

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年1月2日(02.01.2020)



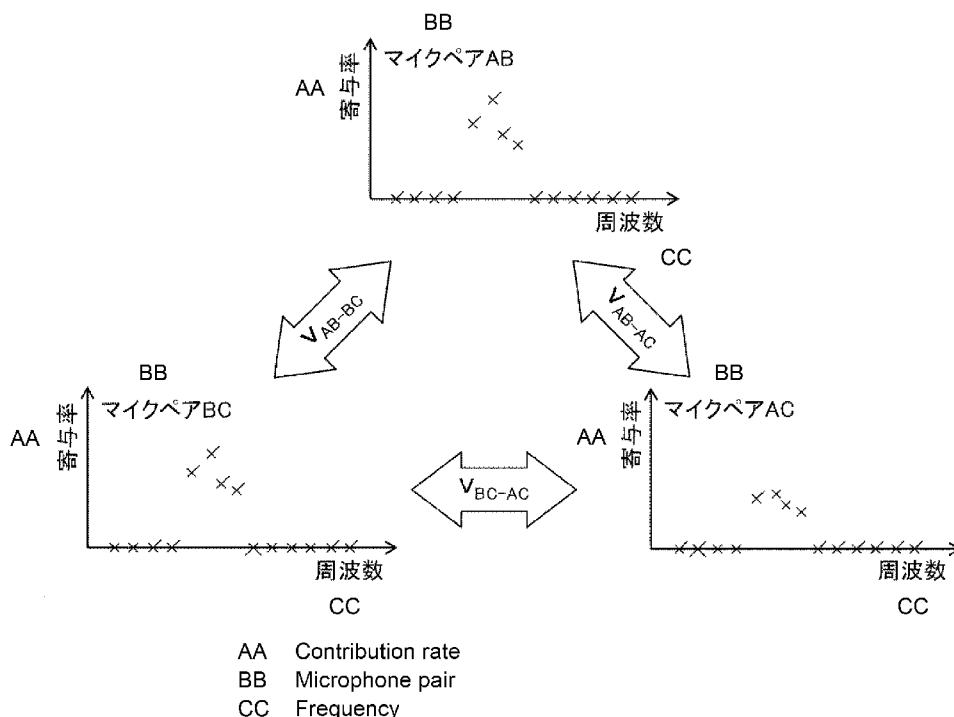
(10) 国際公開番号

WO 2020/003343 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 3/808 (2006.01) *G01H 3/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/023971
- (22) 国際出願日: 2018年6月25日(25.06.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 荒井 友督 (ARAI Yumi); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 近藤 玲史 (KONDO Reishi); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 仙田 裕三 (SENDA Yuzo); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 下 坂 直 樹 (SHIMOSAKA Naoki); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

(54) Title: WAVE-SOURCE-DIRECTION ESTIMATION DEVICE, WAVE-SOURCE-DIRECTION ESTIMATION METHOD, AND PROGRAM STORAGE MEDIUM

(54) 発明の名称: 波源方向推定装置、波源方向推定方法、およびプログラム記録媒体



(57) Abstract: To reduce erroneous estimation of a virtual-image wave source and highly accurately estimate the direction of a wave source, this wave-source-direction estimation device is made to comprise: a plurality of input units for acquiring input signals based on waves; a signal selection unit for selecting a plurality of pairs that are each a combination of two input signals from among the plurality of input signals; a relative delay time calculation unit for calculating, as relative delay times, the wave arrival time differences for each direction from a wave source to the sensors that have

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

supplied the two input signals composing each pair; and an integrated estimated direction information calculation unit for generating per-frequency estimated-direction-information for each pair of input signals using the pair of input signals and the relative delay times for the pair, calculating per-frequency contribution rates to the estimated direction information for each wave source direction using the per-frequency estimated-direction-information generated for each pair, using the calculated contribution rates to calculate weightings for each wave source direction that correspond to the similarity of the contribution rates between different pairs, and generating integrated estimated direction information in which the estimated direction information for each pair is weighted.

(57) 要約：虚像波源の誤推定の発生を低減し、高精度に波源の方向を推定するために、波動に基づく入力信号を取得する複数の入力部と、複数の入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択する信号選択部と、ペアをなす二つの入力信号の供給元のセンサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出する相対遅延時間計算部と、ペアをなす入力信号とペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報をペアごとに生成し、生成したペアごとの周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出し、算出した寄与率に基づいて異なるペア間の寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算し、全てのペアの推定方向情報に重みをつけた統合推定方向情報を生成する統合推定方向情報算出部とを備える波源方向推定装置とする。

明 細 書

発明の名称：

波源方向推定装置、波源方向推定方法、およびプログラム記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、波源方向推定装置、波源方向推定方法、およびプログラムに関する。特に、本発明は、複数のセンサによって検出された波動に基づく信号を用いて波源方向を推定する波源方向推定装置、波源方向推定方法、およびプログラムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献1および非特許文献1には、2つのマイクロフォンの受信信号の到達時間差から音源の方向を推定する方法が開示されている。特許文献1および非特許文献1の方法では、音波の到達時間差の確率密度関数を周波数別に求め、それらの重ね合わせにより得られた確率密度関数から到達時間差を算出し、音源方向を推定する。

[0003] 特許文献2には、位相差分布を用いる音源方向推定装置について開示されている。特許文献2の装置は、複数のマイクから複数チャンネルの音響信号を取得し、それらの信号の位相差を予め定めた周波数ビンごとに計算して位相差分布を生成する。特許文献2の装置は予め方向ごとに生成されたテンプレートと位相差分布との相似性に応じたスコアを方向ごとに計算し、算出したスコアに基づいて音源の方向を推定する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2018/003158号

特許文献2：特開2015-161551号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献1：M. Kato, Y. Senda, R. Kondo, “TDOA estimation based on phase-voting cross correlation and circular standard deviation,” 25th

European Signal Processing Conference (EUSIPCO), EURASIP, August 2017, p.1230-1234

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献1および非特許文献1の方法では、信号対雑音比（S N R : Signal-to-Noise Ratio）が高い周波数帯域では、到達時間差の確率密度関数が鋭いピークを形成する。そのため、特許文献1および非特許文献1の方法によれば、高S N R帯域が少なくても精度よく到達時間差を推定することができる。しかしながら、特許文献1および非特許文献1の方法においては、周波数別の到達時間差の確率密度関数を重ね合わせる際に、音源が存在しなくても、偶然に位相が揃うことで重ね合わせた確率密度関数にピークが生成される。そのため、特許文献1および非特許文献1の方法には、虚像音源を誤推定してしまうという問題点があった。

[0007] 特許文献2の装置によれば、位相差分布を用いた音源方向の推定を少ない計算量で行うことができる。特許文献2の装置では、2つのマイクロフォンの間の位相差分布を、あらかじめ方向ごとに生成されたテンプレートと比較して、相似性が高い方向を音源の方向として推定する。しかしながら、特許文献2の装置には、音源が存在しなくても、偶然に位相差分布がテンプレートと相似した場合に、虚像音源を誤推定してしまうという問題点があった。

[0008] 本発明の目的は、上述した課題を解決し、虚像波源の誤推定の発生を低減し、高精度に波源の方向を推定することができる波源方向推定装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一態様の波源方向推定装置は、複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得する複数の入力部と、複数の入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択する信号選択部と、ペアをなす二つの入力信号の供給元のセンサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出する相対遅延時間計算部と、ペアをなす入力信

号とペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報をペアごとに生成し、生成したペアごとの周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出し、算出した寄与率に基づいて異なるペア間の寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算し、全てのペアの推定方向情報に重みをつけて統合することによって統合推定方向情報を生成する統合推定方向情報算出部とを備える。

[0010] 本発明の一態様の波源方向推定方法においては、情報処理装置が、複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得し、複数の入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択し、ペアをなす二つの入力信号の供給元のセンサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出し、ペアをなす入力信号とペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報をペアごとに生成し、生成したペアごとの周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出し、算出した寄与率に基づいて異なるペア間の寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算し、全てのペアの推定方向情報に重みをつけて統合することによって統合推定方向情報を生成する。

[0011] 本発明の一態様のプログラムは、複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得する処理と、複数の入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択する処理と、ペアをなす二つの入力信号の供給元のセンサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出する処理と、ペアをなす入力信号とペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報をペアごとに生成する処理と、生成したペアごとの周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出する処理と、算出した寄与率に基づいて異なるペア間の寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算する処理と、全てのペアの推定方向情報に重みをつけて統合することによって統合推定方向情報を生成する処理とをコンピュータに実行させる。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、虚像波源の誤推定の発生を低減し、高精度に波源の方向を推定することができる波源方向推定装置を提供することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の第1の実施形態に係る波源方向推定装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図2]本発明の第1の実施形態に係る波源方向推定装置の相対遅延時間計算部の処理の一例について説明するための概念図である。

[図3]本発明の第1の実施形態に係る波源方向推定装置の相対遅延時間計算部の処理の別の一例について説明するための概念図である。

[図4]本発明の第1の実施形態に係る波源方向推定装置の推定方向情報・周波数寄与率生成部の構成の一例を示すブロック図である。

[図5]本発明の第1の実施形態に係る波源方向推定装置の推定方向情報・周波数寄与率生成部に含まれる周波数別クロススペクトル生成部の構成の一例を示すブロック図である。

[図6]本発明の第1の実施形態に係る波源方向推定装置の推定方向情報・周波数寄与率生成部が算出するマイクペアごとの推定方向情報の一例を示す概念図である。

[図7]本発明の第1の実施形態に係る波源方向推定装置の重み計算部が算出するマイクペアごとの周波数寄与率の一例を示す概念図である。

[図8]本発明の第1の実施形態に係る波源方向推定装置にセンサを追加した構成の一例を示すブロック図である。

[図9]本発明の第1の実施形態に係る波源方向推定装置の動作の概略について説明するためのフローチャートである。

[図10]本発明の第2の実施形態に係る波源方向推定装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図11]本発明の第2の実施形態に係る波源方向推定装置の周波数別推定方向情報生成部の構成の一例を示すブロック図である。

[図12]本発明の第2の実施形態に係る波源方向推定装置の重み生成部の構成

の一例を示すブロック図である。

[図13]本発明の第2の実施形態に係る波源方向推定装置の動作の概略について説明するためのフローチャートである。

[図14]本発明の第3の実施形態に係る波源方向推定装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図15]本発明の第4の実施形態に係る波源方向推定装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図16]本発明の各実施形態に係る波源方向推定装置を実現するハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下に、本発明を実施するための形態について図面を用いて説明する。ただし、以下に述べる実施形態には、本発明を実施するために技術的に好ましい限定がされているが、発明の範囲を以下に限定するものではない。なお、以下の実施形態の説明に用いる全図においては、特に理由がない限り、同様箇所には同一符号を付す。また、以下の実施形態において、同様の構成・動作に関しては繰り返しの説明を省略する場合がある。また、図面中の矢印の向きは、一例を示すものであり、ブロック間の信号の向きを限定するものではない。

[0015] (第1の実施形態)

まず、本発明の第1の実施形態に係る波源方向推定装置について図面を参照しながら説明する。以下においては、本実施形態の波源方向推定装置が、空気や水の振動波である音波の発生源（波源とも呼ぶ）の方向を推定する例について説明する。そのため、本実施形態の波源方向推定装置は、マイクロフォン（以下、マイクとも呼ぶ）によって電気信号に変換された音波の波源の方向を推定対象とする。なお、本実施形態の波源方向推定装置の推定対象は、音波の波源の方向に限定されず、振動波や電磁波などの任意の波動の波源の方向を推定することに使用できる。

[0016] (構成)

図 1 は、本実施形態の波源方向推定装置 10 の構成を示すブロック図である。波源方向推定装置 10 は、複数の入力端子 11、信号選択部 12、相対遅延時間計算部 13、複数の推定方向情報・周波数寄与率生成部 15、重み計算部 16、および統合部 17 を備える。

[0017] 波源方向推定装置 10 は、 p 個の入力端子 11 を備える（ p は 2 以上の整数）。また、波源方向推定装置 10 は、 R 個の推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 を備える（ R は 1 以上の整数）。図 1 においては、個々の入力端子 11 を区別するために、符号の後にハイフンを挟んで 1 ～ p の番号を付す。同様に、図 1 においては、個々の推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 を区別するために、符号の後にハイフンを挟んで 1 ～ R の番号を付す。なお、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 の番号は、波源方向の推定に用いられるマイクのペア（以下、マイクペアとも呼ぶ）の番号を表す。

[0018] [入力端子]

複数の入力端子 11-1 ～ p （入力部とも呼ぶ）のそれぞれは、図示しないマイクに接続される。複数の入力端子 11-1 ～ p のそれぞれには、異なる位置に配置された複数のマイクによって集音された音波（音信号とも呼ぶ）から変換された電気信号が入力信号として入力される。以下において、時刻 t において m 番目の入力端子 11- m に入力した入力信号を $x_m(t)$ と記載する（ t ：実数、 m ：1 以上 p 以下の整数）。

[0019] マイクは、目標音源で発生した音と、そのマイクの周囲で発生した様々な雑音とが混ざり合った音波を集音する集音装置である。マイクは、集音した音波をデジタル信号（サンプル値系列とも呼ぶ）に変換する。複数のマイクは、目標音源からの音波を集音するために異なる位置に配置される。複数のマイクは、入力端子 11-1 ～ p のそれぞれに接続される。以下においては、 m 番目のマイクによって集音された音波から変換された入力信号は、 m 番目の入力端子 11- m に供給されるものとする。また、 m 番目の入力端子 11- m に供給された入力信号のことを「 m 番目のマイクの入力信号」とも呼ぶ。

[0020] 〔信号選択部〕

信号選択部 12 は、入力端子 11-1 ~ p に供給される p 個の入力信号の中から 2 つの入力信号を選択する。信号選択部 12 は、選択した 2 つの入力信号を推定方向情報・周波数寄与率生成部 15-1 ~ R のいずれかに出力し、それらの入力信号の供給元であるマイクの位置情報（以下、マイク位置情報とも呼ぶ）を相対遅延時間計算部 13 に出力する。

[0021] 推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 の数 R は、入力信号の組み合わせの数 R に相当する。信号選択部 12 は、2 個の入力信号を選択する際に、全ての組み合わせを選択してもよいし、一部の組み合わせを選択してもよい。全ての組み合わせを選択する場合、R は以下の式 1 で表される。

$$R = C(p, 2) = \frac{p!}{2!(p-2)!} \cdot \dots \quad (1)$$

[0022] 波源方向推定装置 10 は、目標音源からの音波が 2 つのマイク（マイクペアとも呼ぶ）に到達する時間差を用いて音源の方向を推定する。2 つのマイクの間隔（以下、マイク間隔とも呼ぶ）が大きすぎると、目標音源からの音が空気や水などの媒質の影響で同一の音として観測されないために方向推定精度が低下する。また、マイク間隔が小さすぎると、2 つのマイクへの音波の到達時間差が小さくなりすぎるために方向推定精度が低下する。そのため、信号選択部 12 は、式 2 に示すように、マイク間隔 d が一定の範囲内に収まるマイクペアの入力信号を組み合わせで選択するのがよい（ d_{min} 、 d_{max} ：実数）。

$$d_{min} \leq d \leq d_{max} \cdot \dots \quad (2)$$

[0023] 例えば、信号選択部 12 は、マイク間隔 d が十分に小さい場合、マイク間隔 d が最大の 2 つの入力信号を選択する。また、例えば、信号選択部 12 は、マイク間隔 d が十分に小さい場合、マイク間隔 d が大きい方から順に並べ、上位 R 位（ $r < C(p, 2)$ ）までの入力信号の組み合わせを選択する。このように、複数のマイクからの入力信号のうち一部の組み合わせを選択することによって、方向推定精度の低下を防げるとともに、計算量を低減でき

る。

[0024] 〔相対遅延時間計算部〕

相対遅延時間計算部 13 には、信号選択部 12 からマイク位置情報が入力される。相対遅延時間計算部 13 は、予め設定された音源探索対象方向（音源方向とも呼ぶ）と、マイク位置情報とを用いて、信号選択部 12 が選択した全てのマイクペアごとに相対遅延時間を算出する。相対遅延時間とは、2つのマイクのマイク間隔と、音源方向とに基づいて一意に定まる音波の到達時間差のことである。例えば、音源方向は、所定の角度刻みで設定される。すなわち、相対遅延時間計算部 13 は、設定された音源方向について相対遅延時間を計算する。相対遅延時間計算部 13 は、算出した音源方向と相対遅延時間とのセットを推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 に出力する。

[0025] 相対遅延時間は、マイクペアの位置関係によって算出方法が異なる。以下において、マイクペアの位置関係を二つ挙げ、それらのマイクペアの位置関係ごとに相対遅延時間の算出方法を示す。

[0026] 図 2 は、3 のマイクが同一直線上に配置される例である。ここで、音速を c 、マイク間隔を d_r 、音源方向を θ とする。音源方向 θ は、音源 100 の方向を推定するために設定される少なくとも一つの角である。このとき、音源方向 θ に対する相対遅延時間 $\tau_r(\theta)$ は、以下の式 3 を用いて計算できる。

$$\tau_r(\theta) = \frac{d_r \cos \theta}{c} \dots (3)$$

[0027] マイク間隔 d は、信号選択部 12 によって選択される入力信号の組み合わせにより異なる。すなわち、相対遅延時間 $\tau_r(\theta)$ は、組み合わせ番号 r ごとに異なる。例えば、マイクペア A B のマイク間隔を d_1 とすると、マイクペア A B の相対遅延時間 $\tau_1(\theta)$ は、以下の式 4 を用いて計算できる。

$$\tau_1(\theta) = \frac{d_1 \cos \theta}{c} \dots (4)$$

[0028] また、図 2 のマイクペア A C のマイク間隔を d_2 とすると、マイクペア A C の相対遅延時間 $\tau_2(\theta)$ は、以下の式 5 を用いて計算できる。

$$\tau_2(\theta) = \frac{d_2 \cos \theta}{c} \dots (5)$$

[0029] このように、全てのマイクが同一直線上に位置する場合、ある音源 100 に関する相対遅延時間 $\tau_r(\theta)$ はマイク間隔 d に比例するが、音源方向 θ はどのマイクから見ても同一とみなせる。

[0030] 図 3 は、二組のマイクペアが互いに直交する直線上に配置される例である。図 3 の例では、音源方向 θ がマイクペアによって異なる。マイクペア AB の相対遅延時間 $\tau_1(\theta)$ は、以下の式 6 を用いて計算できる。

$$\tau_1(\theta_1) = \frac{d_1 \cos \theta_1}{c} \dots (6)$$

[0031] 一方、図 3 のマイクペア CD の相対遅延時間 $\tau_2(\theta)$ は、以下の式 7 で計算できる。

$$\tau_2(\theta_1) = \frac{d_2 \cos \theta_2}{c} = \frac{d_2 \cos(90 - \theta_1)}{c} \dots (7)$$

[0032] このように、あるマイクペアを基準とする別のマイクペアの相対遅延時間 $\tau_r(\theta)$ は、基準のマイクペアから見た音源方向 θ の関数として、以下の式 8 のように一般化できる。なお、基準とするマイクペアはどれを選んでもかまわない。

$$\tau_r(\theta) = \frac{d_r \cos \theta_r(\theta)}{c} \dots (8)$$

[0033] 相対遅延時間計算部 13 は、設定された全ての音源探索対象方向に対して相対遅延時間を計算する。例えば、相対遅延時間計算部 13 は、音源方向の探索範囲が 10 度刻みで 0 度から 90 度の場合、0 度、10 度、20 度、
 ...、90 度の 10 種類の音源方向に関して相対遅延時間を計算する。そして、相対遅延時間計算部 13 は、音源探索対象方向と相対遅延時間とを推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 に出力する。ただし、音源方向の探索範囲を刻む単位は、求める精度に応じて任意に設定できる。目標音源の方向を高精度で求める場合には、音源方向の探索範囲を細かく刻めばよい。

[0034] 〔推定方向情報・周波数寄与率生成部〕

推定方向情報・周波数寄与率生成部 15-1 ~ R のそれぞれには、信号選択部 12 によって選択された全マイクペアのうち 1 組のマイクペアの入力信号が入力される。また、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15-1 ~ R の

それぞれには、入力信号の供給元のマイクペアの相対遅延時間が相対遅延時間計算部 13 から入力される。推定方向情報・周波数寄与率生成部 15-1 ~ R のそれぞれは、1 組のマイクペアの入力信号と相対遅延時間とを用いて、そのマイクペアの入力信号間の推定方向情報と周波数寄与率とを生成する。推定方向情報・周波数寄与率生成部 15-1 ~ R は、推定方向情報を統合部 17 に出力し、周波数寄与率を重み計算部 16 に出力する。

[0035] ここで、図 4 を参照しながら、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 の詳細な構成について説明する。図 4 は、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 の構成の一例を示すブロック図である。推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 は、変換部 151、クロススペクトル計算部 152、平均計算部 153、分散計算部 154、周波数別クロススペクトル生成部 155、逆変換部 156、および周波数別推定方向情報計算部 157 を備える。さらに、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 は、周波数寄与率計算部 158 および周波数統合部 159 を備える。

[0036] [変換部]

変換部 151 には、信号選択部 12 から 1 組のマイクペアの入力信号（入力信号 A および入力信号 B）が入力される。変換部 151 は、信号選択部 12 から供給された 2 つの入力信号を周波数領域の変換信号に変換する。変換部 151 は、入力信号を複数の周波数成分に分解するための変換を行う。例えば、変換部 151 は、フーリエ変換を用いて、入力信号を複数の周波数成分に分解する。変換部 151 は、クロススペクトル計算部 152 に変換信号を出力する。

[0037] 例えば、変換部 151 には 2 種類の入力信号 $x_m(t)$ が入力される。ただし、 m は、入力端子 11 の番号である。変換部 151 は、入力端子 11 から供給された入力信号から、適当な長さの波形を一定の周期でずらしながら切り出す。このように切り出された信号区間をフレーム、切り出された波形の長さをフレーム長、フレームをずらす周期をフレーム周期と呼ぶ。そして、変換部 151 は、フーリエ変換を用いて、切り出された信号を周波数領域信

号に変換する。ここで、 n をフレーム番号とし、切り出される入力信号を $x_m(t, n)$ とする($t = 0, 1, \dots, K-1$)。このとき、変換部151は、以下の式9を用いて入力信号 $x_m(t, n)$ のフーリエ変換 $X_m(k, n)$ を計算できる。

$$X_m(k, n) = \sum_{t=0}^{K-1} x_m(t, n) \exp\left(-j \frac{2\pi t k}{K}\right) \dots (9)$$

[0038] なお、上記の式9において、 j は虚数単位、 $\exp$ は指数関数、 K は整数である。また、 k は、周波数ビン番号を表し、0以上 $K-1$ 以下の整数である。なお、以下において、 k のことを周波数ビン番号ではなく、周波数とも呼ぶ。

[0039] [クロススペクトル計算部]

クロススペクトル計算部152には、変換部151から変換信号が入力される。クロススペクトル計算部152は、変換部151から供給される変換信号を用いてクロススペクトルを計算する。クロススペクトル計算部152は、算出したクロススペクトルを平均計算部153に出力する。

[0040] 例えば、クロススペクトル計算部152は、変換信号 $X_2(k, n)$ の複素共役と変換信号 $X_1(k, n)$ との積を計算してクロススペクトルを計算する。ここで、変換信号のクロススペクトルを $S_{12}(k, n)$ とする。このとき、クロススペクトル計算部152は、以下の式10を用いてクロススペクトル $S_{12}(k, n)$ を計算できる。

$$S_{12}(k, n) = X_1(k, n) \cdot \text{conj}(X_2(k, n)) \dots (10)$$

[0041] なお、式10において、 $\text{conj}(X_2(k, n))$ は変換信号 $X_2(k, n)$ の複素共役を表す。また、式10ではなく、振幅成分で正規化したクロススペクトルを用いてもよい。振幅成分で正規化する場合、クロススペクトル計算部152は、以下の式11を用いてクロススペクトル $S_{12}(k, n)$ を計算できる。

$$S_{12}(k, n) = \frac{X_1(k, n) \cdot \text{conj}(X_2(k, n))}{|X_1(k, n)| |X_2(k, n)|} \dots (11)$$

[0042] 〔平均計算部〕

平均計算部 1 5 3 には、クロススペクトル計算部 1 5 2 からクロススペクトルが入力される。平均計算部 1 5 3 は、クロススペクトル計算部 1 5 2 から供給されたクロススペクトルの平均（平均クロススペクトルとも呼ぶ）を計算する。平均計算部 1 5 3 は、算出した平均クロススペクトルを周波数別クロススペクトル生成部 1 5 5 に出力する。

[0043] ここで、平均計算部 1 5 3 が過去に入力されたクロススペクトルから周波数ビンごとに平均クロススペクトルを計算する例について説明する。なお、平均計算部 1 5 3 は、周波数ビン単位ではなく、複数の周波数ビン束ねたサブバンド単位で平均クロススペクトルを計算してもよい。ここで、第 n フレームの周波数ビン k におけるクロススペクトルを $S_{12}(k, n)$ とする、このとき、平均計算部 1 5 3 は、以下の式 1 2 を用いて、過去 L フレームから平均クロススペクトル $SS_{12}(k, n)$ を計算できる。

$$SS_{12}(k, n) = \frac{1}{L} \sum_{m=0}^{L-1} S_{12}(k, n-m) \cdots (12)$$

[0044] また、平均計算部 1 5 3 は、以下の式 1 3 のリーク積分を用いて平均クロススペクトル $SS_{12}(k, n)$ を計算してもよい。ただし、式 1 3 において、 α は、0 よりも大きく、1 よりも小さい実数である。

$$SS_{12}(k, n) = (1 - \alpha)SS_{12}(k, n-1) + \alpha S_{12}(k, n) \cdots (13)$$

[0045] 〔分散計算部〕

分散計算部 1 5 4 には、平均計算部 1 5 3 から平均クロススペクトルが入力される。分散計算部 1 5 4 は、平均計算部 1 5 3 から供給された平均クロススペクトルを用いて分散を計算する。分散計算部 1 5 4 は、算出した分散を周波数別クロススペクトル生成部 1 5 5 に出力する。

[0046] ここで、平均クロススペクトルを $SS_{12}(k, n)$ とする。このとき、クロススペクトルの位相の分散の計算において円周分散を用いた場合、分散計算部 1 5 4 は、以下の式 1 4 を用いて分散 $V_{12}(k, n)$ を計算する。

$$V_{12}(k, n) = 1 - |SS_{12}(k, n)| \cdots (14)$$

[0047] なお、分散計算部 154 は、以下の式 15 を用いて分散 $V_{12}(k, n)$ を計算してもよい。

$$V_{12}(k, n) = 1 - SS_{12}(k, n)^2 \cdots (15)$$

[0048] また、分散計算部 154 は、円周標準偏差を用いる場合、以下の式 16 を用いて分散 $V_{12}(k, n)$ を計算できる。

$$V_{12}(k, n) = \sqrt{-2 \ln |SS_{12}(k, n)|} \cdots (16)$$

[0049] 〔周波数別クロススペクトル生成部〕

周波数別クロススペクトル生成部 155 には、平均計算部 153 から平均クロススペクトルが入力され、分散計算部 154 から分散が入力される。周波数別クロススペクトル生成部 155 は、平均クロススペクトルと分散とを用いて平均クロススペクトルの周波数に対応するクロススペクトル（周波数別クロススペクトルとも呼ぶ）を計算する。周波数別クロススペクトル生成部 155 は、算出した周波数別クロススペクトルを逆変換部 156 に出力する。

[0050] ここで、周波数別クロススペクトル生成部 155 の構成について図面を参照しながら説明する。図 5 は、周波数別クロススペクトル生成部 155 の構成の一例を示すブロック図である。図 5 のように、周波数別クロススペクトル生成部 155 は、周波数別基本クロススペクトル計算部 551、カーネル関数スペクトル生成部 552、および乗算部 553 を有する。

[0051] 〔周波数別基本クロススペクトル計算部〕

周波数別基本クロススペクトル計算部 551 には、平均計算部 153 から平均クロススペクトルが入力される。周波数別基本クロススペクトル計算部 551 は、平均計算部 153 から供給される平均クロススペクトルを用いて、平均クロススペクトルの各周波数に対応するクロススペクトル（周波数別基本クロススペクトルとも呼ぶ）を計算する。周波数別基本クロススペクトル計算部 551 は、算出した周波数別基本クロススペクトルを乗算部 553 に出力する。周波数別基本クロススペクトルは、周波数成分ごとに相関関数を計算するために算出される。周波数別基本クロススペクトル計算部 551

は、ある周波数に対応する相関関数（周波数別相互相関関数とも呼ぶ）を後段で求めるための周波数別基本クロススペクトルを計算する。

- [0052] ここで、周波数別基本クロススペクトル計算部 551 が周波数 k の周波数別基本クロススペクトルを計算する例について詳細に説明する。周波数別基本クロススペクトル計算部 551 は、周波数 k の平均クロススペクトル $SS_{12}(k, n)$ を用いて周波数別基本クロススペクトルを計算する際、位相成分と振幅成分とを予め別々に求めた後に統合する。周波数 k の周波数別基本クロススペクトルを $U_k(w, n)$ 、その振幅成分を $|U_k(w, n)|$ 、その位相成分を $\arg(U_k(w, n))$ とすると、以下の式 17 の関係が成り立つ。ただし、式 17 において、 w は、周波数を表し、0 以上 $W-1$ 以下の整数である（ W は整数）。

$$U_k(w, n) = |U_k(w, n)| \exp(j \cdot \arg(U_k(w, n))) \cdots (17)$$

- [0053] 以下において、周波数別基本クロススペクトル計算部 551 が、周波数 k の平均クロススペクトル $SS_{12}(k, n)$ を用いて、周波数別基本クロススペクトルの振幅成分 $|U_k(w, n)|$ および位相成分 $\arg(U_k(w, n))$ を求める方法について説明する。

- [0054] k の定数倍の周波数の振幅成分 $|U_k(w, n)|$ には 1.0 が用いられる。一方、 k の定数倍以外の周波数の位相成分はゼロにする。これを数式で表現すると、振幅成分 $|U_k(w, n)|$ は以下の式 18 で与えられる。ただし、式 18 において、 p は 1 以上 P 以下の整数である（ P は整数）。

$$|U_k(w, n)| = \begin{cases} 1, & \text{if } w = p \cdot k \\ 0, & \text{if } w \neq p \cdot k \end{cases} \cdots (18)$$

- [0055] 波源方向推定を行うときに重要な情報は位相成分であるため、式 18 においては、振幅成分に適当な定数を用いている。なお、 k の定数倍の周波数の振幅成分 $|U_k(w, n)|$ として、1.0 の代わりに周波数 k の平均クロススペクトルの絶対値 $|SS_{12}(k, n)|$ を用いてもよい。すなわち、周波数別基本クロススペクトル計算部 551 は、以下の式 19 を用いて振幅成分 $|U_k(w, n)|$ を求めてもよい。

$$|U_k(w, n)| = \begin{cases} |SS_{12}(k, n)|, & \text{if } w = p \cdot k \\ 0, & \text{if } w \neq p \cdot k \end{cases} \dots (19)$$

[0056] k を定数倍した周波数の位相成分 $\arg(U_k(w, n))$ には、周波数 k の平均クロススペクトル $SS_{12}(k, n)$ を定数倍したものを用いる。例えば、周波数 k 、 $2k$ 、 $3k$ 、および $4k$ の位相成分には、周波数 k の位相成分 $\arg(SS_{12}(k, n))$ のそれぞれを同一の倍率で整数倍したものが用いられる。すなわち、周波数 k 、 $2k$ 、 $3k$ 、および $4k$ の位相成分のそれぞれには、 $\arg(SS_{12}(k, n))$ 、 $2\arg(SS_{12}(k, n))$ 、 $3\arg(SS_{12}(k, n))$ 、 $4\arg(SS_{12}(k, n))$ が用いられる。一方、 k の定数倍以外の周波数の位相成分はゼロにする。したがって、周波数 k に対応する周波数別基本クロススペクトルの位相成分 $\arg(U_k(w, n))$ は、以下の式 20 を用いて計算される。なお、 p は 1 以上 P 以下の整数である ($P > 1$)。

$$\arg(U_k(w, n)) = \begin{cases} p \cdot \arg(SS_{12}(k, n)), & \text{if } w = p \cdot k \\ 0, & \text{if } w \neq p \cdot k \end{cases} \dots (20)$$

[0057] 周波数別基本クロススペクトル計算部 551 は、式 18 や式 19 を用いて算出される振幅成分と、式 20 を用いて算出される位相成分とを、式 17 を用いて統合し、周波数 k の周波数別基本クロススペクトル $U_k(w, n)$ を計算する。

[0058] これまで説明してきた方法では、振幅成分と位相成分を別々に求めてから周波数別基本クロススペクトルを算出した。しかし、以下の式 21 に示すクロススペクトルのべき乗を用いれば、振幅成分と位相成分とを求めることなく、周波数別基本クロススペクトル $U_k(w, n)$ を求めることができる。

$$U_k(w, n) = \begin{cases} SS_{12}(k, n)^p, & \text{if } w = p \cdot k \\ 0, & \text{if } w \neq p \cdot k \end{cases} \dots (21)$$

[0059] [カーネル関数スペクトル生成部]

カーネル関数スペクトル生成部 552 には、分散計算部 154 から分散が入力される。カーネル関数スペクトル生成部 552 は、分散計算部 154 から供給される分散を用いてカーネル関数スペクトルを算出する。カーネル関

数スペクトルとは、カーネル関数をフーリエ変換し、その絶対値を取ったものである。なお、カーネル関数スペクトルには、カーネル関数をフーリエ変換し、その二乗を取ったものとしてもよい。また、カーネル関数スペクトルには、カーネル関数をフーリエ変換し、その絶対値の二乗を取ったものを用いてもよい。カーネル関数スペクトル生成部 552 は、算出したカーネル関数スペクトルを乗算部 553 に出力する。

[0060] ここで、カーネル関数スペクトルを $G(w)$ 、カーネル関数を $g(\tau)$ とし、カーネル関数としてガウス関数を用いる例を挙げる。このとき、ガウス関数は、以下の式 22 で与えられる。

$$g(\tau) = g_1 \exp\left(-\frac{(\tau - g_2)^2}{2g_3^2}\right) \cdots (22)$$

[0061] ただし、式 22 において、 g_1 、 g_2 、および g_3 は正の実数である。 g_1 はガウス関数の大きさを制御し、 g_2 はガウス関数のピークの位置を制御し、 g_3 はガウス関数の広がり方を制御する。ガウス関数の広がり方を調整する g_3 は、周波数別相互相関関数のピークの鋭さに影響を与える。すなわち、式 22 は、 g_3 が大きくなればガウス関数の広がり方が大きくなることを示す。

[0062] また、以下の式 23 のロジスティック分布の確率密度関数をカーネル関数として用いてもよい。ただし、式 23 において、 g_4 と g_5 は正の実数である。

$$g(\tau) = \frac{\exp\left(-\frac{\tau - g_4}{g_5}\right)}{g_5 \left(1 + \exp\left(-\frac{\tau - g_4}{g_5}\right)\right)^2} \cdots (23)$$

[0063] ロジスティック分布の確率密度関数は、ガウス関数と同様の形状をしているが、ガウス関数よりも裾が長い。ロジスティック分布の確率密度関数の広がり方を調整する g_5 は、式 22 のガウス関数における g_3 と同様に、周波数別相互相関関数のピークの鋭さに影響を与えるパラメータである。また、ガウス関数やロジスティック分布の確率密度関数の他に、コサイン関数や一様関数をカーネル関数に用いてもよい。

[0064] カーネル関数のパラメータのうち、カーネル関数の広がり方に影響を与える g_3 や g_5 は、分散計算部 154 から入力される分散を用いて決定される。ここ

で、 g_3 や g_5 のように、カーネル関数の広がりに影響を与えるパラメータのことを広がり制御パラメータと呼び、 $q(k, n)$ と表現する。カーネル関数がガウス関数の場合には、 g_3 が $q(k, n)$ である。分散が小さければ、周波数別相互相関関数のピークが鋭く、裾が狭くなるようにパラメータを変化させる。この場合、広がり制御パラメータを小さくする。

[0065] 広がり制御パラメータは、予め設定した写像関数を用いて分散の値を変換することによって算出できる。例えば、分散がある閾値を上回れば広がり制御パラメータを大きな値（例えば10）にし、分散がある閾値を下回れば小さな値（例えば0.01）に設定する。ここで、分散を $V_{12}(k, n)$ とし、閾値を p_{th} とする。このとき、第 n フレームの周波数ビン k における広がり制御パラメータ $q(k, n)$ は、以下の式24を用いて計算できる。ただし、式24において、 q_1 および q_2 は、 $q_1 > q_2$ を満たす正の実数である。

$$q(k, n) = \begin{cases} q_1, & V_{12}(k, n) \geq p_{th} \\ q_2, & V_{12}(k, n) < p_{th} \end{cases} \quad (24)$$

[0066] また、広がり制御パラメータ $q(k, n)$ は、以下の式25のように一次関数を用いて計算してもよい。ただし、式25において、 q_3 は正の実数であり、 q_4 は実数である。

$$q(k, n) = \begin{cases} q_3 V_{12}(k, n) + q_4, & q_3 V_{12}(k, n) + q_4 > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (25)$$

[0067] q_3 、 q_4 としては、例えば、以下の式26および式27で示す値を用いてもよい。

$$q_3 = 1/L \quad (26)$$

$$q_4 = 0 \quad (27)$$

L は平均計算部153が平均クロススペクトルを求める際に平均化したフレーム数を表す。平均クロススペクトルの誤差は平均化フレーム数 L に反比例するため、式26および式27を用いることで、平均クロススペクトルの誤差（信頼性）を考慮して広がり制御パラメータを求めることができる。

[0068] また、線形写像関数や高次の多項式関数、非線形関数などで表される分散の関数を分散の計算に用いることも可能である。また、分散をそのまま広がり

り制御パラメータにしてもよい。

[0069] 広がり制御パラメータを求める関数は、分散だけでなく、周波数 k の関数としてもよい。例えば、周波数 k が大きくなるにつれて小さくなる関数を用いることができる。このような代表例としては、 k の逆数を用いる例が挙げられる。この場合、式 24 の代わりに、以下の式 28 の関数を用いて広がり制御パラメータ $q(k, n)$ を計算できる。

$$q(k, n) = \begin{cases} \frac{q_1}{k}, & V_{12}(k, n) \geq p_{th} \\ \frac{q_2}{k}, & V_{12}(k, n) < p_{th} \end{cases} \dots (28)$$

[0070] また、式 25 の代わりとして、以下の式 29 の関数を用いて広がり制御パラメータ $q(k, n)$ を計算できる。

$$q(k, n) = \begin{cases} \frac{q_3 p(k, n) + q_4}{k}, & q_3 p(k, n) + q_4 > 0 \\ 0, & otherwise \end{cases} \dots (29)$$

[0071] 〔乗算部〕

乗算部 553 には、周波数別基本クロススペクトル計算部 551 から周波数別基本クロススペクトルが入力され、カーネル関数スペクトル生成部 552 からカーネル関数スペクトルが入力される。乗算部 553 は、周波数別基本クロススペクトル計算部 551 から供給される周波数別基本クロススペクトルと、カーネル関数スペクトル生成部 552 から供給されるカーネル関数スペクトルとの積を計算し、周波数別クロススペクトルを算出する。乗算部 553 は、算出した周波数別クロススペクトルを逆変換部 156 に出力する。

[0072] ここで、周波数別基本クロススペクトル計算部 551 から供給される周波数別基本クロススペクトルを $U_k(w, n)$ 、カーネル関数スペクトル生成部 552 から供給されるカーネル関数スペクトルを $G(w)$ とする。このとき、乗算部 553 は、以下の式 30 を用いて周波数別クロススペクトル $UM_k(w, n)$ を計算する。

$$UM_k(w, n) = G(w)U_k(w, n) \dots (30)$$

[0073] 〔逆変換部〕

逆変換部 1 5 6 には、周波数別クロススペクトル生成部 1 5 5 の乗算部 5 5 3 から周波数別クロススペクトルが入力される。例えば、変換部 1 5 1 がフーリエ変換を用いて変換を行う場合、逆変換部 1 5 6 は逆フーリエ変換を用いて逆変換を行う。逆変換部 1 5 6 は、周波数別クロススペクトル生成部 1 5 5 から供給された周波数別クロススペクトルの逆変換を求める。

[0074] ここで、周波数別クロススペクトル生成部 1 5 5 から供給される周波数別クロススペクトルを $UM_k(w, n)$ とする。このとき、逆変換部 1 5 6 は、以下の式 3 1 を用いて $UM_k(w, n)$ を逆変換して周波数別相互相関関数 $u_k(\tau, n)$ を計算する。

$$u_k(\tau, n) = \sum_{w=0}^{W-1} UM_k(w, n) \exp\left(j \frac{2\pi\tau w}{W}\right) \cdots (3 1)$$

[0075] 〔周波数別推定方向情報計算部〕

周波数別推定方向情報計算部 1 5 7 には、逆変換部 1 5 6 から周波数別相互相関関数が入力され、相対遅延時間計算部 1 3 から相対遅延時間が入力される。周波数別推定方向情報計算部 1 5 7 は、逆変換部 1 5 6 から供給された周波数別相互相関関数と、相対遅延時間計算部 1 3 から供給された相対遅延時間とを用いて、方向と相関値との対応関係を周波数別推定方向情報として求める。周波数別推定方向情報計算部 1 5 7 は、求めた周波数別推定方向情報を統合部 1 7 に出力する。

[0076] ここで、周波数別相互相関関数を $u_k(\tau, n)$ とし、相対遅延時間を $\tau_r(\theta)$ とする。このとき、周波数別推定方向情報計算部 1 5 7 は、以下の式 3 2 を用いて周波数別推定方向情報 $H_{k,r}(\theta, n)$ を算出する。

$$H_{k,r}(\theta, n) = u_k(\tau_r(\theta), n) \cdots (3 2)$$

[0077] 式 3 2 を用いれば、各方向 θ に対して相関値が定まるので、相関値が高い方向に音源が存在する可能性が高いと判断できる。

[0078] 〔周波数寄与率計算部〕

周波数寄与率計算部 1 5 8 には、周波数別推定方向情報計算部 1 5 7 から

周波数別推定方向情報が入力される。周波数寄与率計算部 158 は、周波数別推定方向情報計算部 157 から供給された周波数別推定方向情報に基づいて、音源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率（周波数寄与率とも呼ぶ）を計算する。周波数寄与率計算部 158 は、算出した周波数寄与率を重み計算部 16 に出力する。

[0079] 例えば、周波数寄与率計算部 158 は、以下の式 33 を用いて、音源方向 θ が θ' のときの周波数 k' の周波数寄与率 $y_{\theta',k',r}(n)$ を計算する。

$$y_{\theta',k',r}(n) = \frac{H_{k',r}(\theta',n)}{\sum_{k=0}^{K-1} H_{k,r}(\theta',n)} \cdots (33)$$

[0080] 全ての音源方向 θ および全ての周波数 k について、式 33 で表記される周波数寄与率 $y_{\theta',k',r}(n)$ を求めると、周波数寄与率は $y_{\theta,r}(k, n)$ と書き換えられる。

[0081] 〔周波数統合部〕

周波数統合部 159 には、周波数別推定方向情報計算部 157 から周波数別推定方向情報が入力される。周波数統合部 159 は、周波数別推定方向情報計算部 157 から供給された周波数別推定方向情報を統合する。すなわち、周波数統合部 159 は、周波数（周波数ビン番号）ごとに別々に算出された周波数別推定方向情報を一つに統合することによって、統合された推定方向情報を生成する。例えば、周波数統合部 159 は、個別に求めた複数の周波数別推定方向情報を合成したり、重ね合わせたりすることにより、一つの推定方向情報に統合する。周波数統合部 159 は、統合された推定方向情報を統合部 17 に出力する。

[0082] 例えば、周波数統合部 159 は、周波数別推定方向情報 $H_{k,r}(\theta, n)$ の総和を計算することによって統合する。この場合、周波数統合部 159 は、以下の式 34 を用いて推定方向情報 $H_k(\theta, n)$ を計算する。

$$H_r(\theta, n) = \sum_{k=0}^{K-1} H_{k,r}(\theta, n) \cdots (34)$$

[0083] また、例えば、周波数統合部 159 は、周波数別推定方向情報 $H_{k,r}(\theta, n)$

）の総乗を計算することによって統合してもよい。この場合、周波数統合部 159 は、以下の式 35 を用いて推定方向情報 $H_r(\theta, n)$ を計算する。

$$H_r(\theta, n) = \prod_{k=0}^{K-1} H_{k,r}(\theta, n) \cdots (35)$$

[0084] 〔重み計算部〕

重み計算部 16 には、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15-1~R のそれぞれの周波数寄与率計算部 158 から周波数寄与率が入力される。重み計算部 16 は、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15-1~R から供給される周波数寄与率に基づいて、マイクペア間の周波数寄与率（単に寄与率とも呼ぶ）の類似度に応じた音源方向ごとの重みを計算する。重み計算部 16 は、算出した音源方向ごとの重みを統合部 17 に出力する。

[0085] ここで、3つのマイクによって方向推定する例における重み算出方法について図面を参照しながら説明する。図6は、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 が、マイク A、マイク B、およびマイク C に関して算出する全てのマイクペア（AB、BC、AC）の推定方向情報の一例である。図7は、音源方向 θ が θ' の場合のマイクペアごとの周波数寄与率を示す。重み計算部 16 は、異なるマイクペアの寄与率が類似している方向 θ ほど大きくなるような重みを計算する。

[0086] 例えば、重み計算部 16 は、マイクペア AB の周波数寄与率 $y_{\theta, AB}(k, n)$ およびマイクペア BC の周波数寄与率 $y_{\theta, BC}(k, n)$ を以下の式 36 に適用して 2つのマイクペア間の類似度 $v_{\theta, AB-BC}(n)$ を計算する。

$$v_{\theta, AB-BC}(n) = 1 - \left[\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |y_{\theta, AB}(k, n) - y_{\theta, BC}(k, n)| \right] \cdots (36)$$

[0087] 上記の式 36 を一般化すると、重み計算部 16 は、マイクペア r_i の周波数寄与率 $y_{\theta, r_i}(k, n)$ とマイクペア r_j の周波数寄与率 $y_{\theta, r_j}(k, n)$ との類似度 $v_{\theta, r'}(n)$ を以下の式 37 に適用して算出できる。

$$v_{\theta, r'}(n) = 1 - \left[\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |y_{\theta, r_i}(k, n) - y_{\theta, r_j}(k, n)| \right] \cdots (37)$$

[0088] なお、式 37 において、 r' は、マイクペア r_i とマイクペア r_j との組み合わせ番号を表す。マイクペア r_i の周波数寄与率 $y_{\theta, r_i}(k, n)$ と、マイクペア r_j の周波数寄与率 $y_{\theta, r_j}(k, n)$ とが一致する場合、式 37 で表される類似度 $v_{\theta, r'}(n)$ は最大値 1 となる。

[0089] 例えば、重み計算部 16 は、以下の式 38 を用いて、類似度 $v_{\theta, r'}(n)$ の相乗平均から音源方向 θ ごとの重み a_θ を計算する。

$$a_\theta(n) = \left(\prod_{r'=0}^{R'-1} v_{\theta, r'}(n) \right)^{\frac{1}{R'}} \cdots (38)$$

[0090] また、例えば、重み計算部 16 は、以下の式 39 を用いて、類似度 $v_{\theta, r'}(n)$ の相加平均から音源方向 θ ごとの重み $a_\theta(n)$ を計算できる。

$$a_\theta(n) = \frac{1}{R'} \sum_{r'=0}^{R'-1} v_{\theta, r'}(n) \cdots (39)$$

[0091] 上述のように計算される重みは、全てのマイクペアの類似度が高いほど大きくなる。

[0092] [統合部]

統合部 17 には、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15-1 ~ R から推定方向情報が入力され、重み計算部 16 から重みが入力される。統合部 17 は、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15-1 ~ R から供給されるマイクペアごとの推定方向情報を全てのマイクペアについて統合し、統合した推定方向情報に重み計算部 16 から供給される重みをつけた統合推定方向情報を生成する。統合部 17 は、マイクペアごとの推定方向情報の総和や総乗をとることで統合し、統合した推定方向情報に重みを掛けることによって統合推定方向情報を生成する。統合部 17 は、生成した統合推定方向情報を出力する。例えば、統合部 17 は、上位システム（図示しない）に統合推定方向情報を出力する。

[0093] 例えば、統合部 17 は、以下の式 40 を用いて、重み $a_\theta(n)$ と推定方向情報 $H_r(\theta, n)$ の総乗との積を統合推定方向情報 $H(\theta, n)$ として算出

する。

$$H(\theta, n) = a_{\theta}(n) \cdot \prod_{r=0}^{R-1} H_r(\theta, n) \cdots \quad (40)$$

[0094] 以上が、本実施形態の波源方向推定装置 10 の構成についての説明である。

[0095] なお、図 8 のように、波源方向推定装置 10 にマイクなどのセンサ 110 を少なくとも一つ追加した構成も本実施形態の範囲に含まれる。それぞれのセンサ 110 は、インターネットやイントラネットなどネットワークや、ケーブルを介して、波源方向推定装置 10 のいずれかの入力端子 11 に接続される。

[0096] 例えば、センサ 110 は、音波を検出する場合、マイクロフォンによって実現される。例えば、センサ 110 は、振動波を検出する場合、振動センサによって実現される。例えば、センサ 110 は、電磁波を検出する場合、アンテナによって実現される。なお、センサ 110 は、検知対象の波動を電気信号に変換できるものであれば、その形態に限定を加えない。

[0097] (動作)

次に、本実施形態の波源方向推定装置 10 の動作の概略について図面を参照しながら説明する。図 9 は、波源方向推定装置 10 の動作の概略について説明するためのフローチャートである。なお、図 9 のフローチャートに沿った説明においては、波源方向推定装置 10 を動作の主体として説明する。

[0098] 図 9 において、まず、波源方向推定装置 10 は、複数のマイクから入力信号を取得する（ステップ S 11）。

[0099] 次に、波源方向推定装置 10 は、複数のマイクのそれぞれに対応する入力信号から 2 つの入力信号を選択する（ステップ S 12）。すなわち、波源方向推定装置 10 は、複数のマイクの中から 2 つのマイクを選択してマイクペアとする。ここでは、波源方向推定装置 10 は、複数のマイクペアを選択する。

[0100] 次に、波源方向推定装置 10 は、選択された 2 つの入力信号の供給元であ

る2つのマイクの間隔（マイク間隔とも呼ぶ）と、設定された音源探索対象方向（音源方向とも呼ぶ）とを用いてマイクペアごとに相対遅延時間を算出する（ステップS13）。

[0101] 次に、波源方向推定装置10は、選択されたマイクペアの入力信号と相対遅延時間とを用いて、そのマイクペアの入力信号間の推定方向情報と周波数寄与率とを生成する（ステップS14）。すなわち、波源方向推定装置10は、推定方向情報と周波数寄与率とをマイクペアごとに生成する。

[0102] 次に、波源方向推定装置10は、マイクペア間の周波数寄与率の類似度に応じた音源方向ごとの重みを算出する（ステップS15）。

[0103] 次に、波源方向推定装置10は、マイクペアごとの推定方向情報に重みを付けて統合することで統合推定方向情報を算出する（ステップS16）。

[0104] そして、波源方向推定装置10は、統合推定方向情報を出力する（ステップS17）。

[0105] 以上が、波源方向推定装置10の動作の概略についての説明である。

[0106] 以上のように、本実施形態の波源方向推定装置は、複数の入力部、信号選択部、相対遅延時間計算部、複数の推定方向情報・周波数寄与率生成部、重み計算部、および統合部を備える。

[0107] 入力部は、複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得する。

[0108] 信号選択部は、複数の入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択する。

[0109] 相対遅延時間計算部は、ペアをなす二つの入力信号の供給元のセンサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出する。

[0110] 推定方向情報・周波数寄与率生成部は、信号選択部によって選択された全てのペアのうち1組のペアをなす二つの入力信号を取得するとともに、取得したペアの相対遅延時間を取得する。推定方向情報・周波数寄与率生成部は、ペアをなす二つの入力信号間の周波数別相互相関関数とペアの相対遅延時間とを用いて、ペアをなす二つの入力信号間の推定方向情報と周波数別の寄

与率とを生成する。

[0111] 重み計算部は、複数の推定方向情報・周波数寄与率生成部から周波数ごとの寄与率を取得し、異なるペア間の寄与率の類似度に応じて波源方向ごとの重みを計算する。

[0112] 統合部は、複数の推定方向情報・周波数寄与率生成部から推定方向情報を取得するとともに、重み計算部から重みを取得し、複数のペアごとの推定方向情報に重みをつけて統合して統合推定方向情報を生成する。

[0113] 例えば、推定方向情報・周波数寄与率生成部は、変換部、クロススペクトル計算部、平均計算部、分散計算部、周波数別クロススペクトル生成部、逆変換部、周波数別推定方向情報計算部、周波数統合部、および周波数寄与率計算部を備える。変換部は、ペアをなす二つの入力信号を周波数領域の変換信号に変換する。クロススペクトル計算部は、変換部によって変換された変換信号を用いてクロススペクトルを計算する。平均計算部は、クロススペクトル計算部によって算出されるクロススペクトルを用いて平均クロススペクトルを計算する。分散計算部は、平均計算部によって算出される平均クロススペクトルを用いて分散を計算する。周波数別クロススペクトル生成部は、平均計算部によって算出される平均クロススペクトルと、分散計算部によって算出される分散とを用いて周波数別クロススペクトルを計算する。逆変換部は、周波数別クロススペクトル生成部によって算出される周波数クロススペクトルを逆変換して周波数別相互相関関数を計算する。周波数別推定方向情報計算部は、ペアの周波数別相互相関関数と相対遅延時間とに基づいて波源方向と相関値との対応関係である周波数別推定方向情報を計算する。周波数統合部は、周波数別推定方向情報を統合して推定方向情報を計算する。周波数寄与率計算部は、周波数別推定方向情報に基づいて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を計算する。

[0114] 例えば、重み計算部は、複数のペア間において寄与率の類似度を計算し、算出した類似度に基づいて波源方向ごとの重みを計算する。

[0115] 本実施形態の波源方向推定装置は、マイクペアごとの入力信号の相互相関

関数から推定方向情報を求め、複数のマイクペア間で推定方向情報を統合する。その結果、本実施形態の波源方向推定装置によれば、あるマイクペア間で偶然位相が揃うことで発生しうる、音源方向以外の方向の推定方向情報の偽ピークが小さくなるため、虚像音源を誤推定することなく、高精度に音源の方向を推定することができる。

[0116] (第2の実施形態)

次に、本発明の第2の実施形態に係る波源方向推定装置について図面を参照しながら説明する。

[0117] 図10は、本実施形態の波源方向推定装置20の構成の一例を示すブロック図である。図10のように、波源方向推定装置20は、複数の入力端子21、信号選択部22、相対遅延時間計算部23、複数の周波数別推定方向情報生成部25、重み生成部26、および統合部27を備える。以下において、第1の実施形態の波源方向推定装置10と同様の構成・動作については説明を省略する場合がある。

[0118] [入力端子]

複数の入力端子21-1~p(入力部とも呼ぶ)のそれぞれは、図示しないマイクに接続される(pは2以上の整数)。複数の入力端子21-1~pのそれぞれには、異なる位置に配置されたマイクによって集音された音波(音信号とも呼ぶ)から変換された電気信号が入力信号として入力される。なお、入力端子21-1~pは、第1の実施形態の入力端子21-1~pと同様であるため、詳細な説明は省略する。

[0119] [信号選択部]

信号選択部22は、入力端子21-1~pに供給されるp個の入力信号のうちの2つの入力信号を選択する。信号選択部22は、選択した2つの入力信号を周波数別推定方向情報生成部25-1~Rに出力し、それらの入力信号の供給元であるマイクの位置情報(以下、マイク位置情報とも呼ぶ)を相対遅延時間計算部23に出力する(Rは1以上の整数)。なお、信号選択部22は、第1の実施形態の信号選択部12と同様であるため、詳細な説明は

省略する。

[0120] 〔相対遅延時間計算部〕

相対遅延時間計算部 23 には、信号選択部 22 からマイク位置情報が入力される。相対遅延時間計算部 23 は、予め設定された音源探索対象方向（音源方向とも呼ぶ）と、マイク位置情報とを用いて、信号選択部 22 が選択した全てのマイクペアごとに相対遅延時間を計算する。相対遅延時間計算部 23 は、設定された音源方向と相対遅延時間とをセットにして周波数別推定方向情報生成部 25 に出力する。なお、相対遅延時間計算部 23 は、第 1 の実施形態の相対遅延時間計算部 13 と同様であるため、詳細な説明は省略する。

[0121] 〔周波数別推定方向情報生成部〕

周波数別推定方向情報生成部 25-1 ~ R のそれぞれには、信号選択部 22 によって選択された全マイクペアのうち 1 組のマイクペアの入力信号が入力される。また、周波数別推定方向情報生成部 25-1 ~ R のそれぞれには、入力信号の供給元のマイクペアの相対遅延時間が相対遅延時間計算部 23 から入力される。周波数別推定方向情報生成部 25-1 ~ R のそれぞれは、1 組のマイクペアの入力信号と相対遅延時間とを用いて、そのマイクペアごとに周波数別推定方向情報を生成する。周波数別推定方向情報生成部 25-1 ~ R は、生成したマイクペアごとの周波数別推定方向情報を重み生成部 26 および統合部 27 に出力する。

[0122] ここで、図 11 を参照しながら、周波数別推定方向情報生成部 25 の詳細な構成について説明する。図 11 は、周波数別推定方向情報生成部 25 の構成の一例を示すブロック図である。周波数別推定方向情報生成部 25 は、変換部 251、クロススペクトル計算部 252、平均計算部 253、分散計算部 254、周波数別クロススペクトル生成部 255、逆変換部 256、および周波数別推定方向情報計算部 257 を備える。すなわち、周波数別推定方向情報生成部 25 は、第 1 の実施形態の推定方向情報・周波数寄与率生成部 15 から周波数統合部 159 および周波数寄与率計算部 158 を省いた構成

を有する。なお、変換部 251、クロススペクトル計算部 252、平均計算部 253、分散計算部 254、周波数別クロススペクトル生成部 255、逆変換部 256、および周波数別推定方向情報計算部 257 は、第 1 の実施形態の対応する構成と同様である。そのため、変換部 251、クロススペクトル計算部 252、平均計算部 253、分散計算部 254、周波数別クロススペクトル生成部 255、逆変換部 256、および周波数別推定方向情報計算部 257 についての詳細な説明は省略する。

[0123] 〔重み生成部〕

重み生成部 26 には、周波数別推定方向情報生成部 25-1 ~ R のそれぞれからマイクペアごとの周波数別推定方向情報が入力される。重み生成部 26 は、周波数別推定方向情報生成部 25-1 ~ R のそれぞれから供給されるマイクペアごとの周波数別推定方向情報を用いて、推定方向情報がピークをもつ音源方向ごとの重みを計算する。重み生成部 26 は、算出した音源方向ごとの重みを統合部 27 に出力する。

[0124] ここで、図 12 を参照しながら、重み生成部 26 の詳細な構成について説明する。図 12 は、重み生成部 26 の構成の一例を示すブロック図である。重み生成部 26 は、複数の周波数統合部 261-1 ~ R、複数の波源方向候補選出部 262-1 ~ R、波源方向候補統合部 263、複数の波源方向候補別周波数寄与率計算部 264-1 ~ R、および重み計算部 265 を有する。周波数統合部 261-1 ~ R、波源方向候補選出部 262-1 ~ R、および波源方向候補別周波数寄与率計算部 264-1 ~ R のそれぞれは、いずれかのマイクペアに対応する。そのため、周波数統合部 261-1 ~ R、波源方向候補選出部 262-1 ~ R、および波源方向候補別周波数寄与率計算部 264-1 ~ R のそれぞれには、マイクペアの番号 (1 ~ R) を付す。

[0125] 〔周波数統合部〕

周波数統合部 261-1 ~ R のそれぞれには、周波数別推定方向情報生成部 25-1 ~ R のそれぞれから周波数別推定方向情報が入力される。周波数統合部 261-1 ~ R のそれぞれは、周波数別推定方向情報生成部 25-1

～Rのそれぞれから供給される周波数別推定方向情報を統合し、推定方向情報を計算する。なお、周波数統合部261の動作は、第1の実施形態の周波数統合部159と同様であるため、詳細な説明は省略する。周波数統合部261-1～Rのそれぞれは、算出した推定方向情報を波源方向候補選出部262-1～Rのそれぞれに出力する。

[0126] 〔波源方向候補選出部〕

波源方向候補選出部262-1～Rのそれぞれには、周波数統合部261-1～Rのそれぞれから推定方向情報が入力される。波源方向候補選出部262-1～Rのそれぞれは、周波数統合部261-1～Rのそれぞれから供給される推定方向情報からピークを検出し、ピークの方向を波源方向候補として選出する。波源方向候補選出部262-1～Rのそれぞれは、選出した波源方向候補を波源方向候補統合部263に出力する。

[0127] 例えば、波源方向候補選出部262は、推定方向情報が極大値を取る音源方向 θ を波源方向候補として選出する。また、例えば、波源方向候補選出部262は、音源数が3つと事前に仮定できる場合には、推定方向情報が大きい順に3つのピークを選別し、それら3つの値を取る音源方向 θ を波源方向候補として選出してもよい。特に、波源方向候補選出部262は、音源数が1つと事前に仮定できる場合には、推定方向情報が最大値となる音源方向 θ を波源方向候補として選出する。この場合、周波数統合部261から供給される推定方向情報を $H_r(\theta, n)$ とすると、波源方向候補選出部262は、以下の式41を用いて、推定方向情報 $H_r(\theta, n)$ が最大値を取るような推定方向情報 $H_r(\theta, n)$ の引数を要素とする集合を求める。

$$\varphi_r(n) = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} H_r(\theta, n) \cdots (41)$$

[0128] 〔波源方向候補統合部〕

波源方向候補統合部263には、波源方向候補選出部262-1～Rのそれぞれから波源方向候補が入力される。波源方向候補統合部263は、波源方向候補選出部262-1～Rのそれぞれによって選出された波源方向候補を統合する。波源方向候補統合部263は、統合した波源方向候補を波源方

向候補別周波数寄与率計算部 264-1 ~ R のそれぞれに出力する。

- [0129] ここで、波源方向候補選出部 262-1 ~ R のそれぞれによって選出されたマイクペアごとの複数の波源方向候補をベクトル ϕ_i とする。波源方向候補統合部 263 は、以下の式 42 を用いて波源方向候補を統合し、統合した波源方向候補 $\Phi'_i(n)$ を計算する。

$$\Phi'_i(n) = (\phi_0(n), \phi_1(n), \dots, \phi_{R-1}(n)) \cdot \cdot \cdot \quad (42)$$

- [0130] ここで、 $\Phi'_i(n)$ の成分で重複する方向がある場合、波源方向候補統合部 263 は、重複する方向を省いて、以下の式 43 を用いてマイクペアごとの波源方向候補を全てのマイクペアについて統合し、統合した波源方向候補 $\Phi'_i(n)$ を計算する。ただし、式 43 において、 I は全ての波源方向候補の数を示す。

$$\Phi'_i(n) = (\phi_0(n), \phi_1(n), \dots, \phi_{I-1}(n)) \cdot \cdot \cdot \quad (43)$$

- [0131] [波源方向候補別周波数寄与率計算部]

波源方向候補別周波数寄与率計算部 264-1 ~ R のそれぞれには、周波数別推定方向情報生成部 25-1 ~ R のそれぞれからマイクペアごとの周波数別推定方向情報が入力される。また、波源方向候補別周波数寄与率計算部 264-1 ~ R のそれぞれには、統合された波源方向候補が波源方向候補統合部 263 から入力される。波源方向候補別周波数寄与率計算部 264-1 ~ R のそれぞれは、マイクペアごとの周波数別推定方向情報と、統合された波源方向候補とを用いて、波源方向候補ごとの推定方向情報に対する周波数寄与率である波源方向候補別周波数寄与率を計算する。波源方向候補別周波数寄与率計算部 264-1 ~ R のそれぞれは、算出した波源方向候補別周波数寄与率を重み計算部 265 に出力する。第 1 の実施形態の周波数寄与率計算部 158 は、全ての音源方向について周波数寄与率を求める。それに対し、本実施形態の波源方向候補別周波数寄与率計算部 264 は、選出された波源方向候補について周波数寄与率を求める。

- [0132] 例えば、波源方向候補別周波数寄与率計算部 264 は、ある波源方向候補

ϕ_i の周波数 k の波源方向候補別周波数寄与率 $y_{\phi_i, r}(k, n)$ を以下の式 4 4 を用いて計算する。ただし、式 4 4 において、 $H_{k, r}(\phi_i, n)$ は、周波数別推定方向情報を示す。

$$y_{\phi_i, r}(k, n) = \frac{H_{k, r}(\phi_i, n)}{\sum_{k=0}^{K-1} H_{k, r}(\phi_i, n)} \cdot \cdot \cdot \quad (4.4)$$

[0133] 〔重み計算部〕

重み計算部 2 6 5 には、波源方向候補別周波数寄与率計算部 2 6 4 - 1 ~ R のそれぞれから波源方向候補別周波数寄与率が入力される。重み計算部 2 6 5 は、波源方向候補別周波数寄与率計算部 2 6 4 - 1 ~ R のそれぞれから供給される波源方向候補別周波数寄与率を用いて、マイクペア間の周波数寄与率の類似度に応じた波源方向候補ごとの重みを計算する。重み計算部 2 6 5 は、算出した波源方向候補ごとの重みを統合部 2 7 に出力する。

[0134] 第 1 の実施形態の重み計算部 1 6 は、全ての音源方向について重みを求める。それに対し、本実施形態の重み計算部 2 6 5 は、波源方向候補について重みを求める。重み計算部 2 6 5 が算出する波源方向候補ごとの重みを $a_{\phi}(n)$ と表記する。重み計算部 2 6 5 のその他の動作は重み計算部 1 6 と同様であるため、詳細な説明は省略する。

[0135] 〔統合部〕

統合部 2 7 には、周波数別推定方向情報生成部 2 5 - 1 ~ R のそれぞれから周波数別推定方向情報が入力され、重み生成部 2 6 から波源方向候補ごとの重みが入力される。統合部 2 7 は、周波数別推定方向情報生成部 2 5 - 1 ~ R から供給される周波数別推定方向情報を波源方向候補ごとに全てのマイクペアについて統合し、統合した波源方向候補ごとの周波数別推定方向情報に重みを付け、波源方向候補ごとの統合推定方向情報を算出する。統合部 2 7 は、マイクペアごとの周波数別推定方向情報の総和や相乗をすることで統合し、統合した推定方向情報に重みを掛けることによって波源方向候補ごとの統合推定方向情報を生成する。例えば、統合部 2 7 は、以下の式 4 5 を用いて、波源方向候補 ϕ ごとの統合推定方向情報 $H(\phi, n)$ を算出する。

$$H(\phi, n) = a_{\phi}(n) \cdot \prod_{r=0}^{R-1} H_r(\phi, n) \cdots \quad (45)$$

[0136] ただし、式45において、統合推定方向情報 $H(\phi, n)$ は、波源方向候補 ϕ ごとに周波数別推定方向情報を統合した推定方向情報を表す。統合部27は、周波数統合部261と同様に統合推定方向情報 $H(\phi, n)$ を計算する。ただし、周波数統合部261が全ての音源方向について推定方向情報を求めるのに対し、統合部27は波源方向候補 ϕ について推定方向情報を求める。

[0137] (動作)

次に、本実施形態の波源方向推定装置20の動作の概略について図面を参照しながら説明する。図13は、波源方向推定装置20の動作の概略について説明するためのフローチャートである。なお、図13のフローチャートに沿った説明においては、波源方向推定装置20を動作の主体として説明する。

[0138] 図13において、まず、波源方向推定装置20は、複数のマイクから入力信号を取得する(ステップS21)。

[0139] 次に、波源方向推定装置20は、複数のマイクのそれぞれに対応する入力信号から2つの入力信号を選択する(ステップS22)。すなわち、波源方向推定装置20は、複数のマイクの中から2つのマイクを選択してマイクペアとする。ここでは、波源方向推定装置20は、複数のマイクペアを選択する。

[0140] 次に、波源方向推定装置20は、選択された2つの入力信号の供給元である2つのマイクの間隔(マイク間隔とも呼ぶ)と、設定された音源探索対象方向(音源方向とも呼ぶ)とを用いてマイクペアごとに相対遅延時間を算出する(ステップS23)。

[0141] 次に、波源方向推定装置20は、選択されたマイクペアの入力信号と相対遅延時間とを用いて、そのマイクペアの周波数別推定方向情報を生成する(ステップS24)。すなわち、波源方向推定装置20は、周波数別推定方向

情報をマイクペアごとに生成する。

[0142] 次に、波源方向推定装置 20 は、マイクペアごとの周波数別推定方向情報を統合した推定方向情報に基づいて波源方向候補を選出し、波源方向候補別に周波数寄与率を計算する（ステップ S 25）。

[0143] 次に、波源方向推定装置 20 は、波源方向候補別周波数寄与率を用いて、マイクペア間の周波数寄与率の類似度に応じた波源方向候補ごとの重みを計算する（ステップ S 26）。

[0144] 次に、波源方向推定装置 20 は、波源方向候補ごとの重みに基づいて、波源方向候補ごとに周波数別推定方向情報を統合して統合推定方向情報を算出する（ステップ S 27）。

[0145] そして、波源方向推定装置 20 は、統合推定方向情報を出力する（ステップ S 28）。

[0146] 以上が、波源方向推定装置 20 の動作の概略についての説明である。

[0147] 以上のように、本実施形態の波源方向推定装置は、複数の入力部、信号選択部、相対遅延時間計算部、複数の周波数別推定方向情報生成部、重み生成部、および統合部を備える。

[0148] 入力部は、複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得する。

[0149] 信号選択部は、複数の入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択する。

[0150] 相対遅延時間計算部は、ペアをなす二つの入力信号の供給元のセンサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出する。

[0151] 周波数別推定方向情報生成部は、信号選択部によって選択された全てのペアのうち 1 組のペアをなす二つの入力信号を取得するとともに、取得したペアの相対遅延時間を取得する。周波数別推定方向情報生成部は、ペアをなす二つの入力信号を用いて算出される周波数別相互相関関数とペアの相対遅延時間とを用いて、ペアごとの周波数別推定方向情報を計算する。

[0152] 重み生成部は、複数の周波数別推定方向情報生成部からペアごとの周波数

別推定方向情報を取得する。重み生成部は、取得したペアごとの周波数別推定方向情報に基づいて波源方向候補を計算し、算出した波源方向候補ごとに重みを計算する。

[0153] 統合部は、複数の周波数別推定方向情報生成部からペアごとの周波数別推定方向情報を取得するとともに、重み生成部から重みを取得する。統合部は、複数のペアごとの周波数別推定方向情報に重みをつけて統合して統合推定方向情報を生成する。

[0154] 例えば、周波数別推定方向情報生成部は、変換部、クロススペクトル計算部、平均計算部、分散計算部、周波数別クロススペクトル生成部、逆変換部、および周波数別推定方向情報計算部を有する。変換部は、ペアをなす二つの入力信号を周波数領域の変換信号に変換する。クロススペクトル計算部は、変換部によって変換された変換信号を用いてクロススペクトルを計算する。平均計算部は、クロススペクトル計算部によって算出されるクロススペクトルを用いて平均クロススペクトルを計算する。分散計算部と、平均計算部によって算出される平均クロススペクトルを用いて分散を計算する。周波数別クロススペクトル生成部は、平均計算部によって算出される平均クロススペクトルと、分散計算部によって算出される分散とを用いて周波数別クロススペクトルを計算する。逆変換部は、周波数別クロススペクトル生成部によって算出される周波数クロススペクトルを逆変換して周波数別相互相関関数を計算する。周波数別推定方向情報計算部は、ペアの周波数別相互相関関数と相対遅延時間とに基づいて波源方向と相関値との対応関係である周波数別推定方向情報を計算する。

[0155] 例えば、重み生成部は、複数の周波数統合部、複数の波源方向候補選出部、波源方向候補統合部、複数の波源方向候補別周波数寄与率計算部、および重み計算部を有する。周波数統合部は、周波数別推定方向情報を統合してペアごとの推定方向情報を計算する。波源方向候補選出部は、ペアごとの推定方向情報からピークを検出し、ピークとなる方向をペアごとの波源方向候補として選出する。波源方向候補統合部は、複数の波源方向候補選出部からペ

アごとの波源方向候補を取得し、取得したペアごとの波源方向候補を統合する。波源方向候補別周波数寄与率計算部は、統合された波源方向候補と周波数別推定方向情報とに基づいて、波源方向候補ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を計算する。重み計算部は、波源方向候補ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を複数の波源方向候補別周波数寄与率計算部から取得する。重み計算部は、取得した波源方向候補ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率に基づいて波源方向候補ごとの重みを計算する。

[0156] 例えば、重み計算部は、複数のペア間の波源方向候補別の周波数寄与率の類似度を計算し、算出した類似度に基づいて波源方向候補ごとの重みを求める。

[0157] 以上で説明したように、本実施形態の波源方向推定装置は、マイクペアごとに波源方向候補を求め、波源方向候補ごとの重みに基づいて統合推定方向情報を求める。そのため、虚像音源を誤推定することなく高精度に音源の方向を推定することができるという効果に加えて、計算量を低減できるという効果を有する。

[0158] (第3の実施形態)

次に、本発明の第3の実施形態に係る波源方向推定装置について図面を参照しながら説明する。本実施形態の波源方向推定装置は、第1および第2の実施形態の波源推定装置を上位概念化した構成である。なお、本実施形態においては、波源を音源に限定せず、任意の波動の波源の方向を推定対象とする。

[0159] 図14は、本実施形態の波源方向推定装置30の構成の一例を示すブロック図である。図14のように、波源方向推定装置30は、入力端子31、信号選択部32、相対遅延時間計算部33、および統合推定方向情報算出部35を備える。以下において、第1の実施形態の波源方向推定装置10や、第2の実施形態の波源方向推定装置20と同様の構成・動作については説明を省略する場合がある。

[0160] [入力端子]

複数の入力端子 31-1 ~ p（入力部とも呼ぶ）のそれぞれは、図示しないマイクに接続される（p は 2 以上の整数）。複数の入力端子 31-1 ~ p のそれぞれには、異なる位置に配置されたセンサによって集音された波動（波動信号とも呼ぶ）から変換された電気信号が入力信号として入力される。なお、入力端子 31-1 ~ p は、第 1 および第 2 の実施形態の対応する構成と同様であるため、詳細な説明は省略する。

[0161] 〔信号選択部〕

信号選択部 32 は、入力端子 31-1 ~ p に供給される p 個の入力信号のうちの 2 つの入力信号（入力信号のペアとも呼ぶ）を複数組選択する。信号選択部 32 は、選択した複数組の入力信号のペアを統合推定方向情報算出部 35 に出力し、それらの入力信号の供給元であるセンサの位置情報（以下、センサ位置情報とも呼ぶ）を相対遅延時間計算部 33 に出力する。なお、信号選択部 32 は、第 1 および第 2 の実施形態の対応する構成と同様であるため、詳細な説明は省略する。

[0162] 〔相対遅延時間計算部〕

相対遅延時間計算部 33 には、信号選択部 32 からセンサ位置情報が入力される。相対遅延時間計算部 33 は、センサ位置情報と音源探索対象方向（音源方向とも呼ぶ）とを用いて、信号選択部 32 が選択した全ての入力信号のペア間の相対遅延時間を計算する。相対遅延時間計算部 33 は、設定された音源方向と相対遅延時間とをセットにして統合推定方向情報算出部 35 に出力する。なお、相対遅延時間計算部 33 は、第 1 および第 2 の実施形態の対応する構成と同様であるため、詳細な説明は省略する。

[0163] 〔統合推定方向情報算出部〕

統合推定方向情報算出部 35 には、複数組の入力信号のペアが信号選択部 32 から入力される。また、統合推定方向情報算出部 35 には、信号選択部 32 によって選択された全ての入力信号のペアの相対遅延時間が相対遅延時間計算部 33 から入力される。

[0164] 統合推定方向情報算出部 35 は、複数組の入力信号のペアと、それらの入

力信号のペアの相対遅延時間とを用いて、複数の入力信号のペアに関する周波数ごとの推定方向情報（周波数別推定方向情報とも呼ぶ）を生成する。統合推定方向情報算出部 35 は、生成した入力信号のペアごとの周波数別推定方向情報に基づいて、波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数寄与率を算出する。統合推定方向情報算出部 35 は、算出した周波数寄与率に基づいて、入力信号のペア間の寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算する。統合推定方向情報算出部 35 は、入力信号のペアごとの推定方向情報に重みをつけて統合することによって統合推定方向情報を生成する。統合推定方向情報算出部 35 は、生成した統合推定方向情報を出力する。

[0165] 第 1 の実施形態の波源方向推定装置 10 に対応させると、統合推定方向情報算出部 35 は、推定方向情報・周波数寄与率生成部 15、重み計算部 16、および統合部 17 を含む構成である。また、第 2 の実施形態の波源方向推定装置 20 に対応させると、統合推定方向情報算出部 35 は、周波数別推定方向情報生成部 25、重み生成部 26、および統合部 27 を含む構成である。

[0166] 以上のように、本実施形態の波源方向推定装置は、複数の入力部、信号選択部、相対遅延時間計算部、および統合推定方向情報算出部を備える。

[0167] 入力部は、複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得する。

[0168] 信号選択部は、複数の入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択する。相対遅延時間計算部は、ペアをなす二つの入力信号の供給元のセンサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出する。

[0169] 統合推定方向情報算出部は、ペアをなす入力信号とペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報をペアごとに生成する。統合推定方向情報算出部は生成したペアごとの周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出する。統合推定方向情報算出部は、算出した寄与率に基づいて異なるペア間の寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算し、全てのペアの推定方向情報に重みをつけて統合す

ることによって統合推定方向情報を生成する。

[0170] 例えば、信号選択部は、センサの間隔に基づいて、複数の入力信号から少なくとも二つの入力信号を組み合わせたペアを選択する。

[0171] 例えば、相対遅延時間計算部は、一つの入力信号のペアの供給元であるセンサのペアに対する波源探索方向を基準として、信号選択部によって選択された全ての入力信号のペアの相対遅延時間を、基準である波源探索方向の関数として計算する。

[0172] 本実施形態の波源方向推定装置によれば、虚像音源を誤推定することなく、高精度に音源の方向を推定することができる。

[0173] (第4の実施形態)

次に、本発明の第4の実施形態に係る波源方向推定装置について図面を参照しながら説明する。本実施形態の波源方向推定装置は、第3の実施形態の波源方向推定装置に波源方向算出部を追加した構成を有する。

[0174] 図15は、本実施形態の波源方向推定装置40の構成を表すブロック図である。波源方向推定装置40は、入力端子41、信号選択部42、相対遅延時間計算部43、統合推定方向情報算出部45、および波源方向算出部46を備える。なお、入力端子41、信号選択部42、相対遅延時間計算部43、および統合推定方向情報算出部45は、第3の実施形態の波源方向推定装置30の対応する構成と同様であるため、詳細な説明を省略する。

[0175] [波源方向算出部]

波源方向算出部46には、統合推定方向情報算出部45から統合推定方向情報が入力される。波源方向算出部46は、統合推定方向情報を用いて、波源方向を計算する。波源方向算出部46は、計算した波源方向を出力する。

[0176] 波源方向算出部46における波源方向の計算方法を以下で詳細に説明する。統合推定方向情報算出部45から入力された統合推定方向情報は、ピークが大きいほど信頼性（音源の存在可能性）が高い。そのため、例えば音源数が1つと事前に仮定できる場合には、波源方向算出部46は、統合推定方向情報が最大となる方向を推定方向として出力する。ここで、統合推定方向情

報算出部 45 から入力された統合推定方向情報を $H(\theta, n)$ とする。波源方向算出部 46 は、以下の式 46 を用いて、統合推定方向情報 $H(\theta, n)$ が最大値を取るような統合推定方向情報 $H(\theta, n)$ の引数を要素とする集合を波源方向 Θ として算出できる。なお、式 46 において、 θ は全ての波源方向または波源方向候補を表す。

$$\Theta = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} H(\theta, n) \cdots (46)$$

[0177] また、統合推定方向情報のピークが閾値を超える場合には、波源方向算出部 28 は、閾値を超えるピークを有する方向を音源とみなし、閾値を超える方向を推定方向として出力することもできる。

[0178] また、本実施形態の波源方向推定装置は、一定時間 T ごとに統合推定方向情報が最大になる時刻に対応する方向を音源方向として推定することもできる。ただし、音源の方向は、一定時間 T の間で変化しない、あるいは変化の大きさが無視できるほど小さいと仮定する。このように仮定することによって、波源方向の推定精度を向上させることができる。

[0179] 以上のように、本実施形態の波源方向推定装置は、複数の入力部、信号選択部、相対遅延時間計算部、統合推定方向情報算出部、および波源方向算出部を備える。例えば、波源方向算出部は、一定時間ごとに統合推定方向情報が最大になる時刻に対応する方向を波源方向として算出する。本実施形態の波源方向推定装置によれば、虚像音源を誤推定することなく、高精度に音源の方向を推定することができる。

[0180] (ハードウェア)

ここで、各実施形態に係る波源方向推定装置の処理を実行するハードウェア構成について、図 16 の情報処理装置 90 を一例として挙げて説明する。なお、図 16 の情報処理装置 90 は、各実施形態の波源方向推定装置の処理を実行するための構成例であって、本発明の範囲を限定するものではない。

[0181] 図 16 のように、情報処理装置 90 は、プロセッサ 91、主記憶装置 92、補助記憶装置 93、入出力インターフェース 95 および通信インターフェース 96 を備える。図 16 においては、インターフェースを I/F (Interfa

ce)と略して表記する。プロセッサ91、主記憶装置92、補助記憶装置93、入出力インターフェース95および通信インターフェース96は、バス99を介して互いにデータ通信可能に接続される。また、プロセッサ91、主記憶装置92、補助記憶装置93および入出力インターフェース95は、通信インターフェース96を介して、インターネットやイントラネットなどのネットワークに接続される。

[0182] プロセッサ91は、補助記憶装置93等に格納されたプログラムを主記憶装置92に展開し、展開されたプログラムを実行する。本実施形態においては、情報処理装置90にインストールされたソフトウェアプログラムを用いる構成とすればよい。プロセッサ91は、本実施形態に係る波源方向推定装置による処理を実行する。

[0183] 主記憶装置92は、プログラムが展開される領域を有する。主記憶装置92は、例えばDRAM (Dynamic Random Access Memory) などの揮発性メモリとすればよい。また、MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory) などの不揮発性メモリを主記憶装置92として構成・追加してもよい。

[0184] 補助記憶装置93は、種々のデータを記憶する。補助記憶装置93は、ハードディスクやフラッシュメモリなどのローカルディスクによって構成される。なお、種々のデータを主記憶装置92に記憶させる構成とし、補助記憶装置93を省略することも可能である。

[0185] 入出力インターフェース95は、情報処理装置90と周辺機器とを接続するためのインターフェースである。通信インターフェース96は、規格や仕様に基づいて、インターネットやイントラネットなどのネットワークを通じて、外部のシステムや装置に接続するためのインターフェースである。入出力インターフェース95および通信インターフェース96は、外部機器と接続するインターフェースとして共通化してもよい。

[0186] 情報処理装置90には、必要に応じて、キーボードやマウス、タッチパネルなどの入力機器を接続するように構成してもよい。それらの入力機器は、情報や設定の入力に使用される。なお、タッチパネルを入力機器として用い

る場合は、表示機器の表示画面が入力機器のインターフェースを兼ねる構成とすればよい。プロセッサ 91 と入力機器との間のデータ通信は、入出力インターフェース 95 に仲介させればよい。

[0187] また、情報処理装置 90 には、情報を表示するための表示機器を備え付けてもよい。表示機器を備え付ける場合、情報処理装置 90 には、表示機器の表示を制御するための表示制御装置（図示しない）が備えられていることが好ましい。表示機器は、入出力インターフェース 95 を介して情報処理装置 90 に接続すればよい。

[0188] また、情報処理装置 90 には、必要に応じて、ディスクドライブを備え付けてもよい。ディスクドライブは、バス 99 に接続される。ディスクドライブは、プロセッサ 91 と図示しない記録媒体（プログラム記録媒体）との間で、記録媒体からのデータ・プログラムの読み出し、情報処理装置 90 の処理結果の記録媒体への書き込みなどを仲介する。記録媒体は、例えば、CD（Compact Disc）やDVD（Digital Versatile Disc）などの光学記録媒体で実現できる。また、記録媒体は、USB（Universal Serial Bus）メモリやSD（Secure Digital）カードなどの半導体記録媒体や、フレキシブルディスクなどの磁気記録媒体、その他の記録媒体によって実現してもよい。

[0189] 以上が、各実施形態に係る波源方向推定装置を可能とするためのハードウェア構成の一例である。なお、図 16 のハードウェア構成は、各実施形態に係る波源方向推定装置の演算処理を実行するためのハードウェア構成の一例であって、本発明の範囲を限定するものではない。また、各実施形態に係る波源方向推定装置に関する処理をコンピュータに実行させるプログラムも本発明の範囲に含まれる。さらに、各実施形態に係るプログラムを記録したプログラム記録媒体も本発明の範囲に含まれる。

[0190] 各実施形態の波源方向推定装置の構成要素は、任意に組み合わせることができる。また、各実施形態の波源方向推定装置の構成要素は、ソフトウェアによって実現してもよいし、回路によって実現してもよい。

[0191] 以上、実施形態を参照して本発明を説明してきたが、本発明は上記実施形

態に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

[0192] 上記の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載されうるが、以下には限られない。

(付記 1)

複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得する複数の入力手段と、

複数の前記入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択する信号選択手段と、

前記ペアをなす二つの前記入力信号の供給元の前記センサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出する相対遅延時間計算手段と、

前記ペアをなす前記入力信号と前記ペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報を前記ペアごとに生成し、生成した前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出し、算出した前記寄与率に基づいて異なる前記ペア間の前記寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算し、全ての前記ペアの前記推定方向情報に前記重みをつけて統合することによって統合推定方向情報を生成する統合推定方向情報算出手段とを備える波源方向推定装置。

(付記 2)

前記信号選択手段は、

前記センサの間隔に基づいて、複数の前記入力信号から二つの前記入力信号を組み合わせた前記ペアを選択する付記 1 に記載の波源方向推定装置。

(付記 3)

前記相対遅延時間計算手段は、

一つの前記ペアをなす二つの前記入力信号の供給元である前記センサにおける波源探索方向を基準として、前記信号選択手段によって選択された全ての前記ペアの前記相対遅延時間を、基準である前記波源探索方向の関数とし

て計算する付記 1 または 2 に記載の波源方向推定装置。

(付記 4)

前記統合推定方向情報算出手段は、

前記信号選択手段によって選択された全ての前記ペアのうち 1 組の前記ペアをなす二つの前記入力信号を取得するとともに、取得した前記ペアの前記相対遅延時間を取得し、前記ペアをなす二つの前記入力信号間の周波数別相互相関関数と前記ペアの前記相対遅延時間とを用いて、前記ペアをなす二つの前記入力信号間の前記推定方向情報と周波数別の前記寄与率とを生成する複数の推定方向情報・周波数寄与率生成手段と、

複数の前記推定方向情報・周波数寄与率生成手段から周波数ごとの前記寄与率を取得し、異なる前記ペア間の前記寄与率の類似度に応じて波源方向ごとの前記重みを計算する重み計算手段と、

複数の前記推定方向情報・周波数寄与率生成手段から前記推定方向情報を取得するとともに、前記重み計算手段から前記重みを取得し、複数の前記ペアごとの前記推定方向情報に前記重みをつけて統合して前記統合推定方向情報を生成する統合手段とを有する付記 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の波源方向推定装置。

(付記 5)

前記推定方向情報・周波数寄与率生成手段は、

前記ペアをなす二つの前記入力信号を周波数領域の変換信号に変換する変換手段と、

前記変換手段によって変換された前記変換信号を用いてクロススペクトルを計算するクロススペクトル計算手段と、

前記クロススペクトル計算手段によって算出される前記クロススペクトルを用いて平均クロススペクトルを計算する平均計算手段と、

前記平均計算手段によって算出される前記平均クロススペクトルを用いて分散を計算する分散計算手段と、

前記平均計算手段によって算出される前記平均クロススペクトルと、前記

分散計算手段によって算出される分散とを用いて周波数別クロススペクトルを計算する周波数別クロススペクトル生成手段と、

前記周波数別クロススペクトル生成手段によって算出される前記周波数別クロススペクトルを逆変換して周波数別相互相関関数を計算する逆変換手段と、

前記ペアの前記周波数別相互相関関数と前記相対遅延時間とに基づいて波源方向と相関値との対応関係である周波数別推定方向情報を計算する周波数別推定方向情報計算手段と、

前記周波数別推定方向情報を統合して前記推定方向情報を計算する周波数統合手段と、

前記周波数別推定方向情報に基づいて波源方向ごとの前記推定方向情報に対する周波数別の前記寄与率を計算する周波数寄与率計算手段とを有する付記 4 に記載の波源方向推定装置。

(付記 6)

前記重み計算手段は、

複数の前記ペア間において前記寄与率の類似度を計算し、算出した前記類似度に基づいて波源方向ごとの重みを計算する付記 4 または 5 に記載の波源方向推定装置。

(付記 7)

前記統合推定方向情報算出手段は、

前記信号選択手段によって選択された全ての前記ペアのうち 1 組の前記ペアをなす二つの前記入力信号を取得するとともに、取得した前記ペアの前記相対遅延時間を取得し、前記ペアをなす二つの前記入力信号を用いて算出される周波数別相互相関関数と前記ペアの前記相対遅延時間とを用いて、前記ペアごとの周波数別推定方向情報を計算する複数の周波数別推定方向情報生成手段と、

複数の前記周波数別推定方向情報生成手段から前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報を取得し、取得した前記ペアごとの前記周波数別推定方向情

報に基づいて波源方向候補を計算し、算出した前記波源方向候補ごとに前記重みを計算する重み生成手段と、

複数の前記周波数別推定方向情報生成手段から前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報を取得するとともに、前記重み生成手段から前記重みを取得し、複数の前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報に前記重みをつけて統合して前記統合推定方向情報を生成する統合手段とを有する付記 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の波源方向推定装置。

(付記 8)

前記周波数別推定方向情報生成手段は、

前記ペアをなす二つの前記入力信号を周波数領域の変換信号に変換する変換手段と、

前記変換手段によって変換された前記変換信号を用いてクロススペクトルを計算するクロススペクトル計算手段と、

前記クロススペクトル計算手段によって算出される前記クロススペクトルを用いて平均クロススペクトルを計算する平均計算手段と、

前記平均計算手段によって算出される前記平均クロススペクトルを用いて分散を計算する分散計算手段と、

前記平均計算手段によって算出される前記平均クロススペクトルと、前記分散計算手段によって算出される分散とを用いて周波数別クロススペクトルを計算する周波数別クロススペクトル生成手段と、

前記周波数別クロススペクトル生成手段によって算出される前記周波数別クロススペクトルを逆変換して周波数別相互相関関数を計算する逆変換手段と、

前記ペアの前記周波数別相互相関関数と前記相対遅延時間とに基づいて波源方向と相関値との対応関係である周波数別推定方向情報を計算する周波数別推定方向情報計算手段とを有する付記 7 に記載の波源方向推定装置。

(付記 9)

前記重み生成手段は、

前記周波数別推定方向情報を統合して前記ペアごとの前記推定方向情報を計算する複数の周波数統合手段と、

前記ペアごとの前記推定方向情報からピークを検出し、ピークとなる方向を前記ペアごとの波源方向候補として選出する複数の波源方向候補選出手段と、

複数の前記波源方向候補選出手段から前記ペアごとの前記波源方向候補を取得し、取得した前記ペアごとの前記波源方向候補を統合する波源方向候補統合手段と、

統合された前記波源方向候補と前記周波数別推定方向情報とに基づいて、前記波源方向候補ごとの前記推定方向情報に対する周波数別の前記寄与率を計算する複数の波源方向候補別周波数寄与率計算手段と、

前記波源方向候補ごとの前記推定方向情報に対する周波数別の前記寄与率を複数の前記波源方向候補別周波数寄与率計算手段から取得し、取得した前記波源方向候補ごとの前記推定方向情報に対する周波数別の前記寄与率に基づいて前記波源方向候補ごとの前記重みを計算する重み計算手段とを有する付記 8 に記載の波源方向推定装置。

(付記 10)

前記重み計算手段は、

複数の前記ペア間の前記波源方向候補ごとの周波数別の前記寄与率の類似度を計算し、算出した前記類似度に基づいて前記波源方向候補ごとの前記重みを求める付記 9 に記載の波源方向推定装置。

(付記 11)

前記統合推定方向情報算出手段によって算出される前記統合推定方向情報に基づいて波源方向を算出する波源方向算出手段を備える付記 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の波源方向推定装置。

(付記 12)

前記波源方向算出手段は、

一定時間ごとに前記統合推定方向情報が最大になる時刻に対応する方向を

波源方向として算出する付記 1 1 に記載の波源方向推定装置。

(付記 1 3)

複数の前記入力手段のそれぞれに対応して配置される前記センサを備える付記 1 乃至 1 2 のいずれか一項に記載の波源方向推定装置。

(付記 1 4)

情報処理装置が、

複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得し、

複数の前記入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択し、

前記ペアをなす二つの前記入力信号の供給元の前記センサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出し、

前記ペアをなす前記入力信号と前記ペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報を前記ペアごとに生成し、

生成した前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出し、

算出した前記寄与率に基づいて異なる前記ペア間の前記寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算し、

全ての前記ペアの前記推定方向情報に前記重みをつけて統合することによって統合推定方向情報を生成する波源方向推定方法。

(付記 1 5)

複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得する処理と、

複数の前記入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択する処理と、

前記ペアをなす二つの前記入力信号の供給元の前記センサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出する処理と、

前記ペアをなす前記入力信号と前記ペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報を前記ペアごとに生成する処理と、

生成した前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出する処理と、

算出した前記寄与率に基づいて異なる前記ペア間の前記寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算する処理と、

全ての前記ペアの前記推定方向情報に前記重みをつけて統合することによって統合推定方向情報を生成する処理とをコンピュータに実行させるプログラムを記録させたプログラム記録媒体。

符号の説明

- [0193]
- | | |
|-----|------------------|
| 1 0 | 波源方向推定装置 |
| 1 1 | 入力端子 |
| 1 2 | 信号選択部 |
| 1 3 | 相対遅延時間計算部 |
| 1 5 | 推定方向情報・周波数寄与率生成部 |
| 1 6 | 重み計算部 |
| 1 7 | 統合部 |
| 2 0 | 波源方向推定装置 |
| 2 1 | 入力端子 |
| 2 2 | 信号選択部 |
| 2 3 | 相対遅延時間計算部 |
| 2 5 | 周波数別推定方向情報生成部 |
| 2 6 | 重み生成部 |
| 2 7 | 統合部 |
| 3 0 | 波源方向推定装置 |
| 3 1 | 入力端子 |
| 3 2 | 信号選択部 |
| 3 3 | 相対遅延時間計算部 |
| 3 5 | 統合推定方向情報算出部 |
| 4 1 | 入力端子 |

- 4 2 信号選択部
- 4 3 相対遅延時間計算部
- 4 5 統合推定方向情報算出部
- 4 6 波源方向算出部
- 1 5 1 変換部
- 1 5 2 クロススペクトル計算部
- 1 5 3 平均計算部
- 1 5 4 分散計算部
- 1 5 5 周波数別クロススペクトル生成部
- 1 5 6 逆変換部
- 1 5 7 周波数別推定方向情報計算部
- 1 5 8 周波数寄与率計算部
- 1 5 9 周波数統合部
- 2 5 1 変換部
- 2 5 2 クロススペクトル計算部
- 2 5 3 平均計算部
- 2 5 4 分散計算部
- 2 5 5 周波数別クロススペクトル生成部
- 2 5 6 逆変換部
- 2 5 7 周波数別推定方向情報計算部
- 2 6 1 周波数統合部
- 2 6 2 波源方向候補選出部
- 2 6 3 波源方向候補統合部
- 2 6 4 波源方向候補別周波数寄与率計算部
- 2 6 5 重み計算部
- 5 5 1 周波数別基本クロススペクトル計算部
- 5 5 2 カーネル関数スペクトル生成部
- 5 5 3 乗算部

請求の範囲

- [請求項1] 複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得する複数の入力手段と、
- 複数の前記入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択する信号選択手段と、
- 前記ペアをなす二つの前記入力信号の供給元の前記センサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出する相対遅延時間計算手段と、
- 前記ペアをなす前記入力信号と前記ペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報を前記ペアごとに生成し、生成した前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出し、算出した前記寄与率に基づいて異なる前記ペア間の前記寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算し、全ての前記ペアの前記推定方向情報に前記重みをつけて統合することによって統合推定方向情報を生成する統合推定方向情報算出手段とを備える波源方向推定装置。
- [請求項2] 前記信号選択手段は、
- 前記センサの間隔に基づいて、複数の前記入力信号から二つの前記入力信号を組み合わせた前記ペアを選択する請求項1に記載の波源方向推定装置。
- [請求項3] 前記相対遅延時間計算手段は、
- 一つの前記ペアをなす二つの前記入力信号の供給元である前記センサにおける波源探索方向を基準として、前記信号選択手段によって選択された全ての前記ペアの前記相対遅延時間を、基準である前記波源探索方向の関数として計算する請求項1または2に記載の波源方向推定装置。
- [請求項4] 前記統合推定方向情報算出手段は、
- 前記信号選択手段によって選択された全ての前記ペアのうち1組の

前記ペアをなす二つの前記入力信号を取得するとともに、取得した前記ペアの前記相対遅延時間を取得し、前記ペアをなす二つの前記入力信号間の周波数別相互相関関数と前記ペアの前記相対遅延時間とを用いて、前記ペアをなす二つの前記入力信号間の前記推定方向情報と周波数別の前記寄与率とを生成する複数の推定方向情報・周波数寄与率生成手段と、

複数の前記推定方向情報・周波数寄与率生成手段から周波数ごとの前記寄与率を取得し、異なる前記ペア間の前記寄与率の類似度に応じて波源方向ごとの前記重みを計算する重み計算手段と、

複数の前記推定方向情報・周波数寄与率生成手段から前記推定方向情報を取得するとともに、前記重み計算手段から前記重みを取得し、複数の前記ペアごとの前記推定方向情報に前記重みをつけて統合して前記統合推定方向情報を生成する統合手段とを有する請求項1乃至3のいずれか一項に記載の波源方向推定装置。

[請求項5]

前記推定方向情報・周波数寄与率生成手段は、

前記ペアをなす二つの前記入力信号を周波数領域の変換信号に変換する変換手段と、

前記変換手段によって変換された前記変換信号を用いてクロススペクトルを計算するクロススペクトル計算手段と、

前記クロススペクトル計算手段によって算出される前記クロススペクトルを用いて平均クロススペクトルを計算する平均計算手段と、

前記平均計算手段によって算出される前記平均クロススペクトルを用いて分散を計算する分散計算手段と、

前記平均計算手段によって算出される前記平均クロススペクトルと、前記分散計算手段によって算出される分散とを用いて周波数別クロススペクトルを計算する周波数別クロススペクトル生成手段と、

前記周波数別クロススペクトル生成手段によって算出される前記周波数別クロススペクトルを逆変換して周波数別相互相関関数を計算す

る逆変換手段と、

前記ペアの前記周波数別相互相関関数と前記相対遅延時間とに基づいて波源方向と相関値との対応関係である周波数別推定方向情報を計算する周波数別推定方向情報計算手段と、

前記周波数別推定方向情報を統合して前記推定方向情報を計算する周波数統合手段と、

前記周波数別推定方向情報に基づいて波源方向ごとの前記推定方向情報に対する周波数別の前記寄与率を計算する周波数寄与率計算手段とを有する請求項4に記載の波源方向推定装置。

[請求項6] 前記重み計算手段は、

複数の前記ペア間において前記寄与率の類似度を計算し、算出した前記類似度に基づいて波源方向ごとの重みを計算する請求項4または5に記載の波源方向推定装置。

[請求項7] 前記統合推定方向情報算出手段は、

前記信号選択手段によって選択された全ての前記ペアのうち1組の前記ペアをなす二つの前記入力信号を取得するとともに、取得した前記ペアの前記相対遅延時間を取得し、前記ペアをなす二つの前記入力信号を用いて算出される周波数別相互相関関数と前記ペアの前記相対遅延時間とを用いて、前記ペアごとの周波数別推定方向情報を計算する複数の周波数別推定方向情報生成手段と、

複数の前記周波数別推定方向情報生成手段から前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報を取得し、取得した前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報に基づいて波源方向候補を計算し、算出した前記波源方向候補ごとに前記重みを計算する重み生成手段と、

複数の前記周波数別推定方向情報生成手段から前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報を取得するとともに、前記重み生成手段から前記重みを取得し、複数の前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報に前記重みをつけて統合して前記統合推定方向情報を生成する統合手段

とを有する請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の波源方向推定装置。
。

[請求項8]

前記周波数別推定方向情報生成手段は、
前記ペアをなす二つの前記入力信号を周波数領域の変換信号に変換する変換手段と、
前記変換手段によって変換された前記変換信号を用いてクロススペクトルを計算するクロススペクトル計算手段と、
前記クロススペクトル計算手段によって算出される前記クロススペクトルを用いて平均クロススペクトルを計算する平均計算手段と、
前記平均計算手段によって算出される前記平均クロススペクトルを用いて分散を計算する分散計算手段と、
前記平均計算手段によって算出される前記平均クロススペクトルと、前記分散計算手段によって算出される分散とを用いて周波数別クロススペクトルを計算する周波数別クロススペクトル生成手段と、
前記周波数別クロススペクトル生成手段によって算出される前記周波数別クロススペクトルを逆変換して周波数別相互相関関数を計算する逆変換手段と、
前記ペアの前記周波数別相互相関関数と前記相対遅延時間とに基づいて波源方向と相関値との対応関係である周波数別推定方向情報を計算する周波数別推定方向情報計算手段とを有する請求項 7 に記載の波源方向推定装置。

[請求項9]

前記重み生成手段は、
前記周波数別推定方向情報を統合して前記ペアごとの前記推定方向情報を計算する複数の周波数統合手段と、
前記ペアごとの前記推定方向情報からピークを検出し、ピークとなる方向を前記ペアごとの波源方向候補として選出する複数の波源方向候補選出手段と、
複数の前記波源方向候補選出手段から前記ペアごとの前記波源方向

候補を取得し、取得した前記ペアごとの前記波源方向候補を統合する波源方向候補統合手段と、

統合された前記波源方向候補と前記周波数別推定方向情報とに基づいて、前記波源方向候補ごとの前記推定方向情報に対する周波数別の前記寄与率を計算する複数の波源方向候補別周波数寄与率計算手段と、

前記波源方向候補ごとの前記推定方向情報に対する周波数別の前記寄与率を複数の前記波源方向候補別周波数寄与率計算手段から取得し、取得した前記波源方向候補ごとの前記推定方向情報に対する周波数別の前記寄与率に基づいて前記波源方向候補ごとの前記重みを計算する重み計算手段とを有する請求項 8 に記載の波源方向推定装置。

[請求項10] 前記重み計算手段は、

複数の前記ペア間の前記波源方向候補ごとの周波数別の前記寄与率の類似度を計算し、算出した前記類似度に基づいて前記波源方向候補ごとの前記重みを求める請求項 9 に記載の波源方向推定装置。

[請求項11] 前記統合推定方向情報算出手段によって算出される前記統合推定方向情報に基づいて波源方向を算出する波源方向算出手段を備える請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の波源方向推定装置。

[請求項12] 前記波源方向算出手段は、

一定時間ごとに前記統合推定方向情報が最大になる時刻に対応する方向を波源方向として算出する請求項 11 に記載の波源方向推定装置。

[請求項13] 複数の前記入力手段のそれぞれに対応して配置される前記センサを備える請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載の波源方向推定装置。

[請求項14] 情報処理装置が、

複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得し、

複数の前記入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択し

、

前記ペアをなす二つの前記入力信号の供給元の前記センサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出し、

前記ペアをなす前記入力信号と前記ペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報を前記ペアごとに生成し、

生成した前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出し、

算出した前記寄与率に基づいて異なる前記ペア間の前記寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算し、

全ての前記ペアの前記推定方向情報に前記重みをつけて統合することによって統合推定方向情報を生成する波源方向推定方法。

[請求項15]

複数のセンサによって検出される波動に基づく電気信号を入力信号として取得する処理と、

複数の前記入力信号のうち二つを組み合わせたペアを複数組選択する処理と、

前記ペアをなす二つの前記入力信号の供給元の前記センサへの波源方向ごとの波動の到達時間差を相対遅延時間として算出する処理と、

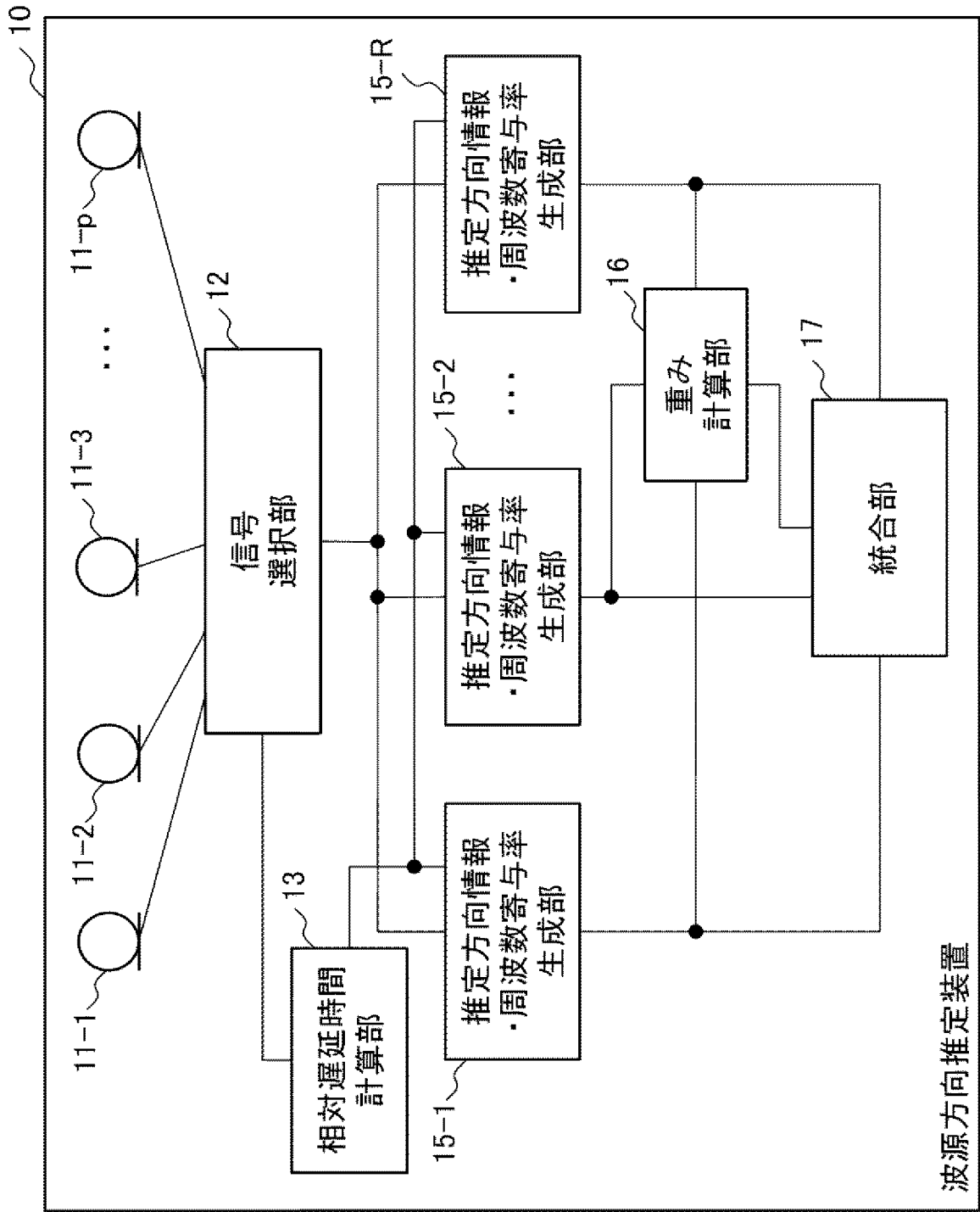
前記ペアをなす前記入力信号と前記ペアの相対遅延時間とを用いて周波数別推定方向情報を前記ペアごとに生成する処理と、

生成した前記ペアごとの前記周波数別推定方向情報を用いて波源方向ごとの推定方向情報に対する周波数別の寄与率を算出する処理と、

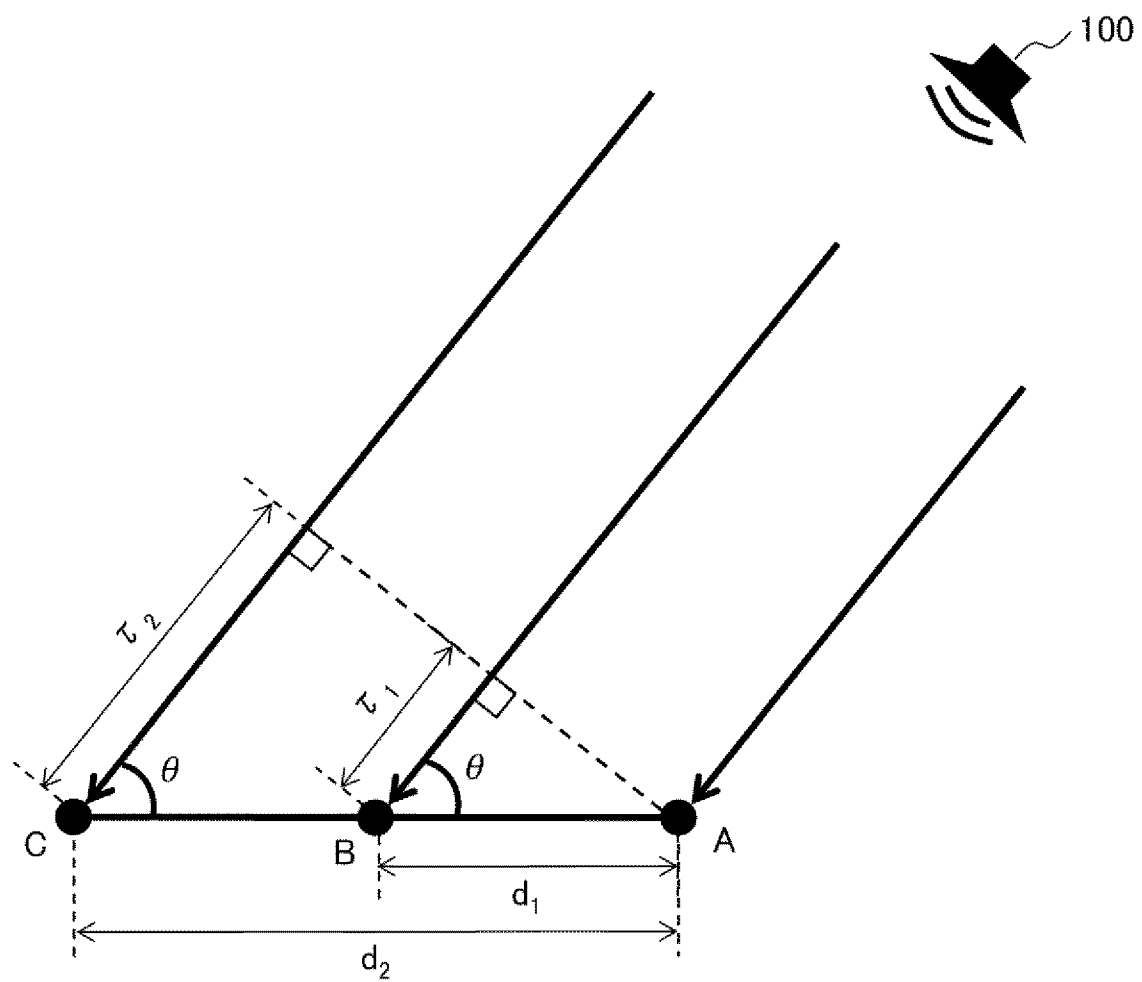
算出した前記寄与率に基づいて異なる前記ペア間の前記寄与率の類似度に応じた波源方向ごとの重みを計算する処理と、

全ての前記ペアの前記推定方向情報に前記重みをつけて統合することによって統合推定方向情報を生成する処理とをコンピュータに実行させるプログラムを記録させたプログラム記録媒体。

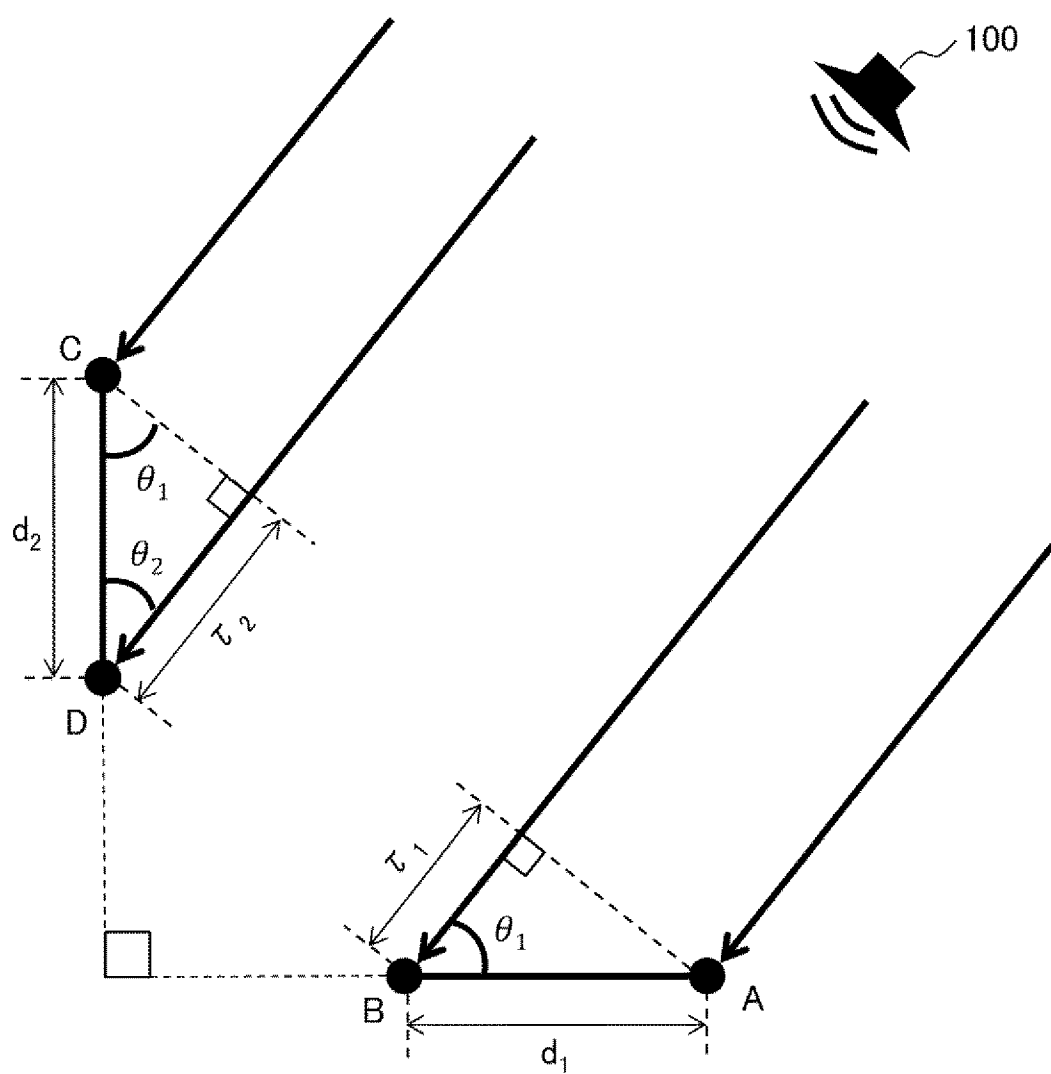
[図1]



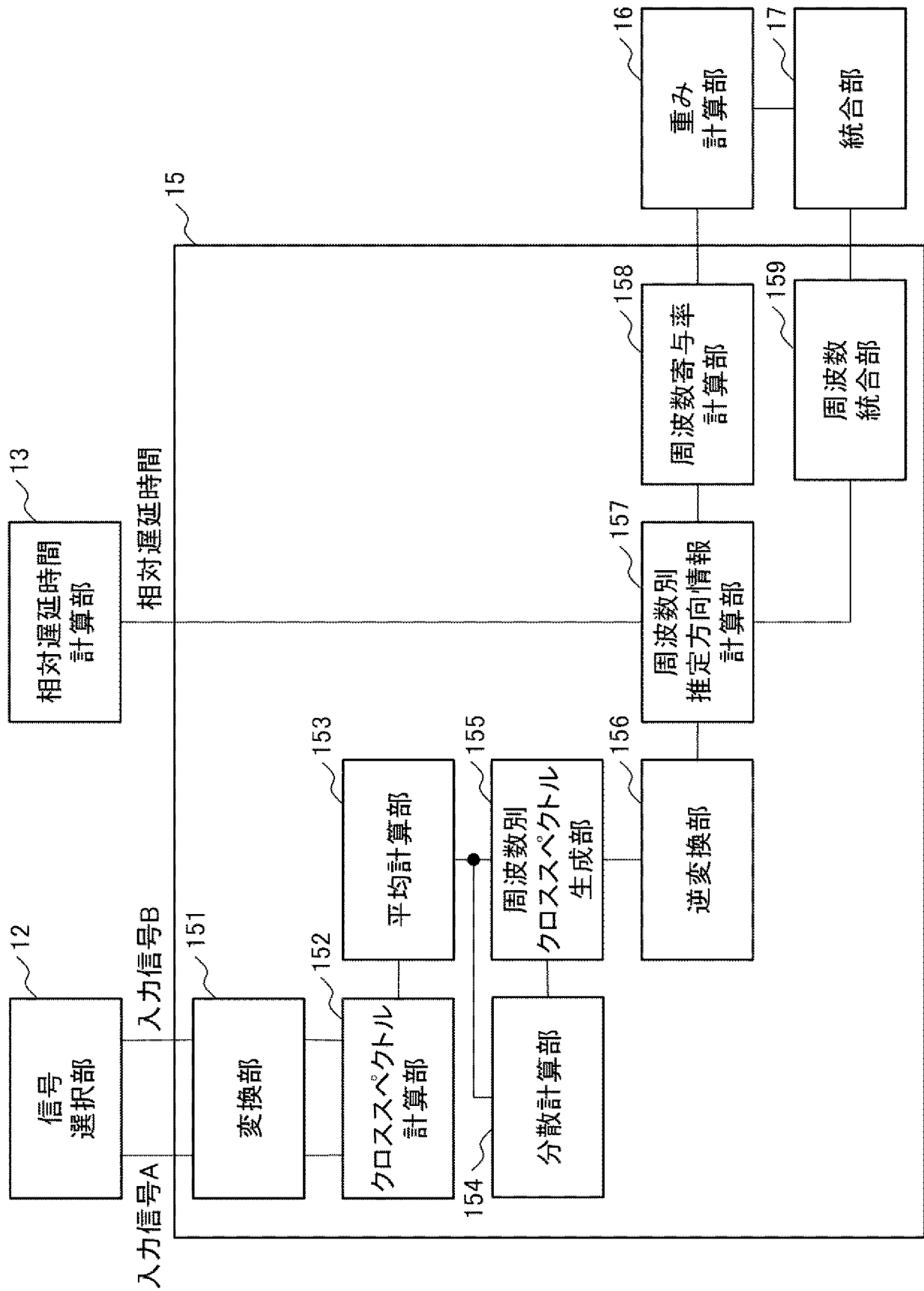
[図2]



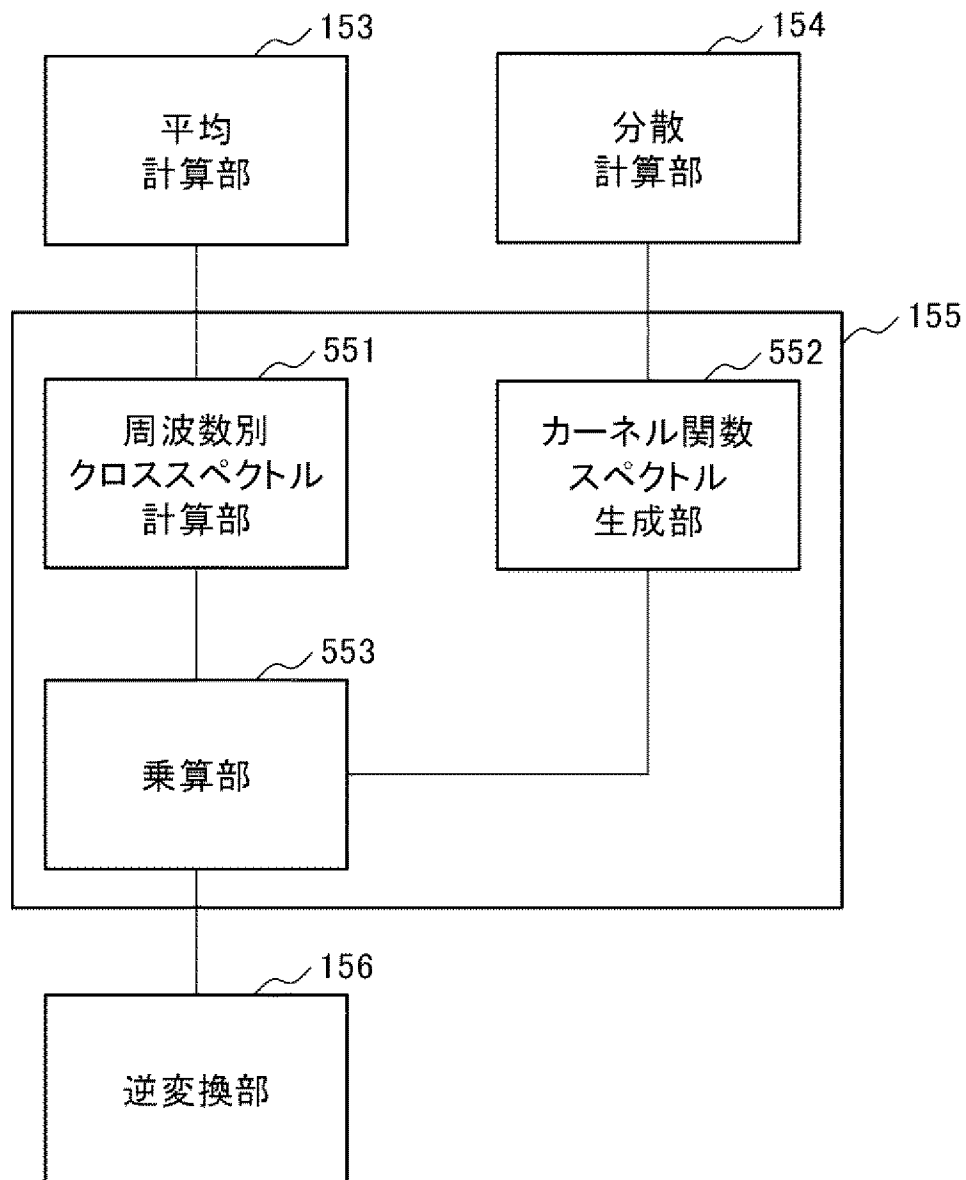
[図3]



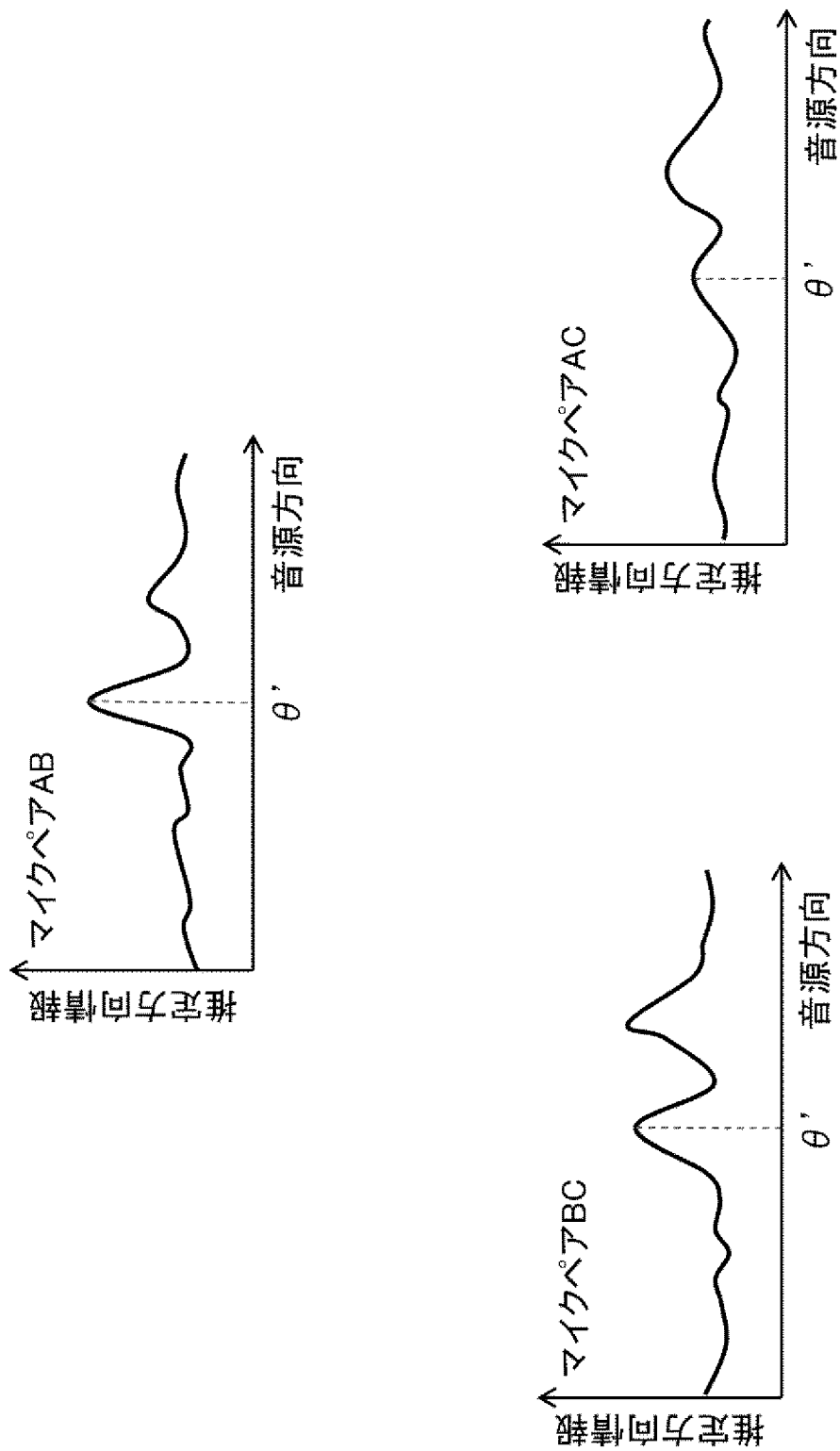
[図4]



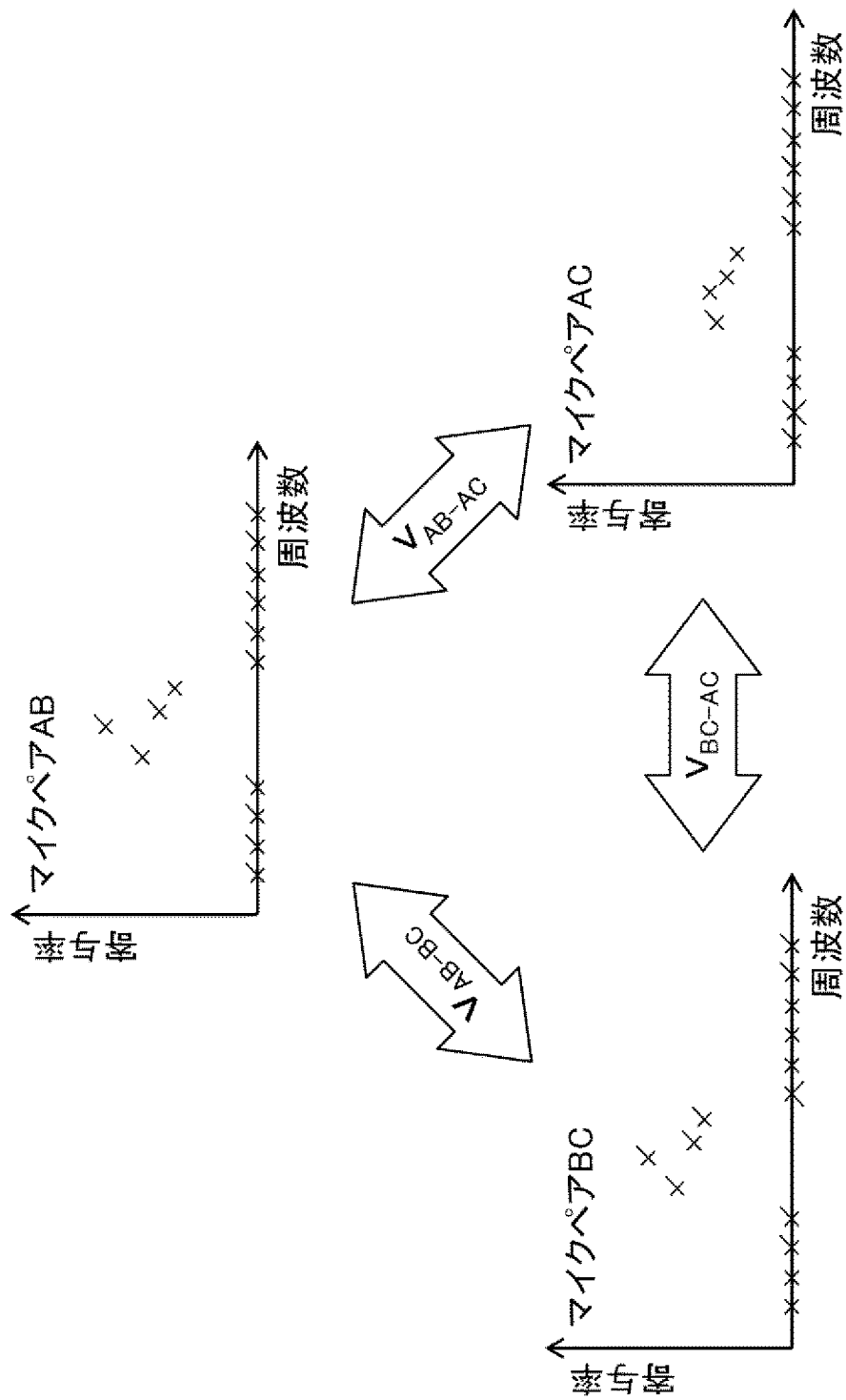
[図5]



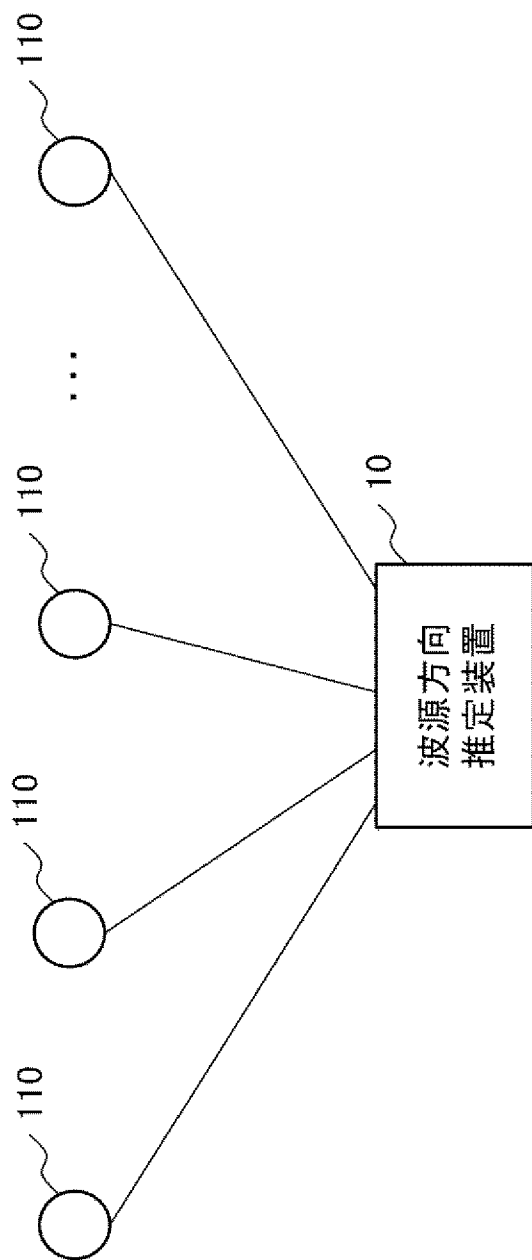
[図6]



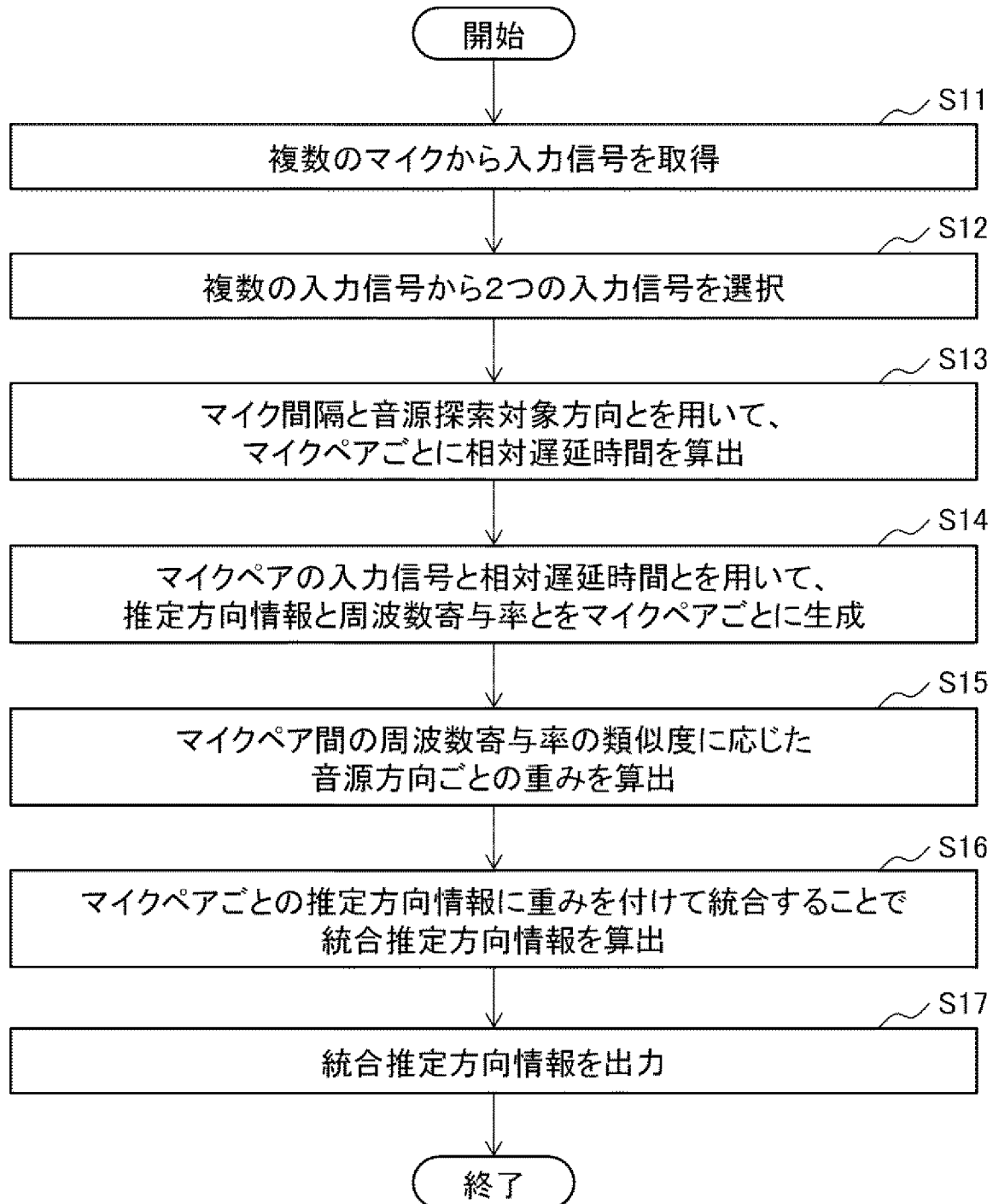
[図7]



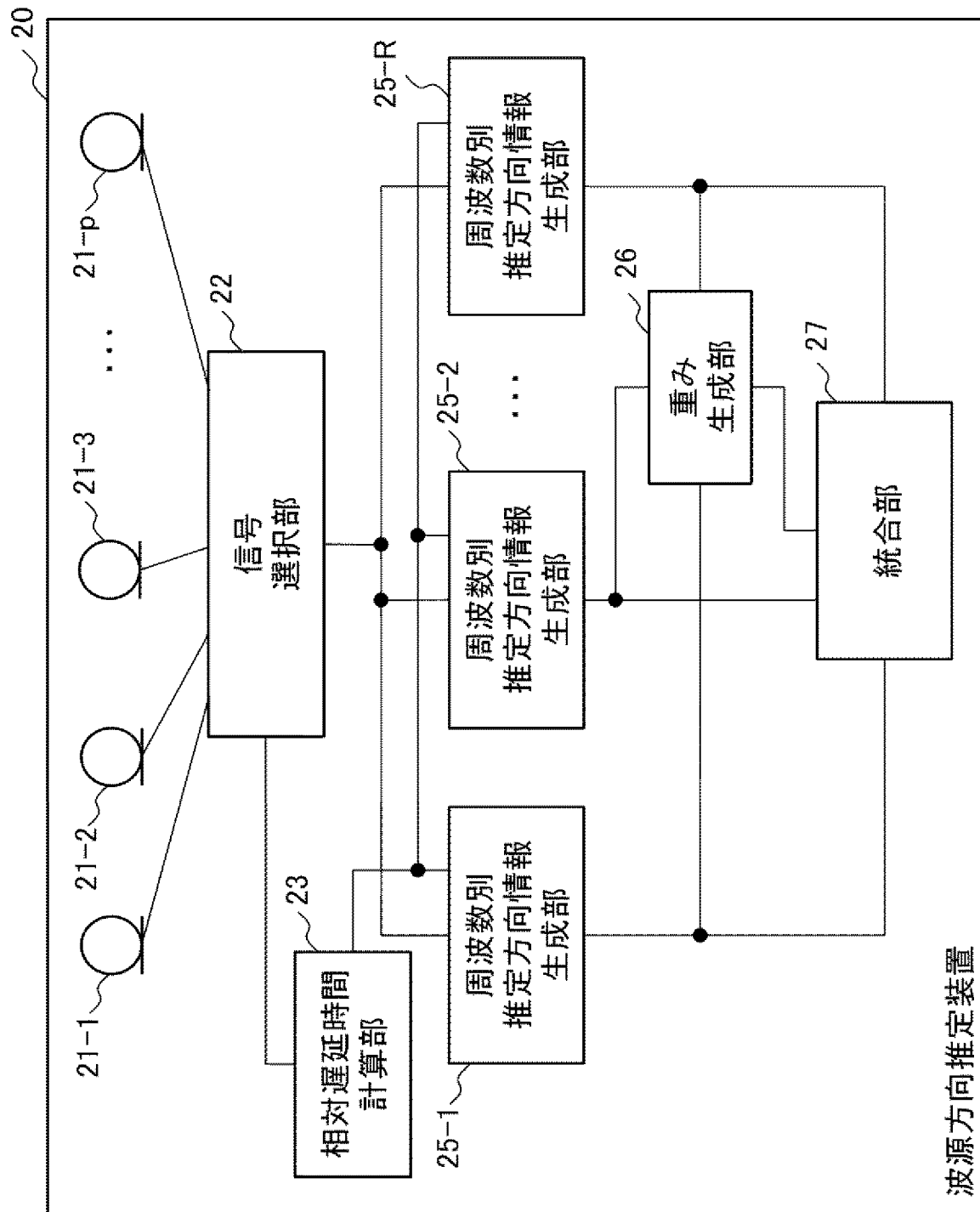
[図8]



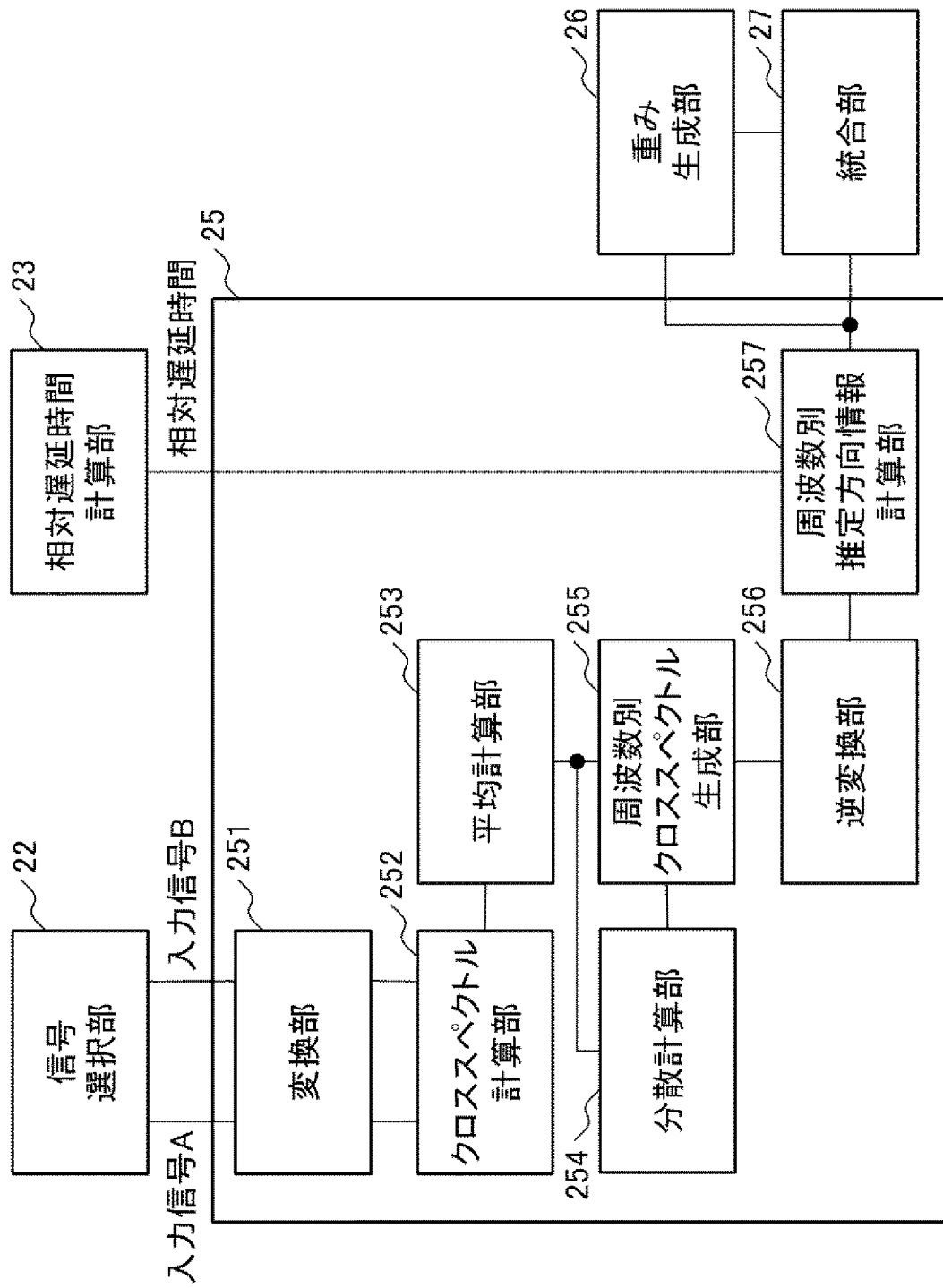
[図9]



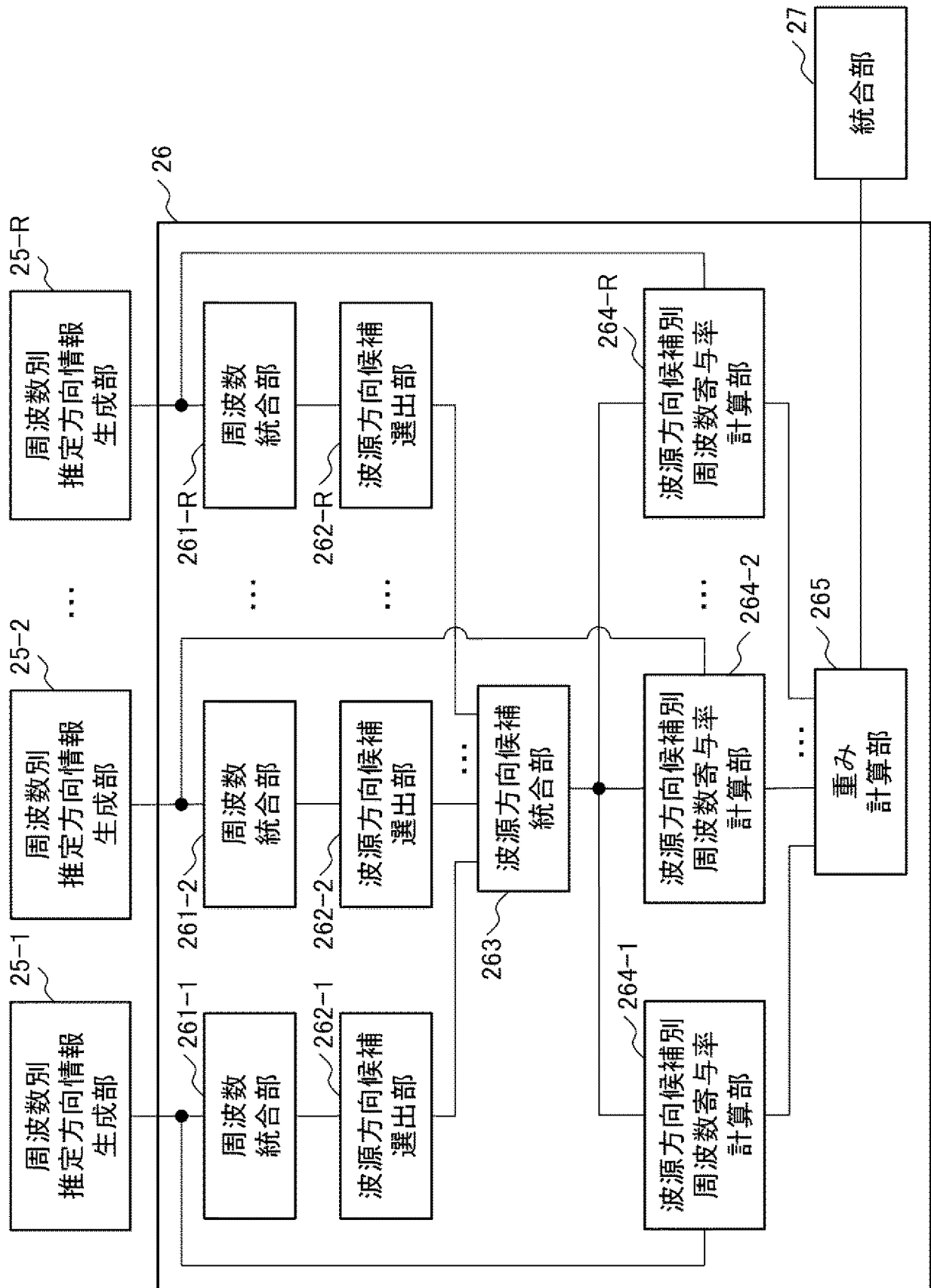
[図10]



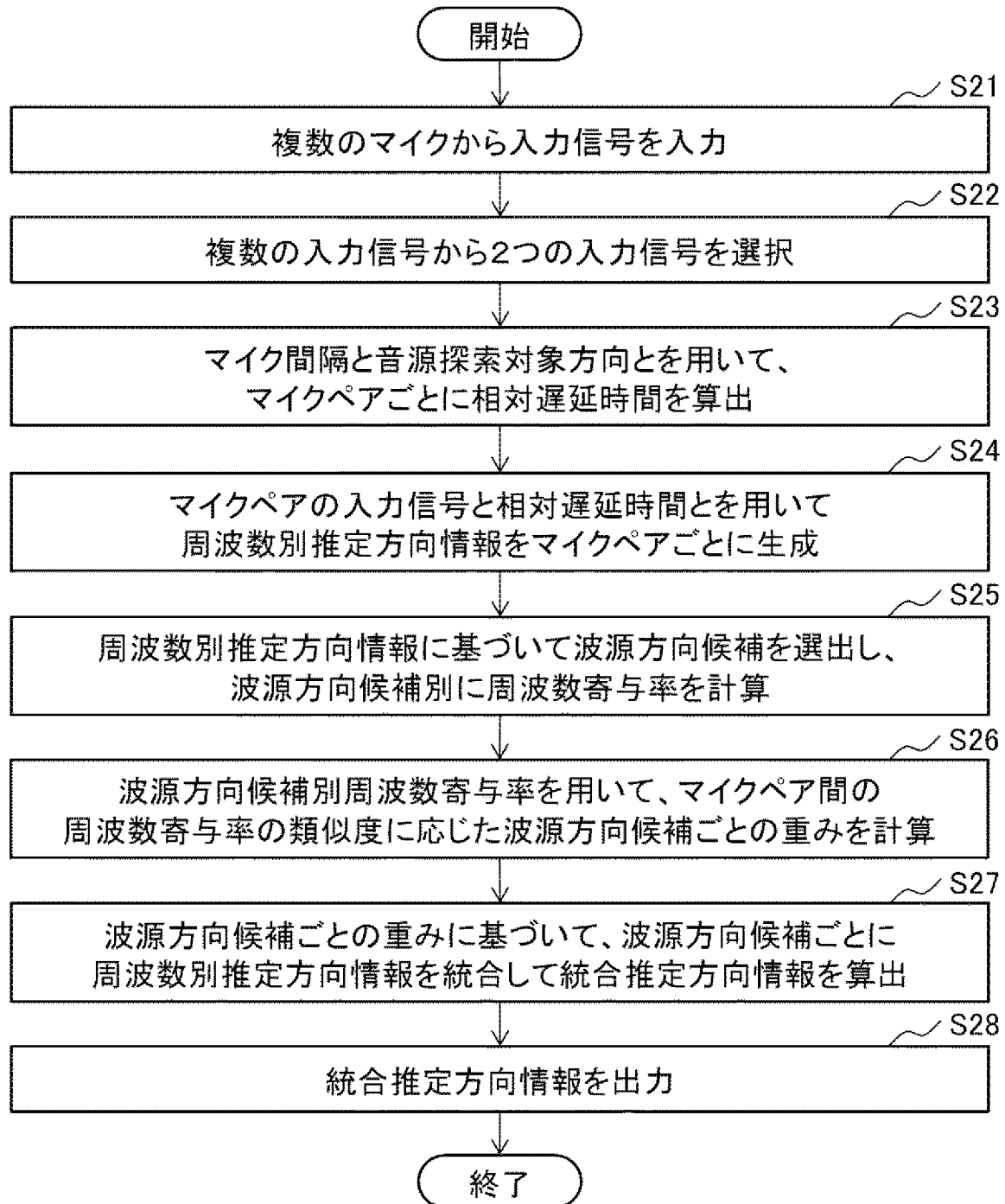
[図11]



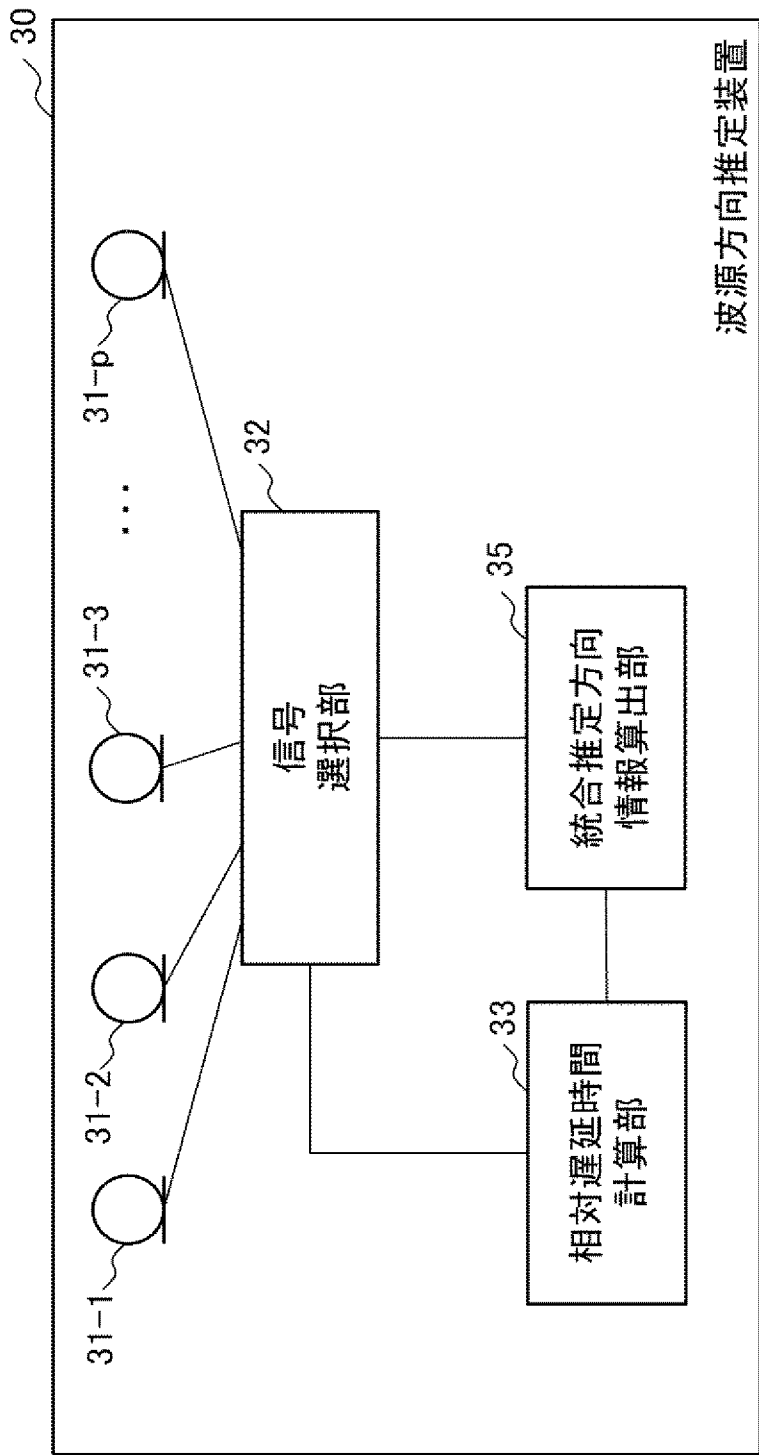
[図12]



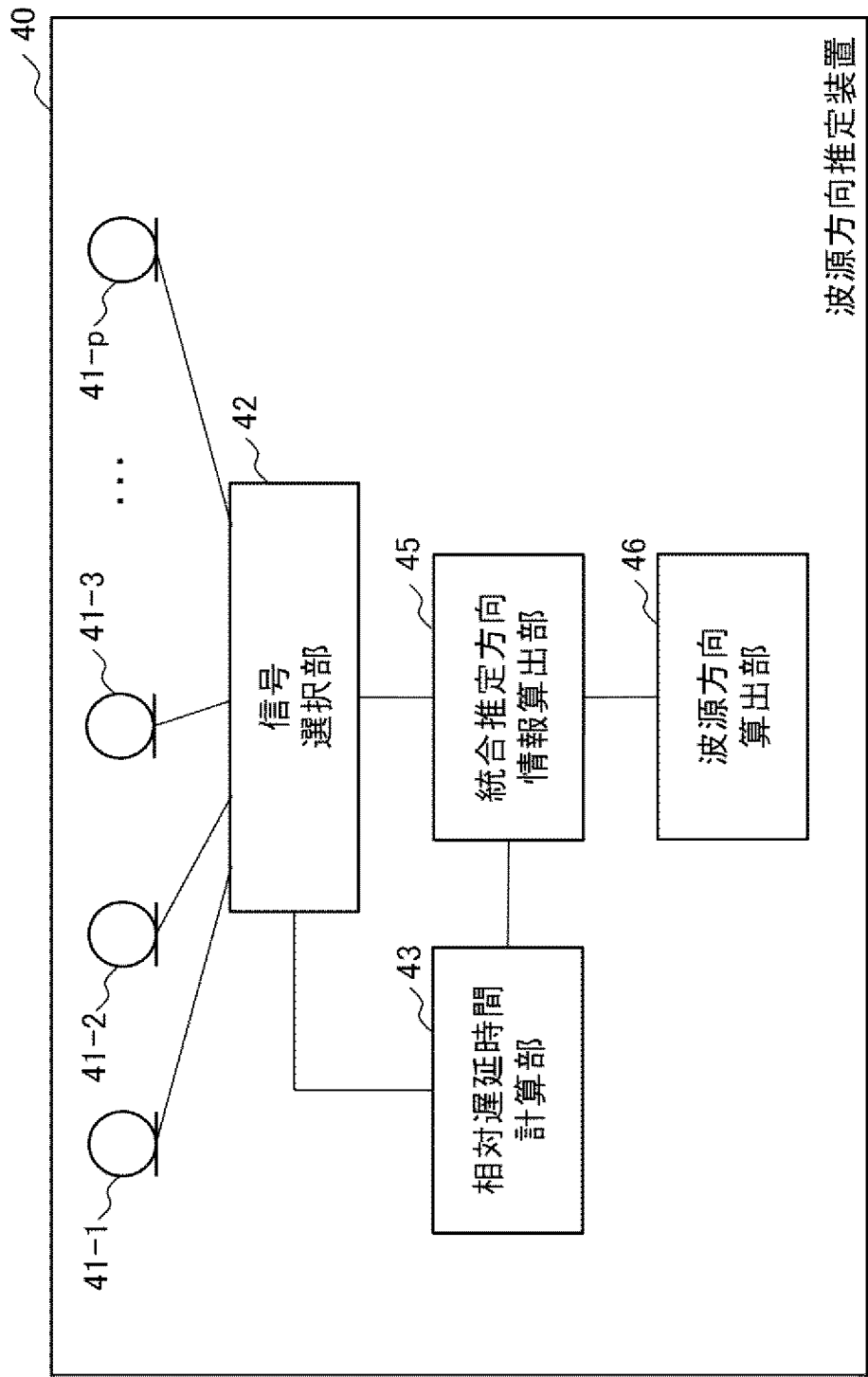
[図13]



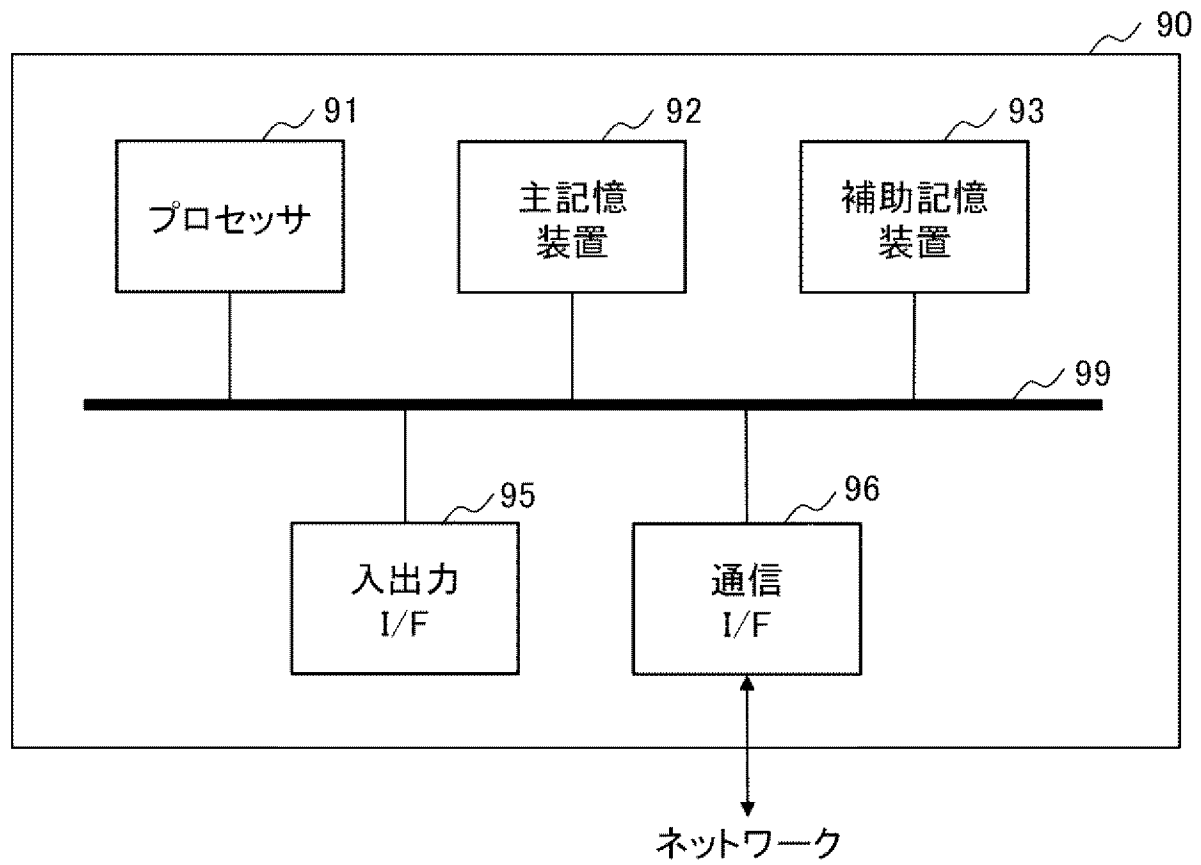
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/023971

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01S3/808 (2006.01) i, G01H3/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. G01S3/80-3/86, G01H3/00, G10L13/00-99/00, H04R3/00-3/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-071686 A (NEC CORP.) 07 April 2011, paragraphs [0023]-[0041], fig. 3 (Family: none)	1-15
A	JP 2015-161551 A (TOSHIBA CORP.) 07 September 2015, paragraphs [0081]-[0087], fig. 18-23 & US 2015/0245152 A1, paragraphs [0106]-[0113], fig. 18-23 & CN 104865550 A	1-15
A	加藤正徳ほか, 位相投票による相互相関と円周標準偏差に基づく TDOA 推定, 電子情報通信学会技術研究報告 IEICE Technical Report, 2017.03, vol. 116, no. 477, pp. 159-164, ISSN:0913-5685 (KATO, Masanori et al. TDOA Estimation Based on Phase-Voting Cross Correlation and Circular Standard Deviation)	1-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
28.08.2018

Date of mailing of the international search report
11.09.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/JP2018/023971**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KATO, Masanori et al., TDOA Estimation Based on Phase-Voting Cross Correlation and Circular Standard Deviation, 2017 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2017, pp. 1230-1234, ISBN:978-0-9928626-7-1, doi:10.23919/EUSIPCO.2017.8081404	1-15
A	WO 2018/003158 A1 (NEC CORP.) 04 January 2018, entire text, all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 2010-193323 A (CASIO HITACHI MOBILE COMMUNICATIONS CO., LTD.) 02 September 2010, entire text, all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 2008-089312 A (KDDI CORP.) 17 April 2008, entire text, all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 2010-175431 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 12 August 2010, entire text, all drawings (Family: none)	1-15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01S3/808(2006.01)i, G01H3/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01S3/80-3/86, G01H3/00, G10L13/00-99/00, H04R3/00-3/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-071686 A（日本電気株式会社）2011.04.07, [0023]-[0041], 第3図（ファミリーなし）	1-15
A	JP 2015-161551 A（株式会社東芝）2015.09.07, [0081]-[0087], 第18-23図 & US 2015/0245152 A1([0106]-[0113], 第18-23図) & CN 104865550 A	1-15

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

28.08.2018

国際調査報告の発送日

11.09.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

東 治企

2S

9708

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	加藤 正徳 ほか, 位相投票による相互相関と円周標準偏差に基づく TDOA推定, 電子情報通信学会技術研究報告 IEICE Technical Report, 2017.03, 第116巻, 第477号, 第159-164頁, ISSN:0913-5685 (KATO, Masanori et al., TDOA Estimation Based on Phase-Voting Cross Correlation and Circular Standard Deviation)	1-15
A	KATO, Masanori et al., TDOA Estimation Based on Phase-Voting Cross Correlation and Circular Standard Deviation, 2017 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2017, pp.1230-1234, ISBN:978-0-9928626-7-1, doi:10.23919/EUSIPCO.2017.8081404	1-15
A	WO 2018/003158 A1 (日本電気株式会社) 2018.01.04, 全文, 全図 (フ ァミリーなし)	1-15
A	JP 2010-193323 A (株式会社カシオ日立モバイルコミュニケーショ ンズ) 2010.09.02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2008-089312 A (KDD I 株式会社) 2008.04.17, 全文, 全図 (フ ァミリーなし)	1-15
A	JP 2010-175431 A (日本電信電話株式会社) 2010.08.12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-15