_{REF} に基づき、例えば (数 8 4) で示す実効値や (数 8 5) で示す平均値の二乗によって定数として与えてもよい。

【0246】

【数 8 4】

$$d_{\text{REF}} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (r_{\text{REF}}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0 2 4 7】

【数 8 5】

$$d_{\text{REF}} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} |r_{\text{REF}}(l)| \right)^2$$

10

【0 2 4 8】

基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} は基準代表入力値 d_{REF} を定めた基準走行条件での実験やシミュレーションによって予め決定することができる。例えば(数 1 2)に基づいて基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を定める場合、基準濾波誤差信号 R_{REF} の自己相関行列の最大固有値 $\lambda_{\text{REF,MAX}}$ により(数 8 6)で表される。

【0 2 4 9】

【数 8 6】

20

$$\mu_{\text{REF}} = \frac{2}{\lambda_{\text{REF,MAX}}}$$

【0 2 5 0】

次に、現時点である n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を求める動作について説明する。現時点の n 番目のステップから $(N_m - 1)$ ステップ分過去までの N_m 行 1 列のベクトルである(数 8 7)で示す濾波参照信号 $R_m(n)$ から代表入力値 $d(n)$ を算出する。

【0 2 5 1】

30

【数 8 7】

$$R_m(n) = [r(n), r(n-1), \dots, r(n-(N_m-1))]^T$$

【0 2 5 2】

ステップ数 N_m は基準濾波参照信号 R_{REF} のステップ数 N_1 と異なってもよいが一致させることが望ましい。代表入力値 $d(n)$ は基準代表入力値 d_{REF} と対応するパラメータとして定義され、基準代表入力値 d_{REF} が(数 8 4)で表される場合には(数 8 8)で求められ、(数 8 5)で定義される場合には(数 8 9)で求められる。

【0 2 5 3】

40

【数 8 8】

$$d(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (r(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0 2 5 4】

【数 8 9】

$$d(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} |r(n-m)| \right)^2$$

【0 2 5 5】

現時点である n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu(n)$ は基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を基準代表入力値 d_{REF} に対する代表入力値 $d(n)$ の比で除算することにより (数 9 0) で求める。

10

【0 2 5 6】

【数 9 0】

$$\mu(n) = \mu_{REF} \cdot \frac{1}{\frac{d(n)}{d_{REF}}} = \mu_{REF} \cdot \frac{d_{REF}}{d(n)}$$

【0 2 5 7】

このように、 μ 調整部 8 がステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を決定することにより、参照信号 $x(i)$ が大きい場合でも ADF 部 5 のフィルタ係数 $W(i)$ が発散せずに能動騒音低減装置 301 が安定して動作する。さらに、参照信号 $x(i)$ が小さい場合でもフィルタ係数 $W(i)$ の収束速度が高く、能動騒音低減装置 301 は効果的に騒音 N_0 を低減することができる。実際の動作では、例えば基準代表入力値 d_{REF} を (数 8 5)、代表入力値 $d(n)$ を (数 8 9) とする場合、 μ 調整部 8 は (数 9 1)、(数 9 2) のように時不変の定数部分をまとめて定数 α として記憶することで、演算量を低減することができる。

20

【0 2 5 8】

【数 9 1】

$$\begin{aligned} \mu(n) &= \mu_{REF} \cdot \frac{\left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} |r_{REF}(l)| \right)^2}{\left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} |r(n-m)| \right)^2} \\ &= \frac{N_m^2 \cdot \mu_{REF} \cdot d_{REF}}{\left(\sum_{k=m}^{N_m-1} |r(n-m)| \right)^2} = \frac{\alpha}{\left(\sum_{m=0}^{N_m-1} |r(n-m)| \right)^2} \end{aligned}$$

30

40

【0 2 5 9】

【数 9 2】

$$\alpha = N_m^2 \cdot \mu_{REF} \cdot d_{REF}$$

【0 2 6 0】

50

騒音 N_0 の変化が少ない走行条件においてはステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を毎ステップ更新せずとも所定の間隔で更新することで、演算負荷を軽減することもできる。加えて、 μ 調整部8は、複数の代表入力値 $d(i)$ と、その代表入力値 $d(i)$ ごとに(数90)に基づいて算出された複数のステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の組み合わせデータテーブルを記憶してもよい。 μ 調整部8は、代表入力値 $d(n)$ の値に応じたステップサイズパラメータ $\mu(n)$ の値をデータテーブルから読み出すことで、ステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を短時間で調整できる。また、走行条件の変化が能動騒音低減装置301のサンプリング周期 T_s よりも緩やかな場合には、 μ 調整部8は現時点の n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を、現時点での濾波参照信号 $R_m(n)$ の代わりに現時点より前の濾波参照信号 $R_m(n -)$ 、($は正の整数$)を使用して求めてもよい。

10

【0261】

図1に示す実施の形態1における能動騒音低減装置101と同様に、実施の形態3における能動騒音低減装置301は、ADF部5の安定性の確保と高い収束速度とを両立できる。

【0262】

なお、実施の形態3における能動騒音低減装置301においても、実施の形態1と同様に、代表入力値 $d(i)$ の算出結果およびステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の算出結果に上下限值を設定することで、ステップサイズパラメータ $\mu(i)$ が過大になることを防ぎ、適応動作の安定性を保証することができる。

20

【0263】

また、基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ を事前に実験やシミュレーションで得なくとも、移動体302の走行開始時の濾波参照信号 $r(1)$ 、(1 は小さい整数)を基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ として用いてもよい。さらには能動騒音低減装置301では、動作中に濾波参照信号 $r(i)$ の振幅が基準走行条件の基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ の振幅の最大値を上回るなどの特定の条件を満たす場合に基準代表入力値 d_{REF} および基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を更新することも可能である。

【0264】

また、実施の形態3における能動騒音低減装置301では、ADF部5は $F \times LMS$ アルゴリズムを用いた適応フィルタであるが、射影アルゴリズムやSHARFアルゴリズム、周波数領域LMSアルゴリズムなどステップサイズパラメータを用いた適応アルゴリズムを用いるADF部5であっても同様の効果が得られる。

30

【0265】

実施の形態3における能動騒音低減装置301は移動体302のみならず、騒音 N_0 が存在する空間 S_1 を有する移動しない装置においても騒音 N_0 を低減することができる。

【0266】

濾波参照信号 $r(i)$ は誤差信号 $e(i)$ に基づく参照信号 $x(i)$ から算出されるので、実質、誤差信号 $e(i)$ から決定される。特にChat部6のフィルタ係数 $c^{\wedge}(i)$ を時不変の定数 c^{\wedge} とする場合には、濾波参照信号 $r(i)$ は参照信号 $x(i)$ と(数7)のように一定の関係となることから、基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ の代わりに基準参照信号 $x_{REF}(i)$ と参照信号 $x(i)$ を用いてステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を算出してもよい。

40

【0267】

さらに、参照信号生成部10を用いないような場合には参照信号 $x(i)$ は誤差信号 $e(i)$ となるため、 μ 調整部8は、基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ の代わりに基準誤差信号 $e_{REF}(i)$ と誤差信号 $e(i)$ を用いてステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を算出する。すなわち、(数87)に示す濾波参照信号 $R_m(n)$ の代わりに、現時点である n 番目のステップから($N_m - 1$)ステップ分過去までの N_m 個の誤差信号 $e(i)$ からなる N_m 行1列のベクトルである誤差信号 $E_m(n)$ を(数93)で定義する。

50

【0268】

【数93】

$$E_m(n) = [e(n), e(n-1), \dots, e(n - (N_m - 1))]^T$$

【0269】

また、基準濾波参照信号 $r_{REF}(i)$ である(数83)に示す N_1 行1列の基準濾波参照信号 R_{REF} の代わりに、基準走行条件のある時点である l 番目のステップから $(N_1 - 1)$ ステップ分過去までの N_1 個の基準誤差信号 $e_{REF}(i)$ で構成される N_1 行1列のベクトルである基準誤差信号 E_{REF} を(数94)で定義する。

10

【0270】

【数94】

$$E_{REF} = [e_{REF}(1), e_{REF}(1-1), \dots, e_{REF}(1 - (N_1 - 1))]^T$$

【0271】

基準代表入力値 d_{REF} は(数94)に示す基準誤差信号 E_{REF} に基づき、例えば(数95)で示す実効値によって定数として与えてもよい。

【0272】

【数95】

20

$$d_{REF} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (e_{REF}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0273】

代表入力値 $d(i)$ は基準代表入力値 d_{REF} と対応するパラメータとして定義し、基準代表入力値 d_{REF} が(数95)で表される場合には(数88)に示す代表入力値 $d(n)$ と同様に参照誤差 $E_m(n)$ から(数96)のように算出する。

30

【0274】

【数96】

$$d(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (e_m(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0275】

以下、能動騒音低減装置301の μ 調整部8は(数95)に示す基準代表入力値 d_{REF} と(数96)に示す代表入力値 $d(n)$ とを用いて、(数90)により n 番目のステップでのステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を求める。

40

【0276】

以上述べたように、能動騒音低減装置301は二次騒音源2と誤差信号源3と共に用いられるように構成されている。二次騒音源2は二次騒音信号 $y(i)$ に対応する二次騒音 N_1 を発生する。誤差信号源3は二次騒音 N_1 と騒音 N_0 との干渉による残留音に対応する誤差信号 $e(i)$ を出力する。能動騒音低減装置301は、誤差信号 $e(i)$ を受ける入力端43と二次騒音信号 $y(i)$ を出力する出力端42とを有する信号処理装置304を備える。信号処理装置304は、ADF部5と、Chat部6と、LMS演算部7と、 μ 調整部8とを有し、さらに参照信号生成部10を有してもよい。参照信号生成部10は誤差信号 $e(i)$ に基づいて参照信号 $x(i)$ を生成する。参照信号生成部10を有さな

50

い場合には、誤差信号 $e(i)$ を参照信号 $x(i)$ として用いる。A D F 部 5 は、参照信号 $x(i)$ に基づき二次騒音信号 $y(i)$ を出力する。C h a t 部 6 は、出力端 4 2 から入力端 4 3 までの音響伝達特性を模擬した模擬音響伝達特性で参照信号 $x(i)$ を補正して濾波参照信号 $r(i)$ を出力する。L M S 演算部 7 は、誤差信号 $e(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ とステップサイズパラメータ $\mu(i)$ とを用いて A D F 部 5 のフィルタ係数 $w(k, i)$ を更新する。 μ 調整部 8 はステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を決定する。 μ 調整部 8 は、参照信号 $x(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうちの少なくとも 1 つの信号の振幅に相当する代表入力値 $d(i)$ を算出するように動作する。また、 μ 調整部 8 は、参照信号 $x(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうちの上記少なくとも 1 つの信号の振幅が所定の振幅であるときの代表入力値 $d(i)$ である基準代表入力値 $d_{R E F}$ と、代表入力値 $d(i)$ が基準代表入力値 $d_{R E F}$ である場合にフィルタ係数 $w(k, i)$ が収束するステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の値である所定の基準ステップサイズパラメータ $\mu_{R E F}$ とを記憶するように動作する。また、 μ 調整部 8 は、基準代表入力値 $d_{R E F}$ の代表入力値 $d(i)$ に対する比を基準ステップサイズパラメータ $\mu_{R E F}$ に乗じることによりステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を算出するように動作する。上記の動作により能動騒音低減装置 3 0 1 は騒音 N 0 を低減する。

10

【 0 2 7 7 】

基準ステップサイズパラメータ $\mu_{R E F}$ は、代表入力値 $d(i)$ が基準代表入力値 $d_{R E F}$ である場合にフィルタ係数 $w(k, i)$ が収束するステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の値の最大値であってもよい。

20

【 0 2 7 8 】

基準代表入力値 $d_{R E F}$ は、参照信号 $x(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうちの上記少なくとも 1 つの信号の振幅の最大値に相当してもよい。

【 0 2 7 9 】

基準ステップサイズパラメータ $\mu_{R E F}$ に乗じる係数の上限値と下限値のうちの少なくとも一方の値が設定されていてもよい。また、この係数は固定小数点のフォーマットを有する信号処理装置 3 0 4 のレジスタ 4 R 上で表されるデジタル値であってもよい。この場合には、 μ 調整部 8 はこの係数の小数点の位置を変えることでこの係数の上限値と下限値のうちの上記少なくとも一方の値を設定する。

【 0 2 8 0 】

能動騒音低減装置 3 0 1 は空間 S 1 を有する移動体 3 0 2 に搭載されるように構成されている。騒音 N 0 は空間 S 1 に生じ、二次騒音源 2 は空間 S 1 で二次騒音 N 1 を発生する。上記残留音は空間 S 1 で発生する。

30

【 0 2 8 1 】

(実施の形態 4)

図 1 4 は本発明の実施の形態 4 における能動騒音低減装置 4 0 1 のブロック図である。図 1 5 は能動騒音低減装置 4 0 1 が搭載された移動体 4 0 2 の概略図である。図 1 4 と図 1 5 において、図 1 2 と図 1 3 に示す実施の形態 3 における能動騒音低減装置 3 0 1 と移動体 3 0 2 と同じ部分には同じ参照番号を付す。

【 0 2 8 2 】

実施の形態 3 における能動騒音低減装置 3 0 1 は 1 つの二次騒音源 2 と 1 つの誤差信号源 3 と信号処理装置 3 0 4 とを備える。能動騒音低減装置 4 0 1 は信号処理装置 4 0 4 と少なくとも 1 つの二次騒音源 2 と少なくとも 1 つの誤差信号源 3 とで空間 S 1 の騒音を低減することができる。

40

【 0 2 8 3 】

実施の形態 4 における能動騒音低減装置 4 0 1 は 4 つの二次騒音源 $2_0 \sim 2_3$ と 4 つの誤差信号源 $3_0 \sim 3_3$ とを備える c a s e (4 , 4) のシステム構成である。実施の形態 4 では c a s e (4 , 4) のシステムを一例として示すが、二次騒音源 2 と誤差信号源 3 の数は 4 個に限らず、互いに異なる c a s e (,) の構成であってもよい。

【 0 2 8 4 】

50

実施の形態4の説明では、同数を示す符号には参照信号生成部10によって生成される参照信号の数「 n 」、二次騒音源の数「 m 」、誤差信号源の数「 p 」など同じ添え字を付す。またChat部6₀など複数個の要素を有する場合には複数の添え字を付して表し、例えば「6₀」は個の二次騒音源がそれぞれ個の誤差信号源と関連していることを示しており、(x)個の成分を持つ。

【0285】

信号処理装置404は、誤差信号源3の出力する誤差信号 $e(i)$ を取得する複数の入力端43と、二次騒音源2に対して二次騒音信号 $y(i)$ を出力する複数の出力端42と、二次騒音信号 $y(i)$ を算出する複数の信号処理部404で構成される。信号処理装置404はサンプリング周期 T_s で動作する。1つの信号処理装置404ではサンプリング周期 T_s 内で処理が完了しないcase(、)のシステムでは複数の信号処理装置を用いてもよい。

10

【0286】

信号処理部404は参照信号生成部10とそれぞれ複数のADF部5とChat部6とLMS演算部7と μ 調整部8と、複数の信号を加算して得られた信号を出力する信号加算器9とを備える。

【0287】

参照信号生成部10は、少なくとも1つの誤差信号 $e(i)$ に基づく少なくとも1つの参照信号 $x(i)$ を出力する。参照信号生成部10は、例えば各誤差信号 $e(i)$ それぞれに対応する個の参照信号 $x(i)$ を出力しても良いし、個の誤差信号 $e(i)$ から1つの参照信号 $x(i)$ を出力しても良いし、代表する1つの誤差信号 $e(i)$ から複数の参照信号 $x(i)$ を出力しても良い。実施の形態4では4個の誤差信号 $e_0(i) \sim e_3(i)$ に基づき、4個の参照信号 $x_0(i) \sim x_3(i)$ を出力する例を示している。さらに、本実施の形態では各信号処理部404に参照信号生成部10を有する構成としているが、信号処理装置404に1つの参照信号生成部10を有し、参照信号生成部10で生成された参照信号 $x(i)$ が信号処理部404に入力される構成としてもよい。

20

【0288】

以下に信号処理部404の動作を説明する。二次騒音源2₀を駆動する二次騒音信号 $y_0(i)$ を出力する信号処理部404₀は、参照信号生成部10₀より出力される参照信号 $x(i)$ と同数の4組のADF部5₀₀~5₃₀とLMS演算部7₀₀~7₃₀と μ 調整部8₀₀~8₃₀と、信号加算器9₀と、参照信号生成部10₀の出力する参照信号 $x_0(i) \sim x_3(i)$ の数と誤差信号源3₀~3₃の数の積の16個のChat部6₀₀₀~6₃₀₃とを備える。

30

【0289】

まず、参照信号 $x_0(i)$ に関する一組のADF部5₀₀とLMS演算部7₀₀と μ 調整部8₀₀およびChat部6₀₀に関しての動作を示す。ADF部5₀₀は二次騒音信号 $y_{00}(n)$ を(数97)のようにフィルタ係数 $w_{00}(k, n)$ と参照信号 $x_0(i)$ をフィルタリング演算することにより求める。

40

【0290】

【数97】

$$y_{00}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_{00}(k, n) \cdot x_0(n-k)$$

【0291】

Chat部6₀は実施の形態3における出力端42と誤差信号 $e(i)$ の入力端43との間の経路の音響伝達特性 $C(i)$ を模擬したフィルタ係数 $C^{\wedge}(i)$ と同様に、実施の形態4における出力端42と誤差信号 $e(i)$ の入力端43との間の音響伝達特性 $C(i)$ を模擬したフィルタ係数 $C^{\wedge}(i)$ をそれぞれ有している。実施の

50

形態4でもChat部6は時不変なフィルタ係数 C^{\wedge} とする。信号処理部404は誤差信号 $e(i)$ の数分4つのChat部6000~6003を有しており、このフィルタ係数 $C^{\wedge}_{00} \sim C^{\wedge}_{03}$ を(数98)で表す。

【0292】

【数98】

$$C^{\wedge}_{00} = [c^{\wedge}_{00}(0), c^{\wedge}_{00}(1), \dots, c^{\wedge}_{00}(N_c - 1)]^T$$

⋮

$$C^{\wedge}_{0\zeta} = [c^{\wedge}_{0\zeta}(0), c^{\wedge}_{0\zeta}(1), \dots, c^{\wedge}_{0\zeta}(N_c - 1)]^T$$

⋮

$$C^{\wedge}_{03} = [c^{\wedge}_{03}(0), c^{\wedge}_{03}(1), \dots, c^{\wedge}_{03}(N_c - 1)]^T$$

10

【0293】

Chat部600は(数98)に示すフィルタ係数 C^{\wedge}_{00} と参照信号 $X_0(n)$ とを(数99)で示すフィルタリング演算して濾波参照信号 $r_{00}(n)$ を出力する。

【0294】

【数99】

$$r_{00}(n) = C^{\wedge}_{00}{}^T X_0(n)$$

⋮

$$r_{00\zeta}(n) = C^{\wedge}_{0\zeta}{}^T X_0(n)$$

⋮

$$r_{003}(n) = C^{\wedge}_{03}{}^T X_0(n)$$

20

30

【0295】

ここで参照信号 $X_0(n)$ は、(数100)で示す現時点の n 番目のステップから $(N_c - 1)$ ステップ分過去までの N_c 個の参照信号 $x_0(i)$ で構成されるベクトルである。

【0296】

【数100】

$$X_0(n) = [x_0(n), x_0(n-1), \dots, x_0(n-(N_c-1))]^T$$

40

【0297】

μ 調整部800は予め定めた基準となるステップサイズパラメータである所定の基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF,00}$ と、参照信号 $x_0(i)$ と濾波参照信号 $r_{00}(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうち少なくとも1つの信号に基づき、現時点である n 番目のステップでのステップサイズパラメータ $\mu_{00}(n)$ を出力する。

【0298】

LMS演算部700は、(数99)で求めたそれぞれ4つの濾波参照信号 $R_{00}(n)$ と誤差信号 $e(n)$ とステップサイズパラメータ $\mu_{00}(n)$ とを用いて、ADF部500のフィルタ係数 $W_{00}(n)$ を(数101)のように更新する。

50

【 0 2 9 9 】

【 数 1 0 1 】

$$W_{00}(n+1) = W_{00}(n) - \sum_{\zeta=0}^3 \mu_{00\zeta}(n) \cdot e_{\zeta}(n) \cdot R_{00\zeta}(n)$$

【 0 3 0 0 】

ここで、濾波参照信号 $R_{00}(n)$ は参照信号 $x_0(i)$ が模擬音響伝達特性 C^{\wedge}_0 によってフィルタリングされた濾波参照信号 $r_{00}(i)$ によって(数102)で示すように構成される。

10

【 0 3 0 1 】

【 数 1 0 2 】

$$R_{000}(n) = [r_{000}(n), r_{000}(n-1), \dots, r_{000}(n-(N-1))]^T$$

$$\vdots$$

$$R_{00\zeta}(n) = [r_{00\zeta}(n), r_{00\zeta}(n-1), \dots, r_{00\zeta}(n-(N-1))]^T$$

$$\vdots$$

20

$$R_{003}(n) = [r_{003}(n), r_{003}(n-1), \dots, r_{003}(n-(N-1))]^T$$

【 0 3 0 2 】

また、ADF部 5_{00} のフィルタ係数 $W_{00}(n)$ は(数103)で表す。

【 0 3 0 3 】

【 数 1 0 3 】

$$W_{00}(n) = [w_{00}(0, n), w_{00}(1, n), \dots, w_{00}(N-1, n)]^T$$

30

【 0 3 0 4 】

(数101)によれば、濾波参照信号 $R_{00}(n)$ と誤差信号 $e(n)$ はステップサイズパラメータ $\mu_{00}(n)$ が示す度合いでフィルタ係数 $W_{00}(n)$ の更新に寄与する。

【 0 3 0 5 】

次に、他の3つの参照信号 $x_1(i) \sim x_3(i)$ に応じて二次騒音信号 $y_{10}(i) \sim y_{30}(i)$ を求める3組のADF部 $5_{10} \sim 5_{30}$ とLMS演算部 $7_{10} \sim 7_{30}$ と μ 調整部 $8_{10} \sim 8_{30}$ と、Chat部 $6_{10} \sim 6_{30}$ に関して、二次騒音信号 $y_{00}(i)$ を求める動作を一般化する。

【 0 3 0 6 】

ADF部 5_{00} が参照信号 $x(i)$ をフィルタリング演算することによって求められる現時点の二次騒音信号 $y_{00}(n)$ は(数104)で得られる。

40

【 0 3 0 7 】

【 数 1 0 4 】

$$y_{\xi 0}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_{\xi 0}(k, n) \cdot x_{\xi}(n-k)$$

【 0 3 0 8 】

Chat部 6_{00} は(数98)に示すフィルタ係数 C^{\wedge}_0 と(数105)に示す参

50

照信号 $X_{\xi}(n)$ より (数 106) の演算によって濾波参照信号 $r_{\xi 0 \zeta}(n)$ を出力する。

【0309】

【数105】

$$X_{\xi}(n) = [x_{\xi}(n), x_{\xi}(n-1), \dots, x_{\xi}(n-(N_c-1))]^T$$

【0310】

【数106】

$$r_{\xi 0 \zeta}(n) = C_{0 \zeta}^{\wedge T} X_{\xi}(n)$$

10

【0311】

濾波参照信号 $r_{\xi 0}(i)$ からなる N 行 1 列の濾波参照信号 $R_{\xi 0}(n)$ は (数 107) で示される。

【0312】

【数107】

$$R_{\xi 0 \zeta}(n) = [r_{\xi 0 \zeta}(n), r_{\xi 0 \zeta}(n-1), \dots, r_{\xi 0 \zeta}(n-(N-1))]^T$$

20

【0313】

μ 調整部 8₀ は基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF, 0}$ と、参照信号 $x_{\xi}(i)$ と濾波参照信号 $r_{\xi 0}(i)$ と誤差信号 $e_{\xi}(i)$ のうち少なくとも 1 つの信号に基づき、現時点のステップサイズパラメータ $\mu_{\xi 0}(n)$ を出力する。

【0314】

LMS 演算部 7₀ は、(数 108) で示すフィルタ係数 $W_{\xi 0}(n)$ を (数 109) のように更新する。

【0315】

【数108】

$$W_{\xi 0}(n) = [w_{\xi 0}(0, n), w_{\xi 0}(1, n), \dots, w_{\xi 0}(N-1, n)]^T$$

30

【0316】

【数109】

$$W_{\xi 0}(n+1) = W_{\xi 0}(n) - \sum_{\zeta=0}^3 \mu_{\xi 0 \zeta}(n) \cdot e_{\zeta}(n) \cdot R_{\xi 0 \zeta}(n)$$

【0317】

信号加算器 9₀ は、このようにして得られた 4 つの二次騒音信号 $y_{00}(n) \sim y_{30}(n)$ を (数 110) で示すように合計して、二次騒音源 2₀ に供給される二次騒音信号 $y_0(n)$ を生成する。

40

【0318】

【数110】

$$y_0(n) = \sum_{\xi=0}^3 y_{\xi 0}(n)$$

【0319】

他の二次騒音源 2₁ ~ 2₃ を含む二次騒音源 2_へ 二次騒音信号 $y_{\xi}(i)$ を出力する

50

信号処理部 404 については、信号処理部 404₀ の動作を展開して示す。

【0320】

A D F 部 5 は、フィルタ係数 $w_{\xi \eta}(k, n)$ と参照信号 $x_{\xi}(i)$ を用いて現時点である n 番目のステップでの二次騒音信号 $y_{\xi \eta}(n)$ を、(数 111) で示すフィルタリング演算すなわち畳み込み演算することにより求める。

【0321】

【数 111】

$$y_{\xi \eta}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_{\xi \eta}(k, n) \cdot x_{\xi}(n-k)$$

10

【0322】

C h a t 部 6 は、出力端 42 と誤差信号 $e(i)$ の入力端 43 との間の音響伝達特性 $C_{\xi \eta \zeta}(i)$ を模擬した(数 112) に示す時不変なフィルタ係数 $C^{\wedge}_{\xi \eta \zeta}$ を有している。

【0323】

【数 112】

$$C^{\wedge}_{\xi \eta \zeta} = [c^{\wedge}_{\xi \eta \zeta}(0), c^{\wedge}_{\xi \eta \zeta}(1), \dots, c^{\wedge}_{\xi \eta \zeta}(N_c - 1)]^T$$

20

【0324】

実施の形態 4 では 4 つの二次騒音源 2 がそれぞれ 4 つの誤差信号源 3 に対する経路を有するので、16 個のフィルタを持つ。

【0325】

C h a t 部 6 は(数 112) に示すフィルタ係数 $C^{\wedge}_{\xi \eta \zeta}$ と(数 105) に示す参照信号 $X_{\xi}(n)$ より、(数 113) で濾波参照信号 $r_{\xi \eta \zeta}(n)$ を算出する。

【0326】

【数 113】

$$r_{\xi \eta \zeta}(n) = C^{\wedge}_{\xi \eta \zeta}{}^T X_{\xi}(n)$$

30

【0327】

濾波参照信号 $r_{\xi \eta \zeta}(i)$ からなる N 行 1 列の濾波参照信号 $R_{\xi \eta \zeta}(n)$ は(数 114) で示される。

【0328】

【数 114】

$$R_{\xi \eta \zeta}(n) = [r_{\xi \eta \zeta}(n), r_{\xi \eta \zeta}(n-1), \dots, r_{\xi \eta \zeta}(n-(N-1))]^T$$

40

【0329】

μ 調整部 8 は基準ステップサイズパラメータ $\mu_{R E F}$ と、参照信号 $x_{\xi}(i)$ と濾波参照信号 $r_{\xi \eta \zeta}(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうち少なくとも 1 つの信号に基づき、現時点のステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を出力する。

【0330】

L M S 演算部 7 は、(数 115) で示すフィルタ係数 $W_{\xi \eta \zeta}(n)$ を(数 116) のように更新する。

【0331】

【数 1 1 5】

$$W_{\xi \eta}(n) = [w_{\xi \eta}(0, n), w_{\xi \eta}(1, n), \dots, w_{\xi \eta}(N-1, n)]^T$$

【0 3 3 2】

【数 1 1 6】

$$W_{\xi \eta}(n+1) = W_{\xi \eta}(n) - \sum_{\zeta=0}^3 \mu_{\xi \eta \zeta}(n) \cdot e_{\zeta}(n) \cdot R_{\xi \eta \zeta}(n)$$

10

【0 3 3 3】

信号加算器 9 は二次騒音信号 $y_{\xi \eta}(n)$ を (数 1 1 7) で示すように合計して二次騒音源 2 に供給される二次騒音信号 $y_{\eta}(n)$ を生成する。

【0 3 3 4】

【数 1 1 7】

$$y_{\eta}(n) = \sum_{\xi=0}^3 y_{\xi \eta}(n)$$

【0 3 3 5】

以上のように、能動騒音低減装置 4 0 1 は (数 1 1 6) に基づいてサンプリング周期 T_s ごとに A D F 部 5 のフィルタ係数 $W_{\xi \eta}(n)$ を更新することで、複数の誤差信号源 3 の位置で騒音 $N 0$ を打ち消す最適な二次騒音信号 $y_{\xi \eta}(n)$ を求めることができ、空間 $S 1$ 内で騒音 $N 0$ を低減することができる。

20

【0 3 3 6】

次に μ 調整部 8 における現時点である n 番目のステップのステップサイズパラメータ $\mu_{0 0}(n)$ を算出する動作に関して、信号処理部 4 0 4 の動作と同様に、参照信号 $x_0(i)$ 誤差信号 $e_0(i)$ とに基づき二次騒音信号 $y_0(i)$ を出力する系の μ 調整部 8 0 0 の動作を説明し、それを一般化する。

【0 3 3 7】

μ 調整部 8 0 0 は、移動体 4 0 2 の基準となる走行条件における濾波参照信号 $r_{0 0}(i)$ である基準濾波参照信号 $r_{R E F, 0 0}(i)$ に基づく基準代表入力値 $d_{R E F, 0 0}$ と基準ステップサイズパラメータ $\mu_{R E F, 0 0}$ を記憶する。さらに、 μ 調整部 8 0 0 は基準代表入力値 $d_{R E F, 0 0}$ に対応する代表入力値 $d_{0 0}(n)$ を濾波参照信号 $r_{0 0}(i)$ に基づいて求める。

30

【0 3 3 8】

μ 調整部 8 0 0 は、記憶した基準代表入力値 $d_{R E F, 0 0}$ と基準ステップサイズパラメータ $\mu_{R E F, 0 0}$ と代表入力値 $d_{0 0}(n)$ からステップサイズパラメータ $\mu_{0 0}(n)$ を算出する。

【0 3 3 9】

実施の形態 4 では実施の形態 3 と同様に、濾波参照信号 $r_{0 0}(i)$ の振幅が最大となる走行条件を基準走行条件に設定し、基準代表入力値 $d_{R E F, 0 0}$ と基準ステップサイズパラメータ $\mu_{R E F, 0 0}$ を定める動作を説明する。基準走行条件におけるある時点である l 番目のステップから $(N_1 - 1)$ ステップ分過去までの基準濾波参照信号 $r_{R E F, 0 0}(i)$ で構成される N_1 行 1 列のベクトルである基準濾波参照信号 $R_{R E F, 0 0}$ を (数 8 3) 同様に (数 1 1 8) で定義する。

40

【0 3 4 0】

【数 1 1 8】

$$\mathbf{R}_{\text{REF},00\zeta} = \left[r_{\text{REF},00\zeta}(1), r_{\text{REF},00\zeta}(1-1), \dots, r_{\text{REF},00\zeta}(1-(N_1-1)) \right]^T$$

【0 3 4 1】

基準代表入力値 $d_{\text{REF},00}$ は (数 1 1 8) に示す基準濾波参照信号 $R_{\text{REF},00}$ に基づき、例えば (数 8 4)、(数 8 5) と同様に (数 1 1 9)、(数 1 2 0) で示す実効値や平均値の二乗によって定数として与えることができる。

【0 3 4 2】

【数 1 1 9】

10

$$d_{\text{REF},00\zeta} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (r_{\text{REF},00\zeta}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0 3 4 3】

【数 1 2 0】

$$d_{\text{REF},00\zeta} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} |r_{\text{REF},00\zeta}(l)| \right)^2$$

20

【0 3 4 4】

4つの基準代表入力値 $d_{\text{REF},0000} \sim d_{\text{REF},0003}$ は、例えば基準代表入力値 $d_{\text{REF},0000}$ を (数 1 1 9) で定義し、基準代表入力値 $d_{\text{REF},0001} \sim d_{\text{REF},0003}$ を (数 1 2 0) で定義するなど、互いに異なる定義を採用してもよい。また、基準代表入力値 $d_{\text{REF},00}$ の算出に用いる基準濾波参照信号 $r_{\text{REF},00}(i)$ の数 N_1 は互いに異なってもよい。

【0 3 4 5】

基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF},00}$ は例えば (数 8 6) と同様に、基準濾波参照信号 $R_{\text{REF},00}$ の自己相関行列の最大固有値 $\lambda_{\text{REF},\text{MAX},00}$ により (数 1 2 1) で表される。

30

【0 3 4 6】

【数 1 2 1】

$$\mu_{\text{REF},00\zeta} = \frac{2}{\lambda_{\text{REF},\text{MAX},00\zeta}}$$

【0 3 4 7】

代表入力値 $d_{00}(n)$ は、現時点である n 番目のステップから $(N_m - 1)$ ステップ分過去までの N_m 個の濾波参照信号 $r_{00}(i)$ である (数 1 2 2) に示す濾波参照信号 $R_{m,00}(n)$ に基づいて求める。

40

【0 3 4 8】

【数 1 2 2】

$$\mathbf{R}_{m,00\zeta}(n) = \left[r_{00\zeta}(n), r_{00\zeta}(n-1), \dots, r_{00\zeta}(n-(N_m-1)) \right]^T$$

【0 3 4 9】

基準代表入力値 $d_{\text{REF},00}$ が (数 1 1 9) で表される場合には (数 1 2 3) で、

50

(数 1 2 0) で表される場合には (数 1 2 4) で求められる。

【 0 3 5 0 】

【数 1 2 3】

$$d_{00\zeta}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{00\zeta}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【 0 3 5 1 】

【数 1 2 4】

10

$$d_{00\zeta}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} |r_{00\zeta}(n-m)| \right)^2$$

【 0 3 5 2 】

代表入力値 $d_{000}(n)$ は基準代表入力値 $d_{REF,000}$ と対応する定義で求めるので、例えば基準代表入力値 $d_{REF,000}$ を (数 1 1 9) で定義し、基準代表入力値 $d_{REF,000} \sim d_{REF,003}$ を (数 1 2 0) で定義するなど、基準代表入力値 $d_{REF,000}$ に互いに異なる定義を採用する場合は、代表入力値 $d_{000}(n)$ も代表入力値 $d_{000}(n)$ は (数 1 2 3) で定義し、代表入力値 $d_{001}(n) \sim d_{003}(n)$ は (数 1 2 4) で定義する。

20

【 0 3 5 3 】

現時点である n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu_{000}(n)$ は、例えば (数 9 0) と同様に、基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF,000}$ を基準代表入力値 $d_{REF,000}$ に対する代表入力値 $d_{000}(n)$ の比で除算することにより (数 1 2 5) で求める。

【 0 3 5 4 】

【数 1 2 5】

30

$$\mu_{00\zeta}(n) = \mu_{REF,00\zeta} \cdot \frac{1}{\frac{d_{00\zeta}(n)}{d_{REF,00\zeta}}} = \mu_{REF,00\zeta} \cdot \frac{d_{REF,00\zeta}}{d_{00\zeta}(n)}$$

【 0 3 5 5 】

このように、 μ 調整部 8 0 0 がステップサイズパラメータ $\mu_{000}(i)$ を決定することにより、参照信号 $x_0(i)$ が大きい場合でも ADF 部 5 0 0 のフィルタ係数 $W_{00}(i)$ が発散しない。さらに、参照信号 $x_0(i)$ が小さい場合でもフィルタ係数 $W_{00}(i)$ の収束速度を高くできる。

40

【 0 3 5 6 】

μ 調整部 8 の場合には、基準走行条件における複数の基準濾波参照信号 $r_{REF,00\zeta}(i)$ それぞれに基づく基準代表入力値 $d_{REF,00\zeta}$ と基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF,00\zeta}$ と、各基準代表入力値 $d_{REF,00\zeta}$ に対応する代表入力値 $d_{00\zeta}(n)$ から現時点である n 番目のステップのステップサイズパラメータ $\mu_{00\zeta}(n)$ を算出する。

【 0 3 5 7 】

基準代表入力値 $d_{REF,00\zeta}$ は基準走行条件における基準濾波参照信号 $R_{REF,00\zeta}$ に基づき、例えば (数 1 1 9) と同様に (数 1 2 6) によって定数として与えることができる。

50

【 0 3 5 8 】

【 数 1 2 6 】

$$d_{\text{REF},\xi \eta \zeta} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (r_{\text{REF},\xi \eta \zeta}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【 0 3 5 9 】

基準代表入力値 $d_{\text{REF},\xi \eta \zeta}$ はそれぞれ異なる定義を採用してよく、異なる基準走行条件を採用してもよいが、基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF},\xi \eta \zeta}$ は基準代表入力値 $d_{\text{REF},\xi \eta \zeta}$ と対応する走行条件で定める必要がある。

10

【 0 3 6 0 】

代表入力値 $d_{\xi \eta \zeta}(n)$ は、(数 1 2 7) で示す濾波参照信号 $R_{m,\xi \eta \zeta}$ に基づき、基準代表入力値 $d_{\text{REF},\xi \eta \zeta}$ が (数 1 2 6) で表される場合には (数 1 2 8) で求められる。

【 0 3 6 1 】

【 数 1 2 7 】

$$R_{m,\xi \eta \zeta}(n) = [r_{\xi \eta \zeta}(n), r_{\xi \eta \zeta}(n-1), \dots, r_{\xi \eta \zeta}(n-(N_m-1))]^T$$

20

【 0 3 6 2 】

【 数 1 2 8 】

$$d_{\xi \eta \zeta}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{\xi \eta \zeta}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【 0 3 6 3 】

(数 1 2 7) と同様に、現時点である n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu_{\xi \eta \zeta}(n)$ は基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF},\xi \eta \zeta}$ を基準代表入力値 $d_{\text{REF},\xi \eta \zeta}$ に対する代表入力値 $d_{\xi \eta \zeta}(n)$ の比で除算することにより (数 1 2 9) で求める。

30

【 0 3 6 4 】

【 数 1 2 9 】

$$\mu_{\xi \eta \zeta}(n) = \mu_{\text{REF},\xi \eta \zeta} \cdot \frac{1}{\frac{d_{\xi \eta \zeta}(n)}{d_{\text{REF},\xi \eta \zeta}}} = \mu_{\text{REF},\xi \eta \zeta} \cdot \frac{d_{\text{REF},\xi \eta \zeta}}{d_{\xi \eta \zeta}(n)}$$

40

【 0 3 6 5 】

以上のように、 μ 調整部 8 がステップサイズパラメータ $\mu_{\xi \eta \zeta}(i)$ を決定することにより、参照信号 $x_{\xi \eta \zeta}(i)$ が大きい場合でもすべての ADF 部 5 のフィルタ係数 $W_{\xi \eta \zeta}(i)$ が発散せずに能動騒音低減装置 401 が安定して動作する。さらに、参照信号 $x_{\xi \eta \zeta}(i)$ が小さい場合でもフィルタ係数 $W_{\xi \eta \zeta}(i)$ の収束速度が高く、能動騒音低減装置 401 は効果的に騒音 N_0 を低減することができる。

【 0 3 6 6 】

実際の動作では、実施の形態 4 においても実施の形態 3 と同様に、(数 9 1)、(数 9 2) のように時不変の定数部分を $\mu_{\text{REF},\xi \eta \zeta}$ としてまとめて記憶することで、演算量を低減することができる。例えば、基準代表入力値 $d_{\text{REF},\xi \eta \zeta}$ を (数 1 2 6) で、代表入

50

力値 d を (数 1 2 8) で定義する場合は、(数 1 3 0)、(数 1 3 1) のようにまとめることができる。

【 0 3 6 7 】

【 数 1 3 0 】

$$\mu_{\xi \eta \zeta}(n) = \mu_{REF, \xi \eta \zeta} \cdot \frac{\left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (r_{REF, \xi \eta \zeta}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{\xi \eta \zeta}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \tag{10}$$

$$= \frac{N_m^2 \cdot \mu_{REF, \xi \eta \zeta} \cdot d_{REF, \xi \eta \zeta}}{\left(\sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{\xi \eta \zeta}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{\alpha_{\xi \eta \zeta}}{\left(\sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{\xi \eta \zeta}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \tag{20}$$

【 0 3 6 8 】

【 数 1 3 1 】

$$\alpha_{\xi \eta \zeta} = N_m^2 \cdot \mu_{REF, \xi \eta \zeta} \cdot d_{REF, \xi \eta \zeta}$$

【 0 3 6 9 】

しかしながら、能動騒音低減装置 4 0 1 は上記の式にしたがって動作すると、ステップサイズパラメータ μ (n) を更新するための代表入力値 d (n) や定数

の数は参照信号生成部 1 0 の出力する参照信号 x (i) の数と誤差信号源 3 の数と二次騒音源 2 の数との積となるので、実施の形態 4 では (4 × 4 × 4 = 6 4) と大きく、信号処理装置 4 0 4 での演算負荷が大きくなる。 30

【 0 3 7 0 】

移動体 4 0 2 に能動騒音低減装置 4 0 1 を搭載するような場合において、例えば Chat 部 6 のフィルタ係数 C^{\wedge} を時不変とすると、基準代表入力値 d_{REF} に対する代表入力値 d (i) の比の計算にフィルタ係数 C^{\wedge} の変動を考慮しなくてもよい。また、例えば凹凸の大きい路面を走行するときには、基準代表入力値 d_{REF} に対する代表入力値 d (i) の比が大きくなるなど、基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} に乗じられる値は同一傾向で変化することが多い。そこで、少なくとも 1 つの基準濾波参照信号 R_{REF} と濾波参照信号 R_m (i) とのセットを代表して採用し、基準代表入力値 d_{REF} と代表入力値 d (i) とを算出し、各基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を調整してもよい。このとき、基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} は代表して採用した基準代表入力値 d_{REF} を定めた基準走行条件での値を使用することが望ましい。 40

【 0 3 7 1 】

例えば実施の形態 4 において、 μ 調整部 8 の演算に Chat 部 6₀₀ によって出力される 4 つの基準濾波参照信号 $R_{REF, 000} \sim R_{REF, 300}$ と濾波参照信号 $R_{000}(n) \sim R_{300}(n)$ とのセットを代表して採用する場合、ステップサイズパラメータ μ (n) は基準代表入力値 ($d_{REF} = d_{REF, 000}$) と代表入力値 (d (n) = $d_{000}(n)$) の比を用いて (数 1 3 2) で求めることができる。

【 0 3 7 2 】

【数 1 3 2】

$$\mu_{\xi \eta \zeta}(\mathbf{n}) = \mu_{\text{REF}, \xi \eta \zeta} \cdot \frac{d_{\text{REF}, \xi}}{d_{\xi}(\mathbf{n})}$$

【0 3 7 3】

同様に実施の形態 4 において、 μ 調整部 8 の演算に基準走行条件での基準濾波参照信号 $r_{\text{REF}, 0}(i)$ と濾波参照信号 $r_0(i)$ とを代表して採用する場合、ステップサイズパラメータ $\mu(\mathbf{n})$ は基準代表入力値 ($d_{\text{REF}, 0} = d_{\text{REF}, 0} \sim d_{\text{REF}, 3}$) と代表入力値 ($d(\mathbf{n}) = d_0(\mathbf{n}) \sim d_3(\mathbf{n})$) を用いて (数 1 3 3) で求める。

【0 3 7 4】

【数 1 3 3】

$$\mu_{\xi \eta \zeta}(\mathbf{n}) = \mu_{\text{REF}, \xi \eta \zeta} \cdot \frac{d_{\text{REF}, \eta \zeta}}{d_{\eta \zeta}(\mathbf{n})}$$

【0 3 7 5】

(数 1 3 2) や (数 1 3 3) ではステップサイズパラメータ $\mu(\mathbf{n})$ の演算数は削減されないが、代表入力値 $d(\mathbf{n})$ の数は (数 1 3 3) では ($1 \times 4 \times 4 = 16$)、(数 1 3 2) では ($4 \times 1 \times 1 = 4$) とすることができ、信号処理装置 4 0 4 での演算負荷を低減できる。

【0 3 7 6】

さらに、いくつかの基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF}, 0} \sim \mu_{\text{REF}, 3}$ を同一値に設定できる場合には代表入力値 $d(i)$ だけでなく定数 d_0 の数も削減でき、ステップサイズパラメータ $\mu(i)$ の演算数を減らすことが可能となる。

【0 3 7 7】

例えば各二次騒音信号 $y(i)$ を 4 つの誤差信号源 3 の位置を均等の重みで低減するように算出するように動作する場合、基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF}, 0} \sim \mu_{\text{REF}, 3}$ は同一の基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF}, 0}$ を採用してもよい。この基準ステップサイズパラメータ $\mu_{\text{REF}, 0}$ に加えて、(数 1 3 2) のように基準代表入力値 $d_{\text{REF}, 0}$ と代表入力値 $d(\mathbf{n})$ を用いる場合には、ステップサイズパラメータ $\mu(\mathbf{n})$ を (数 1 3 4) で求めることができる。

【0 3 7 8】

【数 1 3 4】

$$\mu_{\xi \eta}(\mathbf{n}) = \mu_{\text{REF}, \xi \eta} \cdot \frac{d_{\text{REF}, \xi}}{d_{\xi}(\mathbf{n})}$$

【0 3 7 9】

この (数 1 3 4) に示すステップサイズパラメータ $\mu(\mathbf{n})$ を用いると、(数 1 1 6) に示す LMS 演算部 7 の演算は (数 1 3 5) に変換でき、演算が必要な代表入力値 $d(\mathbf{n})$ の数が ($4 \times 1 \times 1 = 4$) に削減できるだけでなく、ステップサイズパラメータ $\mu(\mathbf{n})$ の演算もステップサイズパラメータ ($\mu(\mathbf{n}) = \mu_0(\mathbf{n}) \sim \mu_3(\mathbf{n})$) の ($4 \times 1 \times 4 = 16$) に削減することができ、消費電力の低減や処理速度の向上を実現できる。

【0 3 8 0】

10

20

30

40

【数 1 3 5】

$$W_{\xi \eta}(n+1) = W_{\xi \eta}(n) - \mu_{\xi \eta}(n) \cdot \sum_{\zeta=0}^3 e_{\zeta}(n) \cdot R_{\xi \eta \zeta}(n)$$

【0 3 8 1】

実施の形態 4 においても実施の形態 3 と同様に、基準濾波参照信号 $r_{REF, (i)}$ (i) を事前に実験やシミュレーションで得なくとも、移動体 4 0 2 の走行開始時の濾波参照信号 $r_{(l)}$ (l は小さい整数) を基準濾波参照信号 $r_{REF, (i)}$ (i) として用いてもよい。さらには能動騒音低減装置 4 0 1 では、動作中に濾波参照信号 $r_{(i)}$ (i) の振幅が基準走行条件の基準濾波参照信号 $r_{REF, (i)}$ (i) の振幅の最大値を上回るなどの特定の条件を満たす場合に基準代表入力値 $d_{REF, (i)}$ および基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF, (i)}$ を各々更新することも可能である。また、能動騒音低減装置 4 0 1 でも、ADF 部 5 は F x LMS アルゴリズムのみならず、射影アルゴリズムや SHARF アルゴリズム、周波数領域 LMS アルゴリズムなどステップサイズパラメータを用いた適応アルゴリズムを用いる ADF 部 5 であっても同様の効果が得られる。さらに、能動騒音低減装置 4 0 1 では、サンプリング周期 T_s 毎に ADF 部 5 のすべてのフィルタ係数 $W_{(i)}$ (i) やステップサイズパラメータ $\mu_{(i)}$ (i) を更新せず、いくつかのフィルタ係数 $W_{(i)}$ (i) やステップサイズパラメータ $\mu_{(i)}$ (i) を順次更新する方法や、騒音低減への寄与度が低い ADF 部 5 および付随する LMS 演算部 7 と μ 調整部 8 との演算を行わないことで、信号処理装置 4 0 4 の演算負荷を低減できる。

【0 3 8 2】

さらには、 μ 調整部 8 は、複数の代表入力値 $d_{(i)}$ (i) と、その代表入力値 $d_{(i)}$ (i) ごとに (数 1 2 6) に基づいて算出された複数のステップサイズパラメータ $\mu_{(i)}$ (i) の組み合わせデータテーブルを記憶してもよい。 μ 調整部 8 は、代表入力値 $d(n)$ の値に応じたステップサイズパラメータ $\mu_{(n)}$ (n) の値をデータテーブルから読み出すことで、ステップサイズパラメータ $\mu_{(n)}$ (n) を短時間で調整できる。また、走行条件の変化が能動騒音低減装置 4 0 1 のサンプリング周期 T_s よりも緩やかな場合には、 μ 調整部 8 は現時点の n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu_{(n)}$ (n) を、現時点での濾波参照信号 $R_{m, (n)}$ (n) の代わりに現時点より前の濾波参照信号 $R_{m, (n -)}$ ($は正の整数$) を使用して求めてもよい。

【0 3 8 3】

図 1 6 は、実施の形態 4 における一例の能動騒音低減装置 5 0 1 のブロック図である。能動騒音低減装置 5 0 1 は、実施の形態 4 の特別な場合の例として、参照信号生成部 1 0 を使用せず、4 つの誤差信号 $e_{(i)}$ (i) をそのまま参照信号 $x_{(i)}$ (i) として動作する。換言すると、参照信号生成部 1 0 は、4 つの誤差信号 $e_{(i)}$ (i) をそのまま参照信号 $x_{(i)}$ (i) として出力する。ここでは参照信号 $x_{(i)}$ (i) として出力された誤差信号 $e_{(i)}$ (i) を $e_{(i)}$ (i) と記す。

【0 3 8 4】

信号処理装置 5 0 4 は信号処理装置 4 0 4 で参照信号生成部 1 0 を有さず、ADF 部 5 と Chat 部 6 に参照信号 $x_{(i)}$ (i) にかわり誤差信号 $e_{(i)}$ (i) が入力される構成となっており、二次騒音信号 $y_0(i)$ を出力する信号処理部 5 0 4 は、誤差信号 $e_{(i)}$ (i) と同数の 4 組の ADF 部 5₀₀ ~ 5₃₀ と LMS 演算部 7₀₀ ~ 7₃₀ と μ 調整部 8₀₀ ~ 8₃₀ と、信号加算器 9₀ と、誤差信号源 3₀ ~ 3₃ の数の二乗の数の 1 6 個の Chat 部 6₀₀₀ ~ 6₃₀₃ とを備える。

【0 3 8 5】

ADF 部 5 はフィルタ係数 $w(k, n)$ と誤差信号 $e_{(i)}$ (i) を用いて現時点である n 番目のステップでの二次騒音信号 $y_{(n)}$ (n) を (数 1 3 6) で示すフィルタリ

ング演算すなわち畳み込み演算することにより求める。

【0386】

【数136】

$$y_{\xi \eta}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_{\xi \eta}(k, n) \cdot e_{\xi}(n-k)$$

【0387】

Chat部6は出力端42と誤差信号 $e(i)$ の入力端43との間の音響伝達特性 $C(i)$ を模擬した(数137)に示す時不変なフィルタ係数 C^{\wedge} を有している。

10

【0388】

【数137】

$$C^{\wedge}_{\eta \zeta} = [c^{\wedge}_{\eta \zeta}(0), c^{\wedge}_{\eta \zeta}(1), \dots, c^{\wedge}_{\eta \zeta}(N_c - 1)]^T$$

【0389】

Chat部6は(数137)に示すフィルタ係数 C^{\wedge} と(数138)に示す誤差信号 $E(n)$ より(数139)の演算によって濾波参照信号に代わる濾波誤差信号 $r_{\xi \eta \zeta}(n)$ を出力する。

20

【0390】

【数138】

$$E_{\xi}(n) = [e_{\xi}(n), e_{\xi}(n-1), \dots, e_{\xi}(n-(N_c-1))]^T$$

【0391】

【数139】

$$r_{\xi \eta \zeta}(n) = C^{\wedge}_{\eta \zeta T} E_{\xi}(n)$$

30

【0392】

濾波誤差信号 $r(i)$ からなるN行1列の濾波誤差信号 $R(n)$ は(数140)で示される。

【0393】

【数140】

$$R_{\xi \eta \zeta}(n) = [r_{\xi \eta \zeta}(n), r_{\xi \eta \zeta}(n-1), \dots, r_{\xi \eta \zeta}(n-(N-1))]^T$$

【0394】

μ 調整部8は基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} と、濾波誤差信号 $r(i)$ と誤差信号 $e(i)$ のうち少なくとも1つの信号に基づき、現時点のステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を出力する。

40

【0395】

LMS演算部7は、(数141)で示すフィルタ係数 $W(n)$ を(数142)のように更新する。

【0396】

【数141】

$$W_{\xi \eta}(n) = [w_{\xi \eta}(0, n), w_{\xi \eta}(1, n), \dots, w_{\xi \eta}(N-1, n)]^T$$

50

【 0 3 9 7 】

【 数 1 4 2 】

$$W_{\xi \eta}(n+1) = W_{\xi \eta}(n) - \sum_{\xi=0}^3 \mu_{\xi \eta \zeta}(n) \cdot e_{\zeta}(n) \cdot R_{\xi \eta \zeta}(n)$$

【 0 3 9 8 】

信号加算器 9 は二次騒音信号 $y_{\xi \eta}(n)$ を (数 1 4 3) で示すように合計して二次騒音源 2 に供給される二次騒音信号 $y_{\eta}(n)$ を生成する。

【 0 3 9 9 】

【 数 1 4 3 】

$$y_{\eta}(n) = \sum_{\xi=0}^3 y_{\xi \eta}(n)$$

【 0 4 0 0 】

以上のように、能動騒音低減装置 5 0 1 は (数 1 4 2) に基づいてサンプリング周期 T_s ごとに A D F 部 5 のフィルタ係数 $W_{\xi \eta}(n)$ を更新することで、複数の誤差信号源 3 の位置で騒音 $N 0$ を打ち消す最適な二次騒音信号 $y_{\eta}(n)$ を求めることができ、空間 $S 1$ 内で騒音 $N 0$ を低減することができる。

【 0 4 0 1 】

次に μ 調整部 8 における現時点である n 番目のステップのステップサイズパラメータ $\mu_{\xi \eta \zeta}(n)$ を算出する動作を説明する。

【 0 4 0 2 】

μ 調整部 8 は、基準走行条件における複数の基準濾波誤差信号 $r_{REF, \xi \eta \zeta}(i)$ (i) それぞれに基づく基準代表入力値 $d_{REF, \xi \eta \zeta}$ と基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF, \xi \eta \zeta}$ と、各基準代表入力値 $d_{REF, \xi \eta \zeta}(n)$ に対応する代表入力値 $d_{\xi \eta \zeta}(n)$ から現時点である n 番目のステップのステップサイズパラメータ $\mu_{\xi \eta \zeta}(n)$ を算出する。

【 0 4 0 3 】

基準走行条件におけるある時点である l 番目のステップから $(N_1 - 1)$ ステップ分過去までの基準濾波誤差信号 $r_{REF, \xi \eta \zeta}(i)$ (i) で構成される N_1 行 1 列のベクトルである基準濾波誤差信号 $R_{REF, \xi \eta \zeta}$ を (数 8 3) 同様に (数 1 4 4) で定義する。

【 0 4 0 4 】

【 数 1 4 4 】

$$R_{REF, \xi \eta \zeta} = [r_{REF, \xi \eta \zeta}(1), r_{REF, \xi \eta \zeta}(1-1), \dots, r_{REF, \xi \eta \zeta}(1-(N_1-1))]^T$$

【 0 4 0 5 】

基準代表入力値 $d_{REF, \xi \eta \zeta}$ は基準走行条件における基準濾波誤差信号 $R_{REF, \xi \eta \zeta}$ に基づき、例えば (数 1 1 9) と同様に (数 1 4 5) によって定数として与えることができる。

【 0 4 0 6 】

10

20

30

40

【数 1 4 5】

$$d_{\text{REF},\xi \eta \zeta} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (r_{\text{REF},\xi \eta \zeta}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0 4 0 7】

代表入力値 $d_{\xi \eta \zeta}(n)$ は、(数 1 4 6) で示す濾波誤差信号 R_m に基づき、基準代表入力値 d_{REF} が (数 1 4 5) で表される場合には (数 1 4 7) で求められる。 10

【0 4 0 8】

【数 1 4 6】

$$R_{m,\xi \eta \zeta}(n) = [r_{\xi \eta \zeta}(n), r_{\xi \eta \zeta}(n-1), \dots, r_{\xi \eta \zeta}(n-(N_m-1))]^T$$

【0 4 0 9】

【数 1 4 7】

$$d_{\xi \eta \zeta}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{\xi \eta \zeta}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad 20$$

【0 4 1 0】

現時点である n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu(n)$ は、例えば (数 9 0) と同様に、基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} を基準代表入力値 d_{REF} に対する代表入力値 $d_{\xi \eta \zeta}(n)$ の比で除算することにより (数 1 4 8) で求める。

【0 4 1 1】

【数 1 4 8】 30

$$\mu_{\xi \eta \zeta}(n) = \mu_{\text{REF},\xi \eta \zeta} \cdot \frac{1}{\frac{d_{\xi \eta \zeta}(n)}{d_{\text{REF},\xi \eta \zeta}}} = \mu_{\text{REF},\xi \eta \zeta} \cdot \frac{d_{\text{REF},\xi \eta \zeta}}{d_{\xi \eta \zeta}(n)}$$

【0 4 1 2】

以上のように、 μ 調整部 8 がステップサイズパラメータ $\mu(i)$ を決定することにより、誤差信号 $e(i)$ が大きい場合でもすべての ADF 部 5 のフィルタ係数 $W(i)$ が発散せずに能動騒音低減装置 5 0 1 が安定して動作する。さらに、誤差信号 $e(i)$ が小さい場合でもフィルタ係数 $W(i)$ の収束速度が高く、能動騒音低減装置 5 0 1 は効果的に騒音 N_0 を低減することができる。 40

【0 4 1 3】

次に実施の形態 3 と同様に、Chat 部 6 のフィルタ係数 $c^{\wedge}(i)$ を時不変の定数 c^{\wedge} として、基準濾波参照信号 $r_{\text{REF}}(i)$ と濾波参照信号 $r(i)$ の代わりに基準誤差信号 $e_{\text{REF}}(i)$ と参照信号 $x(i)$ を用いてステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を算出する動作を説明する。

【0 4 1 4】

μ 調整部 8 は、基準濾波誤差信号 $r_{\text{REF}}(i)$ と濾波誤差信号 $r(i)$ の代わりに基準誤差信号 $e_{\text{REF}}(i)$ と誤差信号 $e(i)$ を用いてステッ 50

プサイズパラメータ μ (n) を算出する。すなわち、(数 1 4 6) に示す濾波誤差信号 R_m (n) の代わりに、現時点である n 番目のステップから $(N_m - 1)$ ステップ分過去までの N_m 個の誤差信号 $e(i)$ からなる N_m 行 1 列のベクトルである誤差信号 E_m (n) を (数 1 4 9) で定義する。

【 0 4 1 5 】

【 数 1 4 9 】

$$E_{m,\xi}(n) = [e_{\xi}(n), e_{\xi}(n-1), \dots, e_{\xi}(n-(N_m-1))]^T$$

【 0 4 1 6 】

また、基準濾波誤差信号 r_{REF} (i) である (数 1 4 4) に示す N_1 行 1 列の基準濾波誤差信号 R_{REF} の代わりに、基準走行条件のある時点である 1 番目のステップから $(N_1 - 1)$ ステップ分過去までの N_1 個の基準誤差信号 e_{REF} (i) で構成される N_1 行 1 列のベクトルである基準誤差信号 E_{REF} を (数 1 5 0) で定義する。

【 0 4 1 7 】

【 数 1 5 0 】

$$E_{REF,\xi} = [e_{REF,\xi}(1), e_{REF,\xi}(1-1), \dots, e_{REF,\xi}(1-(N_1-1))]^T$$

10

20

【 0 4 1 8 】

基準代表入力値 d_{REF} は (数 1 5 0) に示す基準誤差信号 E_{REF} に基づき、例えば (数 1 5 1) で示す実効値によって定数として与えてもよい。

【 0 4 1 9 】

【 数 1 5 1 】

$$d_{REF,\xi} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (e_{REF,\xi}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

30

【 0 4 2 0 】

代表入力値 d (i) は基準代表入力値 d_{REF} と対応するパラメータとして定義し、基準代表入力値 d_{REF} が (数 1 5 1) で表される場合には (数 1 4 7) に示す代表入力値 d (n) と同様に誤差信号 E_m (n) から (数 1 5 2) のように算出する。

【 0 4 2 1 】

【 数 1 5 2 】

$$d_{\xi}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (e_{m,\xi}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

40

【 0 4 2 2 】

以下、能動騒音低減装置 5 0 1 の μ 調整部 8 は (数 1 5 1) に示す基準代表入力値 d_{REF} と (数 1 5 2) に示す代表入力値 d (n) とを用いて、(数 1 4 8) により n 番目のステップでのステップサイズパラメータ μ (n) を求めることができる。したがってステップサイズパラメータを更新するためのパラメータの数や演算を少なくすることができるので、 μ 調整部 8 の処理負荷を能動騒音低減装置 4 0 1 よりも軽くすることができる。

【 0 4 2 3 】

(実施の形態 5)

50

図17は本発明の実施の形態5における能動騒音低減装置601のブロック図である。図17において、図14に示す実施の形態4における能動騒音低減装置401と同じ部分には同じ参照番号を付す。

【0424】

能動騒音低減装置601は信号処理装置604と少なくとも1つの二次騒音源2と少なくとも1つの誤差信号源3とで空間S1の騒音を低減することができる実施の形態4の特別な場合である。

【0425】

実施の形態5における能動騒音低減装置601は4つの二次騒音源2₀~2₃と4つの誤差信号源3₀~3₃とを備えるcase(4,4)のシステム構成である。実施の形態5ではcase(4,4)のシステムを一例として示すが、二次騒音源2と誤差信号源3の数は4個に限らず、互いに異なるcase(,)の構成であってもよい。

10

【0426】

信号処理装置604は、誤差信号源3の出力する誤差信号e(i)を取得する複数の入力端43と、二次騒音源2に対して二次騒音信号y(i)を出力する複数の出力端42と、二次騒音信号y(i)を算出する複数の信号処理部604で構成される。

【0427】

信号処理部604はそれぞれ複数のADF部5とChat部6とLMS演算部7とμ調整部8と、複数の信号を加算して得られた信号を出力する信号加算器9とを備え、さらに参照信号生成部10を備えてもよい。

20

【0428】

参照信号生成部10は、少なくとも1つの誤差信号e(i)に基づく少なくとも1つの参照信号x(i)を出力する。実施の形態5では、参照信号生成部10が、各誤差信号e(i)それぞれに対応する個の参照信号x(i)を出力する例である。

【0429】

ADF部5は二次騒音信号y(n)を(数153)のようにフィルタ係数w(k,n)と参照信号x(i)をフィルタリング演算すなわち畳み込み演算することにより求める。

【0430】

【数153】

$$y_{\zeta \eta}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_{\zeta \eta}(k, n) \cdot x_{\zeta}(n-k)$$

30

【0431】

Chat部6は出力端42と誤差信号e(i)の入力端43との間の音響伝達特性C(i)を模擬した(数154)に示す時不変なフィルタ係数C^を有している。

【0432】

【数154】

$$C^{\wedge}_{\eta \zeta} = [c^{\wedge}_{\eta \zeta}(0), c^{\wedge}_{\eta \zeta}(1), \dots, c^{\wedge}_{\eta \zeta}(N_c - 1)]^T$$

40

【0433】

Chat部6は(数154)に示すフィルタ係数C^と参照信号X(n)とを(数155)で示すフィルタリング演算して濾波参照信号r(n)を算出する。

【0434】

【数 1 5 5】

$$r_{\zeta \eta}(n) = C_{\eta \zeta}^{\wedge T} X_{\zeta}(n)$$

【0 4 3 5】

ここで参照信号 $X_{\zeta}(n)$ は、(数 1 5 6) で示す現時点の n 番目のステップから $(N_c - 1)$ ステップ分過去までの N_c 個の誤差信号 $e_{\zeta}(i) (= x_{\zeta}(i))$ で構成されるベクトルである。

【0 4 3 6】

【数 1 5 6】

$$X_{\zeta}(n) = [x_{\zeta}(n), x_{\zeta}(n-1), \dots, x_{\zeta}(n - (N_c - 1))]^T$$

10

【0 4 3 7】

濾波参照信号 $r_{\zeta \eta}(i)$ からなる N 行 1 列の濾波参照信号 $R_{\zeta \eta}(n)$ は (数 1 5 7) で示される。

【0 4 3 8】

【数 1 5 7】

$$R_{\zeta \eta}(n) = [r_{\zeta \eta}(n), r_{\zeta \eta}(n-1), \dots, r_{\zeta \eta}(n - (N - 1))]^T$$

20

【0 4 3 9】

μ 調整部 8 は基準ステップサイズパラメータ μ_{REF} と、参照信号 $x_{\zeta}(i)$ と濾波参照信号 $r_{\zeta \eta}(i)$ と誤差信号 $e_{\zeta}(i)$ のうち少なくとも 1 つの信号に基づき、現時点のステップサイズパラメータ $\mu_{\zeta \eta}(n)$ を出力する。

【0 4 4 0】

LMS 演算部 7 は、(数 1 5 8) で示すフィルタ係数 $W_{\zeta \eta}(n)$ を (数 1 5 9) のように更新する。

【0 4 4 1】

【数 1 5 8】

$$W_{\zeta \eta}(n) = [w_{\zeta \eta}(0, n), w_{\zeta \eta}(1, n), \dots, w_{\zeta \eta}(N - 1, n)]^T$$

30

【0 4 4 2】

【数 1 5 9】

$$W_{\zeta \eta}(n+1) = W_{\zeta \eta}(n) - \mu_{\zeta \eta}(n) \cdot e_{\zeta}(n) \cdot R_{\zeta \eta}(n)$$

【0 4 4 3】

信号加算器 9 は二次騒音信号 $y_{\zeta \eta}(n)$ を (数 1 6 0) で示すように合計して、二次騒音源 2 に供給される二次騒音信号 $y(n)$ を生成する。

40

【0 4 4 4】

【数 1 6 0】

$$y_{\eta}(n) = \sum_{\zeta=0}^3 y_{\zeta \eta}(n)$$

【0 4 4 5】

実施の形態 4 における能動騒音低減装置 4 0 1 では、フィルタ係数 $W_0(k, n)$ は誤差信号 $e_0(i) \sim e_3(i)$ で更新される。実施の形態 5 における能動騒音低減装置

50

601では、フィルタ係数 $W_0(k, n)$ は誤差信号 $e_0(i)$ で更新される。つまり、と一致しない誤差信号は用いられない。

【0446】

以上のように、能動騒音低減装置601は(数159)に基づいてサンプリング周期 T_s ごとにADF部5のフィルタ係数 $W(n)$ を更新することで、複数の誤差信号源3の位置で騒音 N_0 を打ち消す最適な二次騒音信号 $y(n)$ を求めることができ、空間 S_1 内で騒音 N_0 を低減することができる。

【0447】

次に μ 調整部8における現時点である n 番目のステップのステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を算出する動作を説明する。

10

【0448】

μ 調整部8は、基準走行条件における複数の基準濾波参照信号 $r_{REF, \zeta \eta}(i)$ それぞれに基づく基準代表入力値 $d_{REF, \zeta \eta}$ と基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF, \zeta \eta}$ と、各基準代表入力値 $d_{REF, \zeta \eta}$ に対応する代表入力値 $d(n)$ から現時点である n 番目のステップのステップサイズパラメータ $\mu(n)$ を算出する。

【0449】

基準走行条件におけるある時点である l 番目のステップから $(N_1 - 1)$ ステップ分過去までの基準濾波誤差信号 $r_{REF, \zeta \eta}(i)$ で構成される N_1 行1列のベクトルである基準濾波誤差信号 $R_{REF, \zeta \eta}$ を(数84)同様に(数161)で定義する。

【0450】

20

【数161】

$$R_{REF, \zeta \eta} = [r_{REF, \zeta \eta}(1), r_{REF, \zeta \eta}(1-1), \dots, r_{REF, \zeta \eta}(1-(N_1-1))]^T$$

【0451】

基準代表入力値 $d_{REF, \zeta \eta}$ は基準走行条件における基準濾波参照信号 $R_{REF, \zeta \eta}$ に基づき、例えば(数85)と同様に(数162)によって定数として与えることができる。

【0452】

【数162】

30

$$d_{REF, \zeta \eta} = \left(\frac{1}{N_1} \sum_{l=0}^{N_1-1} (r_{REF, \zeta \eta}(l))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0453】

代表入力値 $d(n)$ は、(数163)で示す濾波参照信号 R_m に基づき、基準代表入力値 $d_{REF, \zeta \eta}$ が(数162)で表される場合には(数164)で求められる。

【0454】

40

【数163】

$$R_{m, \zeta \eta}(n) = [r_{\zeta \eta}(n), r_{\zeta \eta}(n-1), \dots, r_{\zeta \eta}(n-(N_m-1))]^T$$

【0455】

【数 1 6 4】

$$d_{\zeta \eta}(n) = \left(\frac{1}{N_m} \sum_{m=0}^{N_m-1} (r_{\zeta \eta}(n-m))^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0 4 5 6】

(数 1 2 9)と同様に、現時点である n 番目のステップにおけるステップサイズパラメータ $\mu_{\zeta \eta}(n)$ は基準ステップサイズパラメータ $\mu_{REF, \zeta \eta}$ を基準代表入力値 $d_{REF, \zeta \eta}$ に対する代表入力値 $d_{\zeta \eta}(n)$ の比で除算することにより(数 1 6 5)で求める。 10

【0 4 5 7】

【数 1 6 5】

$$\mu_{\zeta \eta}(n) = \mu_{REF, \zeta \eta} \cdot \frac{1}{\frac{d_{\zeta \eta}(n)}{d_{REF, \zeta \eta}}} = \mu_{REF, \zeta \eta} \cdot \frac{d_{REF, \zeta \eta}}{d_{\zeta \eta}(n)}$$

【0 4 5 8】

以上のように、 μ 調整部 8 がステップサイズパラメータ $\mu_{\zeta \eta}(i)$ を決定することにより、参照信号 $x_{\zeta \eta}(i)$ が大きい場合でもすべての ADF 部 5 のフィルタ係数 $W_{\zeta \eta}(i)$ が発散せず、能動騒音低減装置 6 0 1 が安定して動作する。さらに、参照信号 $x_{\zeta \eta}(i)$ が小さい場合でもフィルタ係数 $W_{\zeta \eta}(i)$ の収束速度が高く、能動騒音低減装置 6 0 1 は効果的に騒音 N_0 を低減することができる。 20

【0 4 5 9】

図 1 8 は本発明の実施の形態 6 における能動騒音低減装置 7 0 1 のブロック図である。図 1 8 において、図 1、1 2 に示す実施の形態 1、3 における能動騒音低減装置 1 0 1、3 0 1 と同じ部分には同じ参照番号を付す。能動騒音低減装置 7 0 1 は参照信号源 1 と二次騒音源 2 と誤差信号源 3 と信号処理装置 7 0 4 とで構成される。信号処理装置 7 0 4 は 30、信号処理部 4 F、3 0 4 B と信号加算器 7 0 9 よりなる。信号処理部 4 F は参照信号 $x_{\zeta \eta}(i)$ と誤差信号 $e_{\zeta \eta}(i)$ とに応じて二次騒音信号 $y_{F, \zeta \eta}(i)$ を出力する。信号処理部 3 0 4 B は誤差信号 $e_{\zeta \eta}(i)$ に応じて二次騒音信号 $y_{B, \zeta \eta}(i)$ を出力する。信号加算器 7 0 9 は二次騒音信号 $y_{F, \zeta \eta}(i)$ 、 $y_{B, \zeta \eta}(i)$ を加算して二次騒音信号 $y_{\zeta \eta}(i)$ を生成する。二次騒音源 2 が二次騒音信号 $y_{\zeta \eta}(i)$ を再生して発生させる二次騒音 N_1 を空間 S_1 内に生じている騒音 N_0 に干渉させることによって騒音 N_0 を低減する。

【0 4 6 0】

信号処理装置 7 0 4 は、参照信号 $x_{\zeta \eta}(i)$ を取得する入力端 4 1 と誤差信号 $e_{\zeta \eta}(i)$ を取得する入力端 4 3 と、二次騒音信号 $y_{\zeta \eta}(i)$ を出力する出力端 4 2 とを有する。 40

【0 4 6 1】

信号処理部 4 F は、図 1 に示す実施の形態 1 における信号処理装置 4 の ADF 部 5 と Chat 部 6 と LMS 演算部 7 と μ 調整部 8 と、それぞれ同様の機能を有する ADF 部 5 F と Chat 部 6 F と LMS 演算部 7 F と μ 調整部 8 F とを有する。ADF 部 5 F は、実施の形態 1 における ADF 部 5 と同様に、フィルタ係数と参照信号 $x_{\zeta \eta}(i)$ をフィルタリング演算すなわち畳み込み演算することにより二次騒音信号 $y_{F, \zeta \eta}(i)$ を求める。LMS 演算部 7 F は実施の形態 1 における LMS 演算部 7 と同様に、ADF 部 5 F のフィルタ係数を更新する。 μ 調整部 8 F は実施の形態 1 における μ 調整部 8 と同様に、参照信号 $x_{\zeta \eta}(i)$ と濾波参照信号 $r_{F, \zeta \eta}(i)$ と誤差信号 $e_{\zeta \eta}(i)$ の少なくとも 1 つに応じて、ADF 部 5 F のフィルタ係数を更新するためのステップサイズパラメータ $\mu_{F, \zeta \eta}(i)$ を決定する。 50

【0 4 6 2】

信号処理部 304B は、図 12 に示す実施の形態 3 における信号処理装置 304 の ADF 部 5 と Chat 部 6 と LMS 演算部 7 と μ 調整部 8 と参照信号生成部 10 とそれぞれ同様の機能を有する ADF 部 5B と Chat 部 6B と LMS 演算部 7B と μ 調整部 8B とを有し、参照信号生成部 10B を有してもよい。ADF 部 5B は実施の形態 3 における ADF 部 5 と同様に、フィルタ係数と参照信号 $x_B(i)$ をフィルタリング演算すなわち畳み込み演算することにより二次騒音信号 $y_B(i)$ を求める。LMS 演算部 7B は実施の形態 3 における LMS 演算部 7 と同様に、ADF 部 5B のフィルタ係数を更新する。 μ 調整部 8B は実施の形態 3 における μ 調整部 8 と同様に、参照信号 $x_B(i)$ と濾波誤差信号 $r_B(i)$ と誤差信号 $e(i)$ の少なくとも 1 つに応じて、ADF 部 5B のフィルタ係数を更新するためのステップサイズパラメータ $\mu_B(i)$ を決定する。

10

【0463】

能動騒音低減装置 701 は、実施の形態 1、3 における能動騒音低減装置 101、301 と同様に、参照信号 $x(i)$ や誤差信号 $e(i)$ の大きさに関わらず、ADF 部 5F、5B の安定性の確保と高い収束速度とを両立できる。

【産業上の利用可能性】

【0464】

本発明における能動騒音低減装置は、適応フィルタ部の安定性の確保と高い収束速度とを両立でき、自動車等の車両を初めとする移動体に適用できる。

【符号の説明】

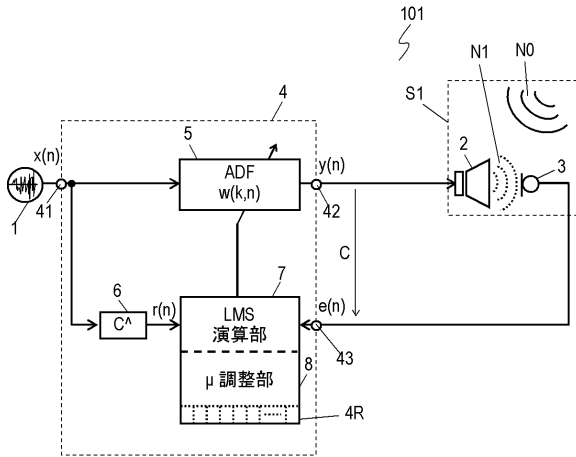
【0465】

20

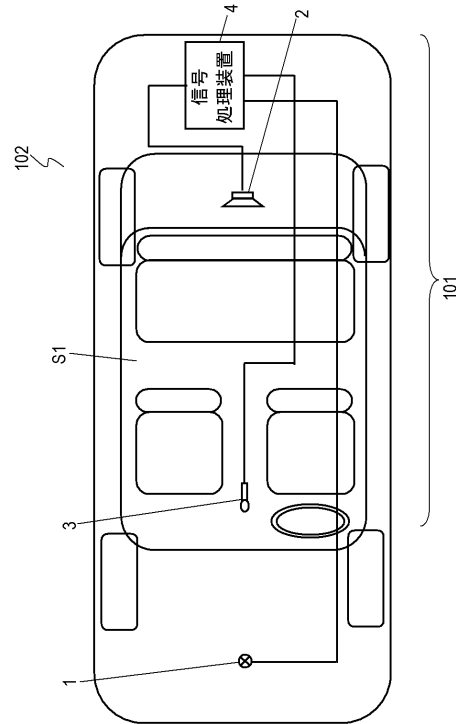
- 1 参照信号源
- 2 二次騒音源
- 3 誤差信号源
- 4 信号処理装置
- 4R レジスタ
- 5 適応フィルタ部
- 6 模擬音響伝達特性フィルタ部
- 7 最小二乗平均演算部
- 8 μ 調整部
- 10 参照信号生成部
- 41 入力端（第一の入力端）
- 42 出力端
- 43 入力端（第二の入力端）
- 101 能動騒音低減装置
- 102 移動体
- 103 能動騒音低減装置
- 301 能動騒音低減装置
- S1 空間

30

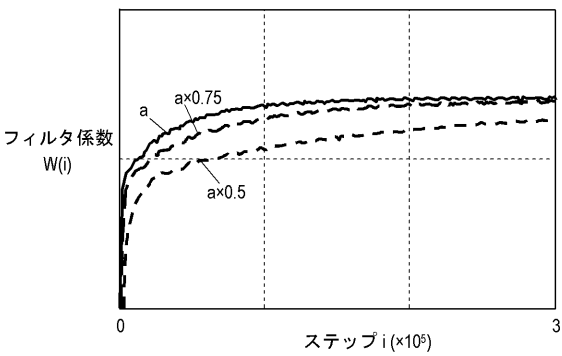
【図1】



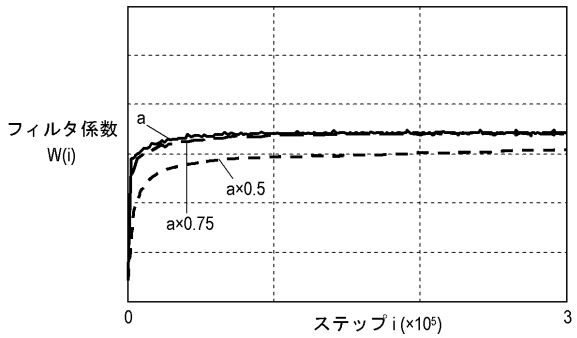
【図2】



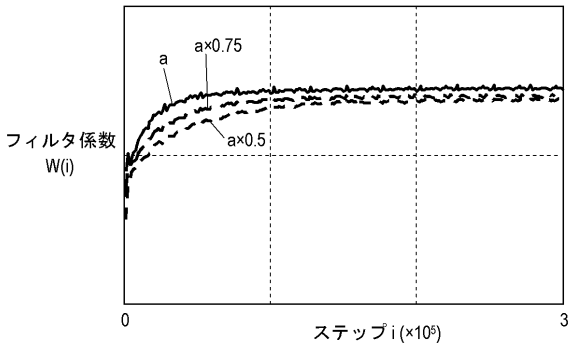
【図3】



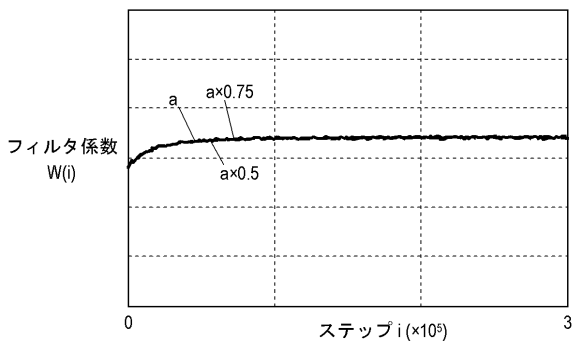
【図5】



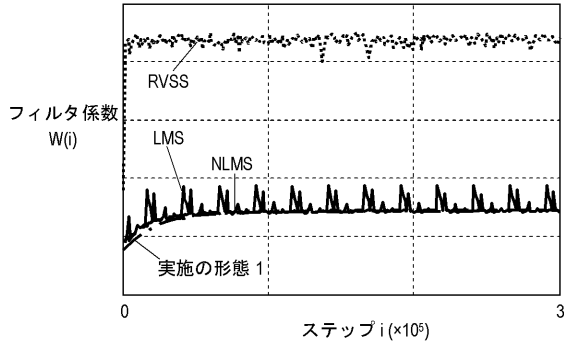
【図4】



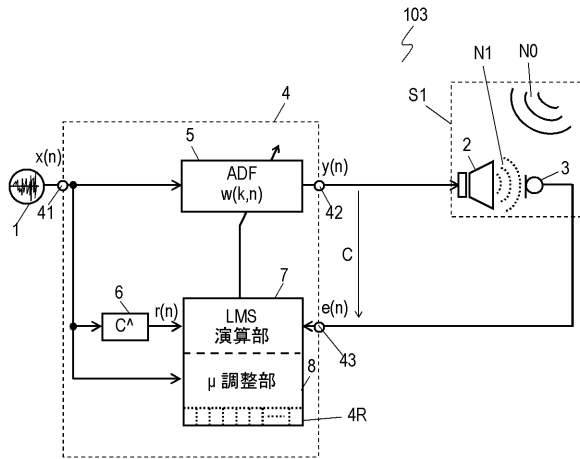
【図6】



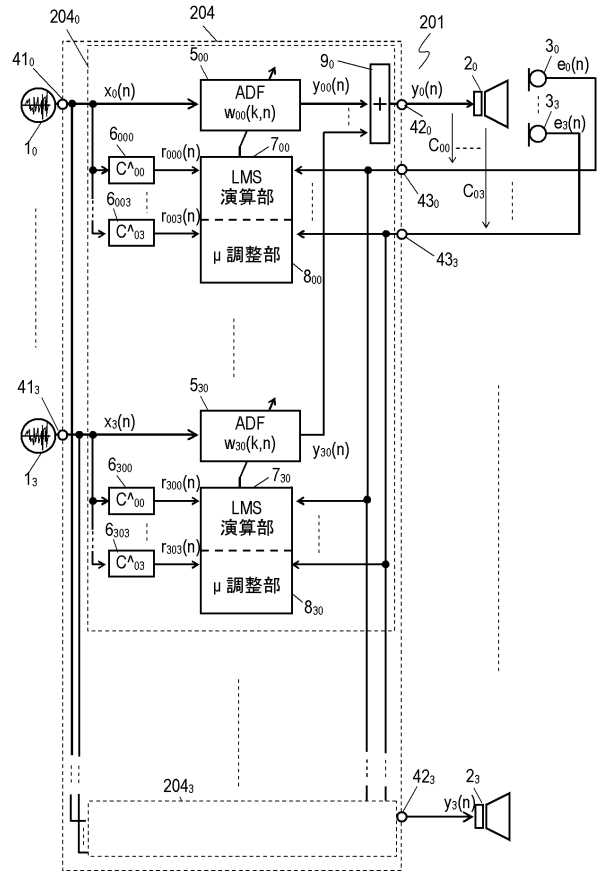
【図7】



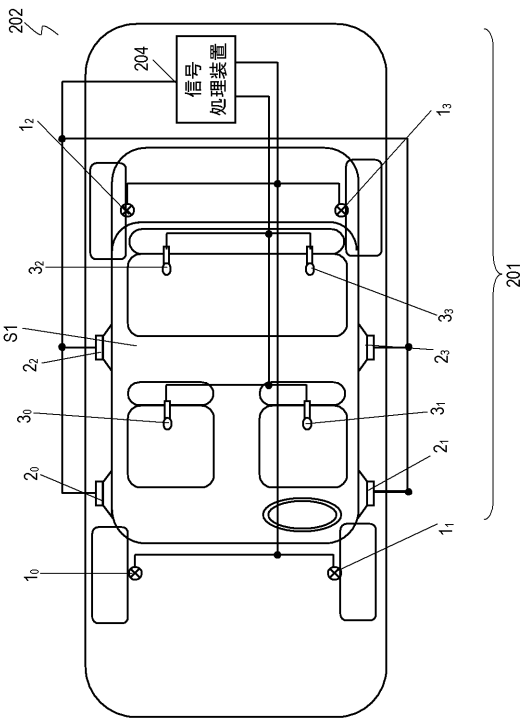
【図8】



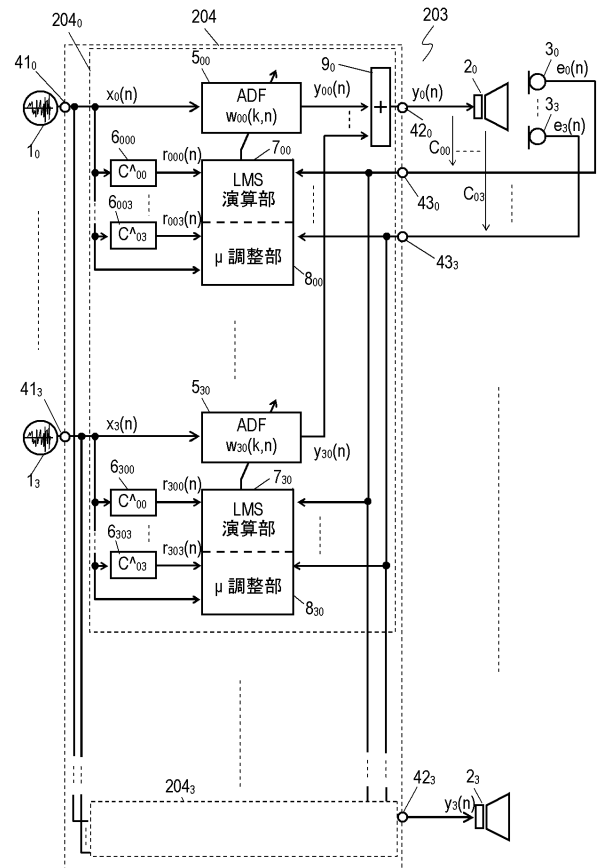
【図9】



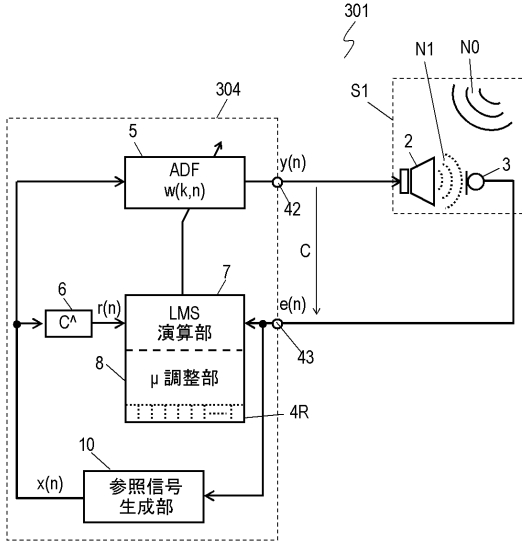
【図10】



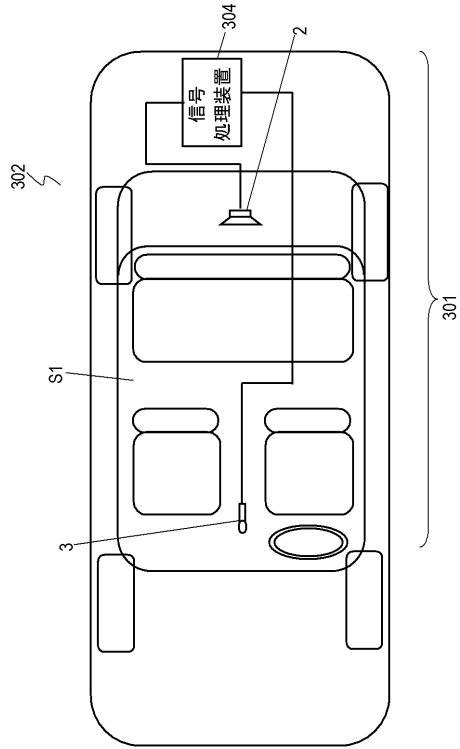
【図11】



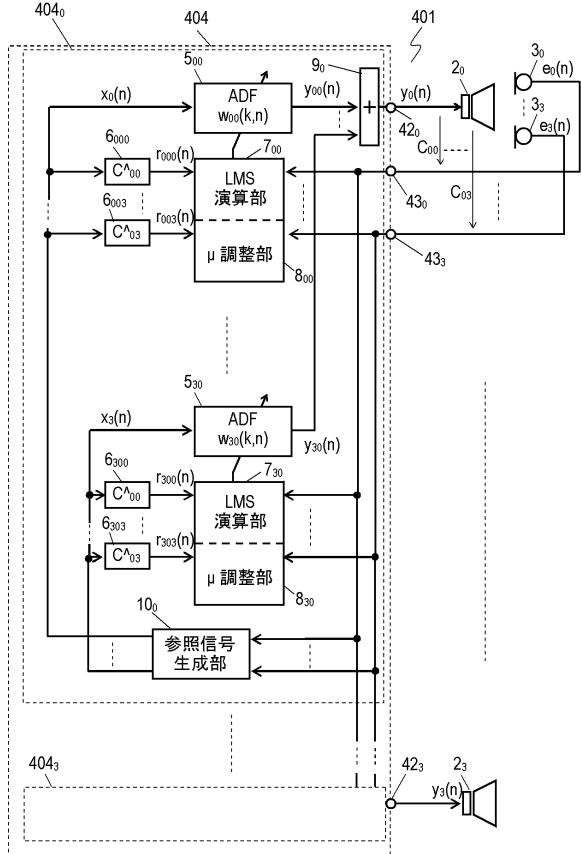
【図12】



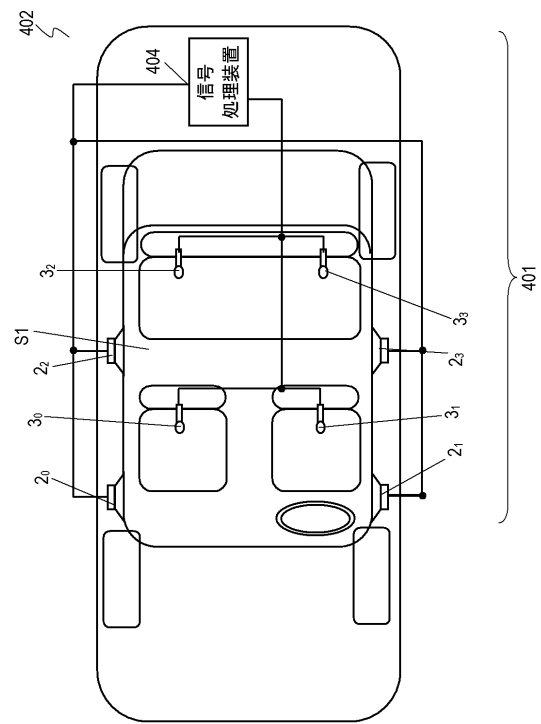
【図13】



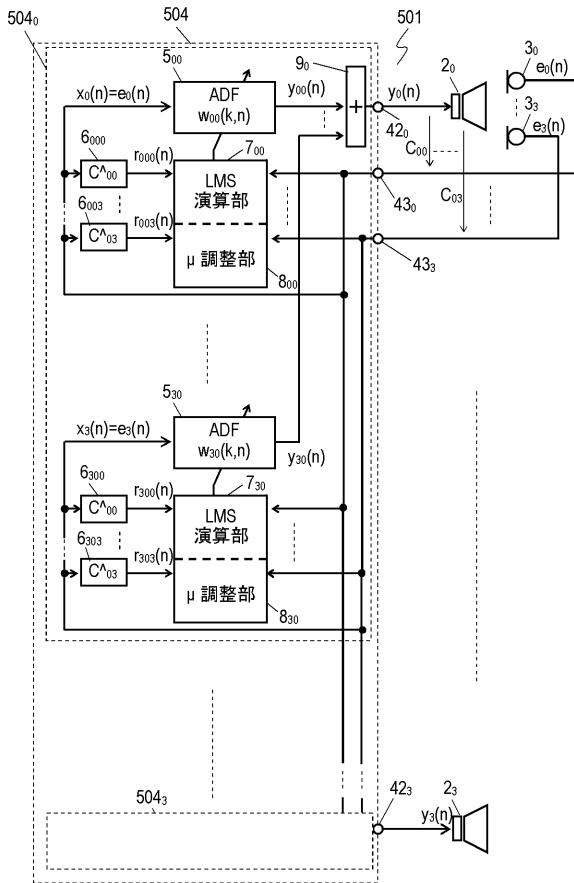
【図14】



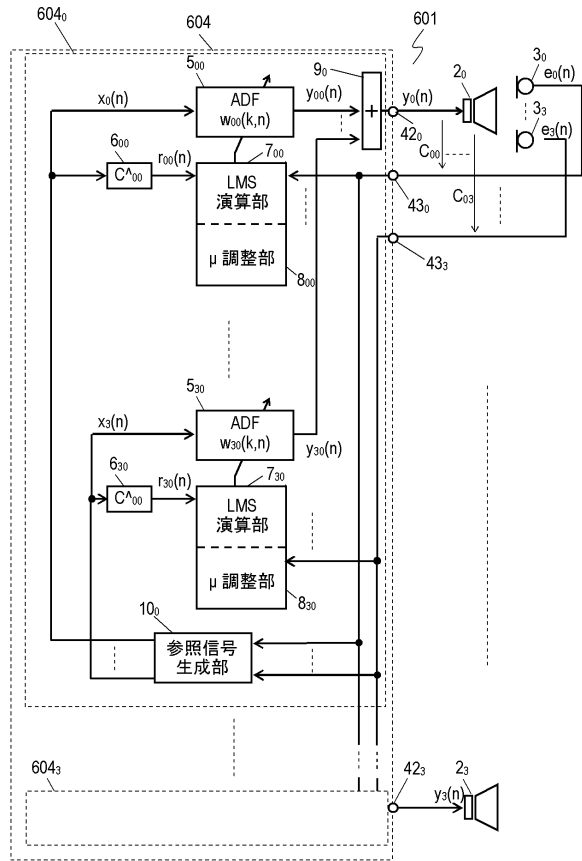
【図15】



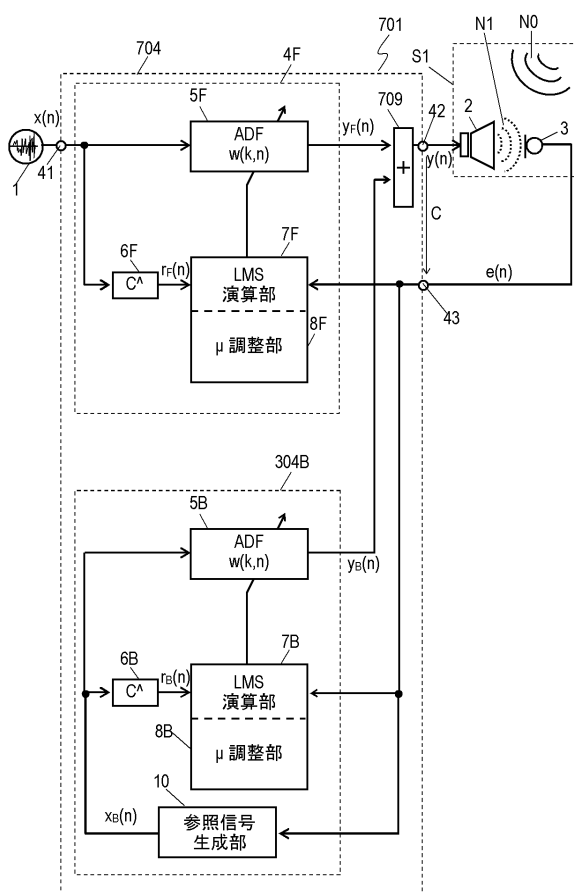
【図16】



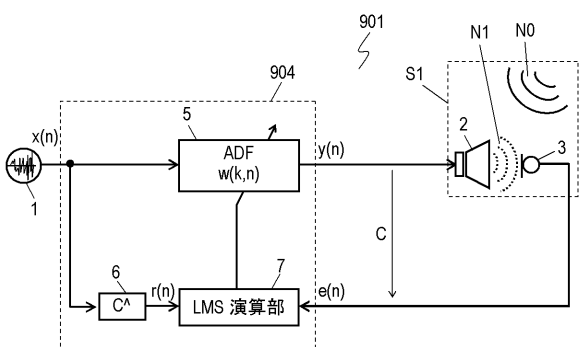
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 開藤 充
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 大野 弘

(56)参考文献 特開2001-234728(JP,A)
特開平07-219565(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G10K 11/178
B60R 11/02