

(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
2016 年 12 月 1 日(01.12.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/190051 A1

- (51) 国際特許分類:
G06F 17/14 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/063416
- (22) 国際出願日: 2016 年 4 月 28 日(28.04.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-108999 2015 年 5 月 28 日(28.05.2015) JP
- (71) 出願人: アズビル株式会社 (AZBIL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1006419 東京都千代田区丸の内 2 丁目 7 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 佐々木 宏 (SASAKI, Hiroshi); 〒1006419 東京都千代田区丸の内 2 丁目 7 番 3 号 アズビル株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 稲葉 良幸, 外 (INABA, Yoshiyuki et al.); 〒1066123 東京都港区六本木 6-10-1 六本木ヒルズ森タワー 23 階 TMI 総合法律事務所 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, 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:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: COMPUTATION DEVICE

(54) 発明の名称: 演算装置

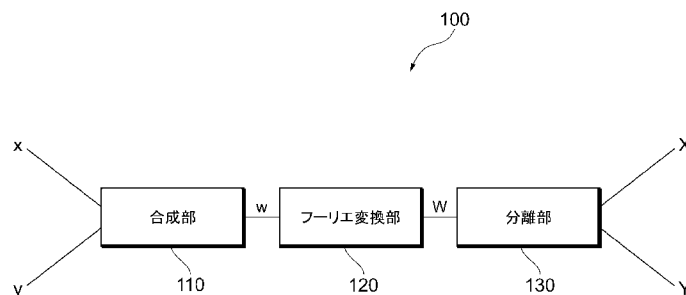


FIG. 1
110 Combination unit
120 Fourier transform unit
130 Separation unit

(57) **Abstract:** Provided is a computation device capable of more efficiently carrying out Fourier transforms and/or inverse Fourier transforms. The computation device 100 is provided with: a combination unit 110 that combines a first real signal x and a second real signal y, which are real discrete signals each including N samples (N being a positive integer), into a combined complex signal w having the first real signal x as the real part and the second real signal y as the imaginary part; a Fourier transform unit 120 that performs a Fourier transform on the combined complex signal w; and a separation unit 130 that separates a spectrum W, which is the output of the Fourier transform unit, into a first spectrum X, which is the Fourier transform of the first real signal x, and a second spectrum Y, which is the Fourier transform of the second real signal y.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/190051 A1



フーリエ変換および逆フーリエ変換の少なくとも一方をより効率的に行うことのできる演算装置を提供する。演算装置 100 は、それぞれ標本数 N (N は正の整数) を含む実数離散信号である第 1 実信号 x および第 2 実信号 y に対し、第 1 実信号 x を実部とし、第 2 実信号 y を虚部とする合成複素信号 w に合成する合成部 110 と、合成複素信号 w をフーリエ変換するフーリエ変換部 120 と、フーリエ変換部の出力であるスペクトル W を、第 1 実信号 x をフーリエ変換した第 1 スペクトル X と、第 2 実信号 y をフーリエ変換した第 2 スペクトル Y とに分離する分離部 130 と、を備える。

明 細 書

発明の名称 : 演算装置

技術分野

[0001] 本発明に係るいくつかの態様は、フーリエ変換および逆フーリエ変換のうちの少なくとも一方を行う演算装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、この種の演算装置として、第1および第2の信号をフーリエ変換した値を、ヒルベルト変換した後に逆フーリエ演算を行うものが知られている（例えば、特許文献1参照）。この演算装置では、周波数領域においてヒルベルト変換することにより、第1および第2の信号の時間差を、比較的少ない演算量で求めることができる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2011-180077号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 従来の演算装置では、一般に、2つの信号に対してフーリエ変換を行う場合、2つの信号のそれぞれをフーリエ変換していた。同様に、2つのスペクトルに対して逆フーリエ変換を行う場合、2つのスペクトルのそれぞれを逆フーリエ変換していた。

[0005] 近年、演算装置において、リソースの削減、演算時間の短縮、消費電力量の低減などの要求がますます高まっており、演算負荷の大きいフーリエ変換および逆フーリエ変換の効率化が求められている。

[0006] 本発明のいくつかの態様は上記した問題に鑑みてなされたものであり、フーリエ変換および逆フーリエ変換の少なくとも一方をより効率的に行うことのできる演算装置を提供することを目的の1つとする。

課題を解決するための手段

- [0007] 本発明の一態様における演算装置は、それぞれ標本数 N （ N は正の整数）を含む実数離散信号である第1の実信号および第2の実信号に対し、第1の実信号を実部とし、第2の実信号を虚部とする合成複素信号に合成する合成部と、合成複素信号をフーリエ変換するフーリエ変換部と、フーリエ変換部の出力であるスペクトルを、第1の実信号をフーリエ変換した第1のスペクトルと、第2の実信号をフーリエ変換した第2のスペクトルとに分離する分離部と、を備える。
- [0008] 上記演算装置において、第1の実信号および第2の実信号は、所定のサンプリング周波数で2のべき乗の標本数 N をそれぞれサンプリングしたものであり、分離部は、スペクトルの正の周波数領域における実部とスペクトルの負の周波数領域における実部とに基づいて、第1のスペクトルの実部と、第2のスペクトルの虚部とに分離し、スペクトルの正の周波数領域における虚部とスペクトルの負の周波数領域における虚部とに基づいて、第1のスペクトルの虚部と、第2のスペクトルの実部とに分離してもよい。
- [0009] 上記演算装置において、フーリエ変換部は、合成複素信号を高速フーリエ変換してもよい。
- [0010] また、本発明の一態様における演算装置は、逆フーリエ変換するとそれぞれ標本数 N （ N は正の整数）を含む実数離散信号になる第1のスペクトルおよび第2のスペクトルを、合成スペクトルに合成する合成部と、合成スペクトルを逆フーリエ変換する逆フーリエ変換部と、逆フーリエ変換部の出力である複素信号に対し、複素信号の実部から第1のスペクトルを逆フーリエ変換した第1の実信号を分離し、複素信号の虚部から前記第2のスペクトルを逆フーリエ変換した第2の実信号を分離する分離部と、を備える。
- [0011] 上記演算装置において、第1の実信号および第2の実信号は、所定のサンプリング周波数で2のべき乗の標本数 N をそれぞれサンプリングしたものであり、合成部は、第2のスペクトルの周波数成分に虚数単位を乗じたものを、第1のスペクトルの周波数成分に加算し、合成スペクトルを合成してもよい。

[0012] 上記演算装置において、逆フーリエ変換部は、合成スペクトルを逆高速フーリエ変換してもよい。

発明の効果

[0013] 本発明の一態様における演算装置によれば、それぞれ標本数 N （ N は正の整数）を含む実数離散信号である第1の実信号および第2の実信号に対し、第1の実信号を実部とし、第2の実信号を虚部とする合成複素信号に合成する合成部を備える。これにより、それぞれ自由度 N を有する第1の実信号および第2の実信号が、自由度 $2N$ の合成複素信号に合成される。したがって、自由度 N の信号をフーリエ変換していた従来の演算装置と比較して、フーリエ変換の演算効率を向上させることができる。また、本発明の一態様における演算装置は、合成複素信号をフーリエ変換するフーリエ変換部と、フーリエ変換部の出力であるスペクトルを、第1の実信号をフーリエ変換した第1のスペクトルと、第2の実信号をフーリエ変換した第2のスペクトルとに分離する分離部と、を備える。これにより、合成複素信号を1回フーリエ変換したスペクトルから、第1のスペクトルと第2のスペクトルの両方を得ることが可能になる。したがって、2つの実信号をそれぞれフーリエ変換していた従来の演算装置と比較して、フーリエ変換の演算回数（演算数）を削減することができる。

[0014] また、本発明の一態様における演算装置によれば、逆フーリエ変換するとそれぞれ標本数 N （ N は正の整数）を含む実数離散信号になる第1のスペクトルおよび第2のスペクトルを、合成スペクトルに合成する合成部を備える。これにより、それぞれ自由度 N を有する第1のスペクトルおよび第2のスペクトルが、自由度 $2N$ の合成スペクトルに合成される。したがって、自由度 N のスペクトルを逆フーリエ変換していた従来の演算装置と比較して、逆フーリエ変換の演算効率を向上させることができる。また、合成スペクトルを逆フーリエ変換する逆フーリエ変換部と、逆フーリエ変換部の出力である複素信号に対し、複素信号の実部から第1のスペクトルを逆フーリエ変換した第1の実信号を分離し、複素信号の虚部から第2のスペクトルを逆フーリ

エ変換した第2実信号を分離する分離部と、を備える。これにより、合成スペクトルを1回逆フーリエ変換した複素信号から、第1の実信号と第2の実信号の両方を得ることが可能になる。したがって、2つのスペクトルをそれぞれ逆フーリエ変換していた従来の演算装置と比較して、逆フーリエ変換の演算回数（演算数）を削減することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]第1実施形態に従う演算装置の概略構成の一例を示すブロック図である。

[図2]スペクトルの周波数成分におけるインデックスと対応する正の周波数領域のインデックスとの関係の一例を示す表である。

[図3]スペクトルの周波数成分におけるインデックスと実部および虚部との関係の一例を示す表である。

[図4]第1実施形態に従う第1スペクトルの周波数成分におけるインデックスと実部および虚部との関係の一例を示す表である。

[図5]、第1実施形態に従う第2スペクトルの周波数成分におけるインデックスと実部および虚部との関係の一例を示す表である。

[図6]スペクトルの周波数成分におけるインデックスと実部および虚部との関係の一例を示す表である。

[図7]第1実施形態に従う合成複素信号におけるインデックスと実部および虚部との関係の一例を示す表である。

[図8]第1実施形態に従うスペクトルの周波数成分におけるインデックスと実部および虚部との関係の一例を示す表である。

[図9]第1実施形態に従う演算装置を備えるスペクトラムアナライザの構成の一例を示すブロック図である。

[図10]第1実施形態に従う演算装置を備える相関演算装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図11]第2実施形態に従う演算装置の概略構成の一例を示すブロック図である。

[図12]第2実施形態に従う合成スペクトルの周波数成分におけるインデックスと実部および虚部との関係の一例を示す表である。

[図13]第2実施形態に従う複素信号におけるインデックスと実部および虚部との関係の一例を示す表である。

[図14]第1実施形態に従う演算装置と第2実施形態に従う演算装置とを備えるヒルベルト相関演算装置の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

[0016] 以下に本発明の実施形態を説明する。以下の図面の記載において、同一または類似の部分には同一または類似の符号で表している。但し、図面は模式的なものである。したがって、具体的な寸法などは以下の説明を照らし合わせて判断すべきものである。また、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。さらに、本発明の技術的範囲は、当該実施形態に限定して解すべきではない。なお、以下の説明において、図面上側を「上」、下側を「下」、左側を「左」、右側を「右」という。

[0017] <第1実施形態>

図1乃至図10は、本発明に係る演算装置の第1実施形態を示すためのものである。図1は、第1実施形態に従う演算装置100の概略構成の一例を示すブロック図である。図1に示すように、演算装置100は、例えば、合成部110と、フーリエ変換部120と、分離部130と、を備える。演算装置100は、具体的なハードウェアとしては、CPUや演算プロセッサ等の演算手段、演算手段がアクセス可能でデータの書き込みおよび読み出しが可能なメモリ、外部からデータの授受可能に構成されたインターフェース回路等を備える。演算手段が、所定のソフトウェアプログラムを実行することにより、合成部110、フーリエ変換部120、および分離部130が機能的に実現される。

[0018] 合成部110には、例えば演算装置100の外部から、第1実信号xと第2実信号yとが入力される。第1実信号xおよび第2実信号yは、それぞれ

、例えば位置、速度、加速度、圧力、音圧、温度、湿度、乾き度、電圧、電流などの物理量の信号である。そのため、第1実信号 x および第2実信号 y は、実数のみで表される実信号である。また、第1実信号 x および第2実信号 y は、同数の標本数（サンプル数） N （ N は正の整数）を含む離散信号でもある。第1実信号 x および第2実信号 y は、物理量の信号を、例えば所定のサンプリング周波数で標本数 N をそれぞれサンプリング（標本化）して生成することができる。第1実信号 x および第2実信号 y の各々は、例えば、一つのサンプリングに対応する離散値について一つのデータ単位（所定数のバイト）が割り当てられた、複数のデータ単位で構成されるデータの集合体としてメモリに記憶される。

[0019] 合成部110は、第1実信号 x および第2実信号 y に対し、第1実信号 x を実部とし、第2実信号 y を虚部とする合成複素信号 w に合成するように、構成されている。合成部110は、合成複素信号 w をフーリエ変換部120に出力する。例えば、合成部110は、メモリに格納された第1実信号 x と第2実信号 y とを読み出し、合成演算を実施して合成複素信号 w としてメモリに書き込む。合成複素信号 w は、例えば、離散値毎に一つのデータ単位が割り当てられた、複数のデータ単位で構成されるデータの集合体としてメモリに記憶される。

[0020] フーリエ変換部120は、合成部110から入力された合成複素信号 w をフーリエ変換するように、構成されている。好ましくは、フーリエ変換部120は、合成複素信号 w を高速フーリエ変換するように、構成されている。フーリエ変換部120は、フーリエ変換または高速フーリエ変換したスペクトル W を、分離部130に出力する。例えば、フーリエ変換部120は、メモリに格納された合成複素信号 w を読み出して高速フーリエ演算を実行し、演算結果をスペクトル W としてメモリに書き込む。

[0021] 分離部130は、スペクトル W を、第1実信号 x をフーリエ変換した第1スペクトル X と、第2実信号 y をフーリエ変換した第2スペクトル Y とに分離するように、構成されている。分離部130は、分離した第1スペクトル

Xおよび第2スペクトルYを、例えば演算装置100の外部に出力する。例えば、分離部130は、メモリに格納されたスペクトルWを読み出して分離演算を実行し、第1スペクトルXと第2スペクトルYとに分けてメモリに書き込む。またメモリに書き込んだ第1スペクトルXおよび第2スペクトルYをインターフェース回路を介して外部に出力する。

[0022] 一般に、フーリエ変換は、フーリエ変換の対象となる関数 $x(t)$ と、フーリエ変換されたスペクトル関数 $X(\omega)$ とを用いて、例えば以下の式(1)のように表される。

[0023] [数1]

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad \dots (1)$$

ここで、 t は時間であり、 ω は角周波数である。

[0024] 式(1)では、独立変数が時間 t の関数 $x(t)$ を独立変数が角周波数 ω のスペクトル関数 $X(\omega)$ に変換する例を示したが、これに限定されない。フーリエ変換は、例えば、独立変数が位置の関数を、独立変数が空間周波数のスペクトル関数に変換する場合にも適用することが可能である。但し、説明の簡略化のため、以下において、独立変数が時間 t の関数を、独立変数が周波数 f の関数に変換する場合について説明する。

[0025] 式(1)において、フーリエ変換の対象である関数 $x(t)$ が実数関数である場合、その離散信号である第1実信号 x および第2実信号 y も実数である。一方、フーリエ変換されたスペクトル関数 $X(\omega)$ は、周波数における振幅および位相を有するので、複素数で表される複素数関数になり、その離散スペクトルである第1スペクトル X および第2スペクトル Y も複素数である。

[0026] 式(1)では、被積分関数である関数 $x(t)$ を、独立変数の時間 t に対して $-\infty$ から ∞ まで積分する必要があること、および、関数 $x(t)$ が連続関数である必要があることから、式(1)を用いてフーリエ変換を行うこと

は現実的ではない。

[0027] そこで、一般には、連続関数に対し、必要な情報を得るために十分に長い時間について、標本数 N の離散信号データ x_k (N 個のうちの k 番目の離散信号データを示す) ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1$) をサンプリング (標本化) した信号を用いる。このような離散信号データ x_k を用いてフーリエ変換するとき、特に離散フーリエ変換と呼ばれている。この場合、フーリエ係数 X_m (N 個のうちの m 番目のフーリエ係数を示す) ($m = 0, 1, 2, \dots, N-1$) は、以下の式 (2) のように表される。

[0028] [数2]

$$X_m = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-jm\Delta\omega k\Delta t} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j2\pi mk/N} \quad \dots (2)$$

ここで、 Δt は離散信号データ x_k のサンプリング間隔 (時間) であり、 $\Delta\omega$ はフーリエ係数の角周波数の間隔 ($= 2\pi / N\Delta t$) である。

[0029] サンプリングの際のサンプリング周波数 f_s は、離散信号データ x_k のサンプリング間隔 Δt を用いて以下の式 (3) のように表される。

$$f_s = 1 / \Delta t \quad \dots (3)$$

[0030] また、ナイキスト周波数 f_n は、標本化定理から以下の式 (4) のように表される。

$$f_n = f_s / 2 = 1 / 2\Delta t \quad \dots (4)$$

[0031] N 個のフーリエ係数 X_m は、フーリエ変換後の周波数の信号、つまり、スペクトル X における各周波数成分である。スペクトル X の各周波数成分のうち、ナイキスト周波数 f_n を超える周波数成分は、周波数空間上で折り返されることが知られている。

[0032] また、離散フーリエ変換を効率的に演算する手法の一つとして、高速フーリエ変換が知られている。高速フーリエ変換は、様々な種類が存在するが、以下において、最も一般的であり、広く用いられている、2 を基底とするアルゴリズムについて説明する。

[0033] 2を基底とするアルゴリズムでは、標本数 N として2のべき乗を用いる（ $N = 2^n$ ）（ n は正の整数）。

[0034] 高速フーリエ変換することで、離散信号の標本数 N と同数の周波数成分で構成されるスペクトルを得ることができる。

[0035] スペクトルの周波数 f の間隔 Δf は、以下の式（5）のように表される。

$$\Delta f = \Delta \omega / 2\pi = 1 / N \Delta t = f_s / N \quad \cdots (5)$$

[0036] スペクトルの m 番目の周波数成分に対応する周波数 f_m は、以下の式（6）のように表される。

$$f_m = m \Delta f = m / N \Delta t = f_s m / N \quad \cdots (6)$$

[0037] 標本数 N の半分のときの周波数 $f_{N/2}$ がナイキスト周波数 f_n であり、以下の式（7）のように表される。

$$f_n = f_{N/2} = f_s / 2 \quad \cdots (7)$$

[0038] N 個の離散信号データ x_k を高速フーリエ変換すると、スペクトル X の N 個の周波数成分 X_m が得られる。上記したように、ナイキスト周波数 f_n を超える周波数成分は、周波数空間上で折り返されるので、 N 個の周波数成分 X_m のうち、インデックス（添字） m が0から $N/2$ までが、物理的に意味を有する。

[0039] 図2は、スペクトル X の周波数成分 X_m におけるインデックス m と対応する正の周波数領域のインデックスとの関係の一例を示す表である。図2に示すように、 N 個の周波数成分 X_m のうち、インデックス $m = N/2$ がナイキスト周波数成分であり、インデックス $m = 0$ が直流（DC）成分である。また、インデックス m が1から $(N/2) - 1$ までは、正の周波数領域と呼ばれ、インデックス m が $(N/2) + 1$ から $N - 1$ までは、負の周波数領域と呼ばれている。負の周波数領域の周波数成分は、正の周波数領域の周波数成分に対応している。例えば、インデックス m が $(N/2) + 1$ の周波数成分 $X_{(N/2)+1}$ は、インデックス m が $(N/2) - 1$ の周波数成分 $X_{(N/2)-1}$ に対応し、インデックス m が $N - 1$ の周波数成分 X_{N-1} は、インデックス m が1の周波数成分 X_1 に対応している。

[0040] また、負の周波数領域であるインデックス m が $N/2$ より大きい周波数成分 X_m は、折り返された結果、対応する正の周波数領域の周波数成分 X_m に対して複素共役になっている。

[0041] すなわち、インデックス m が $N/2$ より大きい場合、スペクトル X の周波数成分 X_m は、インデックス（添字） m' （ $m' = N - m$ ）を用いて、上記した式（2）から以下の式（8）のように表される。

[0042] [数3]

$$\begin{aligned} X_m &= \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-jm\Delta\omega k\Delta t} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j(N-m')\Delta\omega k\Delta t} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-jN\Delta\omega k\Delta t} e^{jm'\Delta\omega k\Delta t} \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j2\pi k} e^{jm'\Delta\omega k\Delta t} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{jm'\Delta\omega k\Delta t} = X_{m'}^* \quad \cdots (8) \end{aligned}$$

ここで、*は複素共役を表す。

[0043] 高速フーリエ変換は、 N 個（ $= 2^n$ ）の複素数データに対し、 N 回のバタフライ演算を n ステージ繰り返し、配列の並べ替え（ビットリバーソ）を行うことで、演算することができる。

[0044] 複素数データの高速フーリエ変換の結果、得られるスペクトル X の周波数成分 X_m は、実部 a_m と虚部 b_m と用いて、以下の式（9）のように表される。

$$X_m = a_m + j b_m \quad \cdots (9)$$

[0045] 図3は、スペクトル X の周波数成分 X_m におけるインデックス m と実部および虚部との関係の一例を示す表である。図3に示すように、スペクトル X は、インデックス m が 0 から $N-1$ の N 個の周波数成分 X_m で構成されており、 $2N$ の自由度を有している。

[0046] ここで、従来の演算装置では、高速フーリエ変換する際に、バタフライと配列の並べ替えを同一のメモリ空間に対して行っており、高速フーリエ変換の入力および出力のために同じメモリ領域を使用することが多かった。このため、従来の演算装置は、高速フーリエ変換の入力を、出力と同様に、 $2N$ の自由度を有する複素数として扱っていた。

[0047] しかしながら、高速フーリエ変換の入力が実信号である場合、複素数の実

部しか使用していないので、高速フーリエ変換の入力は、実際には N の自由度である。また、上記したように、スペクトル X の負の周波数領域は、正の周波数領域と複素共役になっているので、高速フーリエ変換の出力も、実際には N の自由度である。このように、従来の演算装置は、自由度 $2N$ の入力および出力に対し、その半分しか使用していなかった。さらに、従来の演算装置は、2つの実信号の入力に対し、それぞれ高速フーリエ変換し、出力として2つのスペクトルを得ていた。

[0048] これに対し、本願発明者は、2つの実信号を複素数の実部と虚部に配置してフーリエ変換を行うことで複素数のスペクトルを得て、このスペクトルの実部と虚部から2つの実信号のそれぞれのスペクトルを得ることに想到した。

[0049] 一例として、第1実信号 x が N 個の実数離散信号データ x_k ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1$) を含み、第2実信号 y が N 個の実数離散信号データ y_k ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1$) を含む場合を考える。第1実信号 x および第2実信号 y は、実部のみを有するから、その自由度は N である。

[0050] 第1実信号 x を高速フーリエ変換して得られる第1スペクトル X は、周波数成分 X_m ($m = 0, 1, 2, \dots, N-1$) を、上記した式 (9) で表すことができる。

[0051] 一方、第2実信号 y を高速フーリエ変換して得られる第2スペクトル Y は、周波数成分 Y_m ($m = 0, 1, 2, \dots, N-1$) が、実部 c_m と虚部 d_m とを用いて以下の式 (10) のように表される。

$$Y_m = c_m + j d_m \quad \dots (10)$$

[0052] ここで、第1スペクトル X の直流成分である周波数成分 X_0 は、例えば上記した式 (2) から、以下の式 (11) のように表される。

[0053] [数4]

$$X_0 = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j0} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k \quad \dots (11)$$

[0054] 実数離散信号データ x_k は実数なので、式 (11) から明らかなように、周波数成分 X_0 は実数であり、虚部を有さない。

[0055] また、第1スペクトル X のナイキスト周波数成分である周波数成分 $X_{N/2}$ は、上記した式 (2) から以下の式 (12) のように表される。

[0056] [数5]

$$X_{\frac{N}{2}} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j2\pi \frac{k}{2}} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-jk\pi} \quad \cdots (12)$$

ここで、

[数6]

$$e^{-jk\pi} = \begin{cases} 1 & (k \text{ が偶数の場合}) \\ -1 & (k \text{ が奇数の場合}) \end{cases} \quad \cdots (13)$$

[0057] よって、周波数成分 $X_{N/2}$ も実数であり、虚部を有さない。

[0058] さらに、上記したように、第1スペクトル X の負の周波数領域における周波数成分は、対応する正の周波数領域の周波数成分の複素共役になっている。

[0059] 第1スペクトル X において、直流成分およびナイキスト周波数成分が実数である点、ならびに、負の周波数領域における周波数成分が対応する正の周波数領域の周波数成分の複素共役である点は、第2スペクトル Y においても同様である。

[0060] 図4は第1実施形態に従う第1スペクトル X の周波数成分 X_m におけるインデックス m と実部および虚部との関係の一例を示す表であり、図5は第1実施形態に従う第2スペクトル Y の周波数成分 Y_m におけるインデックス m と実部および虚部との関係の一例を示す表である。図4に示すように、第1スペクトル X の周波数成分 X_m において、独立した値は、実部が $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{N/2}$ 、虚部が $b_1, b_2, \dots, a_{N/2-1}$ の N 個である。このように、高速フーリエ変換の入力である第1実信号 x が N の自由度を有し、高速フーリエ変換の出

力である第1スペクトル X も、 N の自由度を有している。図5に示すように、第2スペクトル Y の周波数成分 Y_m において、独立した値は、実部が c_0 、 c_1 、 c_2 、 $\dots$ 、 $c_{N/2}$ 、虚部が d_1 、 d_2 、 $\dots$ 、 $d_{N/2-1}$ の N 個である。このように、高速フーリエ変換の入力である第2実信号 y が N の自由度を有し、高速フーリエ変換の出力である第2スペクトル Y も、 N の自由度を有している。

[0061] ここで、実数である第2実信号 y を複素数信号の虚部に配置して高速フーリエ変換する場合を考えると、そのようなスペクトル jY の周波数成分 jY_m は、上記した式(2)および式(10)から、以下の式(14)のように表される。

[0062] [数7]

$$jY_m = \sum_{k=0}^{N-1} jy_k e^{-jm\Delta\omega k\Delta t} = j(c_m + jd_m) = -d_m + jc_m \quad \dots (14)$$

[0063] 図6は、スペクトル jY の周波数成分 jY_m におけるインデックス m と実部および虚部との関係の一例を示す表である。図6に示すように、スペクトル jY の周波数成分 jY_m は、各インデックス m において、図5に示す実部が、虚部になり、図5に示す虚部が、符号が反転して実部になっている。

[0064] 本実施形態の演算装置100では、合成部110が、第1実信号 x および第2実信号 y に対し、第1実信号 x を実部とし、第2実信号 y を虚部とする合成複素信号 w に合成する。合成複素信号 w は、 N 個の実数離散信号データ w_k ($k=0, 1, 2, \dots, N-1$) を含んでいる。

[0065] 図7は、第1実施形態に従う合成複素信号 w におけるインデックス k と実部および虚部との関係の一例を示す表である。図7に示すように、合成複素信号 w は、各インデックス k において、第1実信号 x の実数離散信号データ x_k が実部に配置され、第2実信号 y の実数離散信号データ y_k が虚部に配置されている。このように、合成部110が、第1実信号 x および第2実信号 y に対し、第1実信号 x を実部とし、第2実信号 y を虚部とする合成複素信号 w に合成することにより、それぞれ自由度 N を有する第1実信号 x および第2実信号 y が、自由度 $2N$ の合成複素信号 w に合成される。

[0066] 本実施形態の演算装置 100 では、フーリエ変換部 120 が、この合成複素信号 w をフーリエ変換する。好ましくは、フーリエ変換部 120 は、合成複素信号 w を高速フーリエ変換する。

[0067] フーリエ変換部 120 の出力であるスペクトル W は、上記した式 (2)、式 (9)、および式 (14) から、周波数成分 W_m ($m=0, 1, 2, \dots, N-1$) が、以下の式 (15) のように表される。

[0068] [数8]

$$W_m = \sum_{k=0}^{N-1} (x_k + jy_k) e^{-jm\Delta\omega k\Delta t} = X_m + jY_m = (a_m - d_m) + j(c_m + b_m) \quad \cdots (15)$$

[0069] 本実施形態の演算装置 100 では、分離部 130 が、このスペクトル W を、第 1 実信号 x をフーリエ変換した第 1 スペクトル X と、第 2 実信号 y をフーリエ変換した第 2 スペクトル Y とに分離する。これにより、合成複素信号 w を 1 回フーリエ変換したスペクトル W から、第 1 スペクトル X と第 2 スペクトル Y の両方を得ることが可能になる。

[0070] 図 8 は、第 1 実施形態に従うスペクトル W の周波数成分 W_m におけるインデックス m と実部および虚部との関係の一例を示す表である。図 8 に示すように、第 1 スペクトル X の直流成分である実部 a_0 は、スペクトル W の直流成分の実部から得られる。また、第 2 スペクトル Y の直流成分である実部 c_0 は、スペクトル W の直流成分の虚部から得られる。同様に、第 1 スペクトル X のナイキスト周波数成分である実部 $a_{N/2}$ は、スペクトル W のナイキスト周波数成分の実部から得られ、第 2 スペクトル Y のナイキスト周波数成分である実部 $c_{N/2}$ は、スペクトル W のナイキスト周波数成分の虚部から得られる。

[0071] また、正の周波数領域において、 p 番目 (p は 1 以上 $N/2$ 未満の整数) の周波数成分は、実部が $a_p - d_p$ であり、この周波数成分に対応する負の周波数領域における周波数成分は、実部が $a_p + d_p$ である。よって、分離部 130 は、スペクトル W の正の周波数領域における実部 $a_p - d_p$ と、スペクトル W の負の周波数領域における実部が $a_p + d_p$ とに基づいて、第 1 スペクトル X の p

番目の周波数成分の実部 a_p と、第2スペクトルYのp番目の周波数成分の虚部 d_p とに分離することが可能である。具体的には、例えば、正の周波数領域における実部 $a_p - d_p$ と負の周波数領域における実部が $a_p + d_p$ とを加算して2で除する（割る）ことで、第1スペクトルXのp番目の周波数成分の実部 a_p を得ることができる。また、例えば、正の周波数領域における実部 $a_p - d_p$ と負の周波数領域における実部が $a_p + d_p$ とを減算して2で除する（割る）ことで、第2スペクトルYのp番目の周波数成分の虚部 d_p を得ることができる。

[0072] さらに、正の周波数領域におけるp番目の周波数成分は、虚部が $c_p + b_p$ であり、この周波数成分に対応する負の周波数領域における周波数成分は、虚部が $c_p - d_p$ である。よって、分離部130は、スペクトルWの正の周波数領域における虚部 $c_p + b_p$ と、スペクトルWの負の周波数領域における虚部 $c_p - d_p$ とに基づいて、第1スペクトルXのp番目の周波数成分の虚部 b_p と、第2スペクトルYのp番目の周波数成分の実部 c_p とに分離することが可能である。具体的には、例えば、正の周波数領域における虚部 $c_p + b_p$ と負の周波数領域における虚部 $c_p - d_p$ とを減算して2で除する（割る）ことで、第1スペクトルXのp番目の周波数成分の虚部 b_p を得ることができる。また、例えば、正の周波数領域における虚部 $c_p + b_p$ と負の周波数領域における虚部 $c_p - d_p$ とを加算して2で除する（割る）ことで、第2スペクトルYのp番目の周波数成分の実部 c_p を得ることができる。このように、分離部130は、加減算によってスペクトルWから第1スペクトルXおよび第2スペクトルYを分離することが可能になる。

[0073] 以上の説明では、分離部130が、 a_p 、 b_p 、 c_p 、 d_p を求める際にすべての因子に対して2で除して（割って）いる例を示したが、これに限定されず、2で割ることを省略できる場合がある。例えば後述の第1実施例の場合、対数化部により乗算が加算に変換されるため、対数化後に減算することで対応することができる。また、例えば後述の第2実施例の場合、フーリエ変換により得られたスペクトルの各周波数成分がすべて2倍となっても相関

演算のピーク位置には影響しないため、2で割ることを省略できる。

[0074] なお、スペクトルWを第1スペクトルXと第2スペクトルYとに分離するときに、加減算を行うが、桁落ち又は情報落ちによる計算誤算が生じないように、第1スペクトルXと第2スペクトルYの各周波数成分が似通った値となるような第1実信号xと第2実信号yとが与えられることが好ましい。第1スペクトルXおよび第2スペクトルYの一方の周波数成分が他方の周波数成分と比較して桁違いに大きい値である場合、他方の周波数成分が加減算の際に有効桁数が小さくなるおそれがあるからである。

[0075] 一般に、演算量（計算量）は乗算の回数（数）に比例すると考えられる。本実施形態の合成部110は、2つの第1実信号xおよび第2実信号yを合成複素信号wの実部と虚部とに代入して合成するだけなので、乗算は含まない。よって、合成部110は、演算量がないものとみなすことができる。

[0076] また、上記したように、本実施形態の分離部130は、加減算によってスペクトルWから第1スペクトルXおよび第2スペクトルYを分離することが可能である。加減算後に2で除する（割る）場合、シフト演算または指数部のデクリメントで行うことができるため、演算量に含まれない。よって、分離部130も、演算量がないものとみなすことができる。

[0077] 本実施形態のフーリエ変換部120は、例えば離散フーリエ変換を行う場合、上記した式(2)を用いて計算する。式(2)では、離散信号データ x_k が実数である場合、各周波数成分に対して $2N$ 回の乗算を行うことになる。よって、離散フーリエ変換を行う場合、フーリエ変換部120は $2N^2$ 回の乗算を行っている。

[0078] 一方、フーリエ変換部120が高速フーリエ変換を行う場合、 $2N$ 回の乗算を n ステージ行っている。高速フーリエ変換は、配列の並べ替え（ビットリバース）を行っているが、配列の並べ替えは乗算を含まない。よって、高速フーリエ変換を行う場合、フーリエ変換部120は $2Nn$ （ $=2N \log_2 N$ ）回の乗算を行っている。

[0079] 高速フーリエ変換の演算量は、離散フーリエ変換の演算量と比較すると、

$(2N \log_2 N) / 2N^2 = \log_2 N / N$ 倍である。例えば、実数離散信号データ x_k および実数離散信号データ y_k の標本数 N が $1024 (= 2^{10})$ である場合、高速フーリエ変換の演算量は、離散フーリエ変換の演算量のおよそ $1/100$ になる。このように、フーリエ変換部 120 が高速フーリエ変換することにより、フーリエ変換の演算量を大幅に低減することが可能になる。

[0080] 次に、本実施形態の演算装置 100 を適用した実施例について説明する。

[0081] (第1実施例)

図9は、第1実施形態に従う演算装置 100 を備えるスペクトラムアナライザ 150 の構成の一例を示すブロック図である。図9に示すように、スペクトラムアナライザ 150 は、例えば、上記した演算装置 100 と、対数化部 151 と、対数化部 152 と、を備える。対数化部 151 および 152 は、具体的なハードウェアとしては、CPU や演算プロセッサ等の演算手段、演算手段がアクセス可能でデータの書き込みおよび読み出しが可能なメモリ、外部からデータの授受可能に構成されたインターフェース回路等を備える。演算手段が、所定のソフトウェアプログラムを実行することにより、対数化部 151 および 152 が機能的に実現される。

[0082] 演算装置 100 の合成部 110 には、第1実信号 x として L チャンネルの音声離散信号と、第2実信号 y として R チャンネルの音声離散信号とが入力される。

[0083] 演算装置 100 の分離部 130 は、分離した第1スペクトル X を対数化部 151 に出力するとともに、分離した第2スペクトル Y を対数化部 152 に出力する。

[0084] 対数化部 151 および対数化部 152 は、入力値の対数を算出するように、構成されている。対数化部 151 は、入力された第1スペクトル X に対して対数を計算し、対数化された第1スペクトル X を外部に出力する。同様に、対数化部 152 は、入力された第2スペクトル Y に対して対数を計算し、対数化された第2スペクトル Y を外部に出力する。対数化された第1スペク

トルXは、例えば、Lチャネルの音声における周波数毎の音圧レベルとして使用し、対数化された第2スペクトルYは、例えば、Rチャネルの音声における周波数毎の音圧レベルとして使用することが可能である。例えば、対数化部151は、メモリに格納された第1スペクトルXを読み出して対数演算を実行し、対数化された第1スペクトルXをメモリに格納するとともに、インターフェース回路を介して第1スペクトルXを出力する。対数化部152は、メモリに格納された第2スペクトルYを読み出して対数演算を実行し、対数化された第2スペクトルYをメモリに格納するとともに、インターフェース回路を介して第2スペクトルYを出力する。

[0085] (第2実施例)

図10は、第1実施形態に従う演算装置100を備える相関演算装置160の構成の一例を示すブロック図である。図10に示すように、相関演算装置160は、例えば、上記した演算装置100と、複素共役導出部161と、乗算器162と、逆フーリエ変換部163と、を備える。複素共役導出部161、乗算器162、および逆フーリエ変換部163は、具体的なハードウェアとしては、CPUや演算プロセッサ等の演算手段、演算手段がアクセス可能でデータの書き込みおよび読出しが可能なメモリ、外部からデータの授受可能に構成されたインターフェース回路等を備える。演算手段が、所定のソフトウェアプログラムを実行することにより、複素共役導出部161、乗算器162、および逆フーリエ変換部163が機能的に実現される。

[0086] 演算装置100の分離部130は、分離した第1スペクトルXを複素共役導出部161に出力するとともに、分離した第2スペクトルYを乗算器162に出力する。

[0087] 複素共役導出部161は、入力値の複素共役を導出するように、構成されている。複素共役導出部161は、入力された第1スペクトルXから複素共役を導き出し、この第1スペクトルXの複素共役を乗算器162に出力する。例えば、複素共役導出部161は、メモリに格納された第1スペクトルXから複素共役に係るデータを読み出してメモリの別領域に書き込む。

- [0088] 乗算器 162 は、複数の入力値を乗算するように、構成されている。乗算器 162 は、複素共役導出部 161 からの第 1 スペクトル X の複素共役と、分離部 130 からの第 2 スペクトル Y とを乗算し、算出した値を逆フーリエ変換部 163 に出力する。例えば、乗算器 162 は、メモリに格納された第 1 スペクトル X の複素共役と、演算装置 100 から書き込まれた第 2 スペクトル Y とを読み出し、乗算演算を実行し、演算結果をメモリに書き込む。
- [0089] 逆フーリエ変換部 163 は、入力値を逆フーリエ変換するように、構成されている。逆フーリエ変換部 163 は、乗算器からの値を逆フーリエ変換し、逆フーリエ変換後の値を、例えば外部に出力する。逆フーリエ変換部 163 の出力は、第 1 実信号 x と第 2 実信号 y との周波数領域（周波数空間）における相関として使用することが可能である。例えば、逆フーリエ変換部 163 は、メモリに格納された乗算結果を読み出し、逆フーリエ変換演算を実行し、その演算結果をメモリに格納するとともに、インターフェース回路を介して外部に出力する。
- [0090] また、演算装置 100 は、例えば二次元画像の画像処理を行う画像処理装置（図示省略）にも適用することが可能である。このような画像処理装置では、二次元のフーリエ変換を行うことがある。二次元のフーリエ変換は、二次元画像の行ごとに一次元のフーリエ変換を行い、次に、二次元画像の列ごとに一次元のフーリエ変換を行うことで、二次元のスペクトルを求めている。なお、二次元のフーリエ変換は、二次元画像の列ごとに一次元のフーリエ変換を行った後、二次元画像の行ごとに一次元のフーリエ変換を行ってもよい。
- [0091] 例えば二次元画像が 256×256 ピクセルの場合、従来の演算装置を用いた画像処理装置では、行ごとに一次元のフーリエ変換を 256 回行い、列ごとに一次元のフーリエ変換を 256 回行う必要があり、合計 512 回のフーリエ変換を行っていた。
- [0092] 一方、演算装置 100 を用いた画像処理装置では、行ごとに一次元のフーリエ変換を行う際に、2 行分のフーリエ変換を一度に行うことができるため

フーリエ変換の演算回数を128回に減らすことが可能になる。その後、列ごとに一次元のフーリエ変換を256回行うことにより、二次元のスペクトルが得られる。その結果、従来の演算装置を用いた画像処理装置と比較して、フーリエ変換の演算回数を $3/4$ ($=384/512$) に減らすことが可能になる。

[0093] このように、本実施形態の演算装置100によれば、それぞれ標本数 N (N は正の整数)を含む実数離散信号である第1実信号 x および第2実信号 y に対し、第1実信号 x を実部とし、第2実信号 y を虚部とする合成複素信号 w に合成する合成部110を備える。これにより、それぞれ自由度 N を有する第1実信号 x および第2実信号 y が、自由度 $2N$ の合成複素信号 w に合成される。したがって、自由度 N の信号をフーリエ変換していた従来の演算装置と比較して、フーリエ変換の演算効率を向上させることができる。また、本実施形態の演算装置100は、合成複素信号 w をフーリエ変換するフーリエ変換部120と、フーリエ変換部120の出力であるスペクトル W を、第1実信号 x をフーリエ変換した第1スペクトル X と、第2実信号 y をフーリエ変換した第2スペクトル Y とに分離する分離部130と、を備える。これにより、合成複素信号 w を1回フーリエ変換したスペクトル W から、第1スペクトル X と第2スペクトル Y の両方を得ることが可能になる。したがって、2つの実信号をそれぞれフーリエ変換していた従来の演算装置と比較して、フーリエ変換の演算回数(演算数)を削減することができる。

[0094] <第2実施形態>

図11乃至図14は、本発明に係る演算装置の第2実施形態を示すためのものである。なお、特に記載がない限り、上記した第1実施形態と同一構成部分は同一符号をもって表し、その説明を省略する。また、上記した第1実施形態と類似する構成部分は類似の符号をもって表し、その詳細な説明を省略する。さらに、図示しない構成部分および動作は、上記した第1実施形態と同様とする。

[0095] 図11は、第2実施形態に従う演算装置200の概略構成の一例を示すブ

ロック図である。図 11 に示すように、演算装置 200 は、例えば、合成部 210 と、逆フーリエ変換部 220 と、分離部 230 と、を備える。

[0096] 合成部 210 には、例えば演算装置 200 の外部から、第 1 スペクトル X と第 2 スペクトル Y とが入力される。第 1 スペクトル X および第 2 スペクトル Y は、逆フーリエ変換すると、それぞれ、実数であって標本数（サンプル数） N （ N は正の整数）を含む実数離散信号になるスペクトルである。つまり、第 1 スペクトル X を逆フーリエ変換した出力は、実数離散信号である第 1 実信号 x になり、第 1 スペクトル X を逆フーリエ変換した出力は、実数離散信号である第 2 実信号 y になる。

[0097] 合成部 210 は、第 1 スペクトル X および第 2 スペクトル Y を合成スペクトル Z に合成するように、構成されている。合成部 110 は、合成した合成スペクトル Z を逆フーリエ変換部 220 に出力する。

[0098] 逆フーリエ変換部 220 は、合成部 210 から入力された合成スペクトル Z を逆フーリエ変換するように、構成されている。好ましくは、逆フーリエ変換部 220 は、合成スペクトル Z を逆高速フーリエ変換するように、構成されている。逆フーリエ変換部 220 は、逆フーリエ変換または逆高速フーリエ変換した信号、すなわち、複素信号 z を、分離部 230 に出力する。

[0099] 分離部 230 は、分離部 230 の出力である複素信号 z に対し、第 1 スペクトル X を逆フーリエ変換した第 1 実信号 x と、第 2 スペクトル Y を逆フーリエ変換した第 2 実信号 y とに分離するように、構成されている。分離部 230 は、分離した第 1 実信号 x および第 2 実信号 y を、例えば演算装置 200 の外部に出力する。

[0100] 一般に、逆高速フーリエ変換は、バタフライ演算および配列の並べ替え（ビットリバース）を用い、上記した高速フーリエ変換とほぼ同様の演算によって行うことができる。

[0101] スペクトル X を逆高速フーリエ変換すると、所定のサンプリング周波数で、2 のべき乗の標本数 N （ $N = 2^n$ ）（ n は正の整数）をサンプリングした実数離散信号データ x_k （ $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ）が得られる場合、実数

離散信号データ x_k は、スペクトル X の周波数成分 X_m ($m = 0, 1, 2, \dots, N-1$) を用いて、以下の式 (16) のように表される。

[0102] [数9]

$$x_k = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X_m e^{jm\Delta\omega k\Delta t} = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X_m e^{j2\pi mk/N} \quad \dots (16)$$

[0103] 多くの場合において、式 (16) における $1/N$ は省略していることから、実数離散信号データ x_k は、以下の式 (17) のように表してもよい。

[0104] [数10]

$$x_k = \sum_{m=0}^{N-1} X_m e^{j2\pi mk/N} \quad \dots (17)$$

[0105] 式 (17) で得られる実数離散信号データ x_k を含む実信号 x は、本来の信号に比べて N 倍だけ大きな値となるが、すべての実数離散信号データ x_k が同じだけ大きくなるので、問題とならない場合が多い。

[0106] ここで、第1スペクトル X が N 個の周波数成分 X_m ($m = 0, 1, 2, \dots, N-1$) を含み、第2スペクトル Y が N 個の周波数成分 Y_m ($m = 0, 1, 2, \dots, N-1$) を含む場合を考える。

[0107] 逆高速フーリエ変換して実数離散信号データ x_k を含む第1実信号 x が得られる第1スペクトル X は、その周波数成分 X_m を、上記した式 (9) で表すことができる。

[0108] 一方、逆高速フーリエ変換して N 個の実数離散信号データ y_k ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1$) を含む第2実信号 y が得られる第2スペクトル Y は、その周波数成分 Y_m を上記した式 (10) で表すことができる。

[0109] このような第1スペクトル X および第2スペクトル Y において、直流成分およびナイキスト周波数成分が実数である点、ならびに、負の周波数領域における周波数成分が対応する正の周波数領域の周波数成分の複素共役である点は、上記した高速フーリエ変換の場合と同様である。そのため、第1スペ

クトルXおよび第2スペクトルYは、自由度Nを有する。

[0110] 本実施形態の演算装置200では、合成部210が、第1スペクトルXおよび第2スペクトルYを合成スペクトルZに合成する。具体的には、合成部210は、例えば、第2スペクトルYの周波数成分 Y_m に虚数単位を乗じた（掛けた）ものを、第1スペクトルXの周波数成分 X_m に加算し、合成スペクトルZを合成する。

[0111] この場合、合成スペクトルZは、上記した式（9）および式（10）から、その周波数成分 Z_m （ $m=0, 1, 2, \dots, N-1$ ）が、以下の式（18）のように表される。

$$Z_m = X_m + j Y_m = (a_m - d_m) + j (c_m + b_m) \quad \dots (18)$$

[0112] 図12は、第2実施形態に従う合成スペクトルZの周波数成分 Z_m におけるインデックスmと実部および虚部との関係の一例を示す表である。図12に示すように、正の周波数領域において、q番目（qは1以上N/2未満の整数）の周波数成分は、実部が $a_q - d_q$ になり、この周波数成分に対応する負の周波数領域における周波数成分は、実部が $a_q + d_q$ になる。また、正の周波数領域におけるq番目の周波数成分は、虚部が $c_q + b_q$ になり、この周波数成分に対応する負の周波数領域における周波数成分は、虚部が $c_q - d_q$ になる。このように、合成部210が、第1スペクトルXおよび第2スペクトルYを合成スペクトルXに合成することにより、それぞれ自由度Nを有する第1スペクトルXおよび第2スペクトルYが、自由度2Nの合成スペクトルZに合成される。

[0113] 本実施形態の演算装置200では、逆フーリエ変換部220が、この合成スペクトルZを逆フーリエ変換する。好ましくは、逆フーリエ変換部220は、合成スペクトルZを逆高速フーリエ変換する。

[0114] 逆フーリエ変換部220の出力である複素信号zは、上記した式（17）から、その実数離散信号データ z_k （ $k=0, 1, 2, \dots, N-1$ ）が、以下の式（19）のように表される。

[0115]

[数11]

$$\begin{aligned} z_k &= \sum_{m=0}^{N-1} Z_m e^{jm\Delta\omega k\Delta t} = \sum_{m=0}^{N-1} (X_m + jY_m) e^{jm\Delta\omega k\Delta t} \\ &= \sum_{m=0}^{N-1} X_m e^{jm\Delta\omega k\Delta t} + j \sum_{m=0}^{N-1} Y_m e^{jm\Delta\omega k\Delta t} = x_k + jy_k \quad \cdots (19) \end{aligned}$$

[0116] 本実施形態の演算装置200では、分離部230が、この複素信号 z に対し、第1スペクトル X を逆フーリエ変換した第1実信号 x と、第2スペクトル Y を逆フーリエ変換した第2実信号 y とに分離する。

[0117] 図13は、第2実施形態に従う複素信号 z におけるインデックス k と実部および虚部との関係の一例を示す表である。図13に示すように、複素信号 z は、各インデックス k において、第1実信号 x の実数離散信号データ x_k が実部に配置され、第2実信号 y の実数離散信号データ y_k が虚部に配置される。よって、分離部230が、複素信号 z の実部から第1スペクトル X を逆フーリエ変換した第1実信号 x を分離し、複素信号 z の虚部から第2スペクトル Y を逆フーリエ変換した第2実信号 y を分離することにより、合成スペクトル Z を1回逆フーリエ変換した複素信号 z から、第1実信号 x と第2実信号 y の両方を得ることが可能になる。

[0118] 次に、第1実施形態の演算装置100および本実施形態の演算装置200を適用した実施例について説明する。

[0119] (第4実施例)

図14は、第1実施形態に従う演算装置100と第2実施形態に従う演算装置200とを備えるヒルベルト相関演算装置250の構成の一例を示すブロック図である。図14に示すように、ヒルベルト相関演算装置250は、例えば、第1実施形態の演算装置100と、複素共役導出部251と、乗算器252と、ヒルベルト変換部253と、上記した演算装置200と、位相関係導出部254と、直線近似部255と、を備える。

[0120] なお、ヒルベルト相関演算装置250の演算装置100、複素共役導出部

251、および乗算器252は、図10に示す相関演算装置160の演算装置100、複素共役導出部161、および乗算器162と同様であるため、説明を省略する。

[0121] ヒルベルト変換部253は、入力値をヒルベルト変換するように、構成されている。ヒルベルト変換部253は、乗算器252からの値を周波数領域でヒルベルト変換し、ヒルベルト変換後の値を演算装置200の合成部210に出力する。

[0122] 演算装置200の合成部210には、第1スペクトルXとして乗算器252からの値と、第2スペクトルYとしてヒルベルト変換部253からの値とが入力される。

[0123] 演算装置200の分離部230は、分離した第1実信号xおよび第2実信号yを、位相関係導出部254に出力する。

[0124] 位相関係導出部254は、複数の入力値の位相関係を導出するように、構成されている。位相関係導出部254は、演算装置200の分離部230から出力された第1実信号xおよび第2実信号yの位相関係を導出し、導出した位相関係を直線近似部255に出力する。

[0125] 直線近似部255は、位相関係導出部254の出力である位相関係を直線近似によって補間するように、構成されている。直線近似部255は、補完した位相関係を例えば外部に出力する。直線近似部255の出力値は、例えば位相関係が0になる点を相関のピーク位置として使用することが可能である。

[0126] このように、本実施形態の演算装置200によれば、逆フーリエ変換するとそれぞれ標本数N（Nは正の整数）を含む実数離散信号になる第1スペクトルXおよび第2スペクトルYを、合成スペクトルZに合成する合成部210を備える。これにより、それぞれ自由度Nを有する第1スペクトルXおよび第2スペクトルYが、自由度2Nの合成スペクトルZに合成される。したがって、自由度Nのスペクトルを逆フーリエ変換していた従来の演算装置と比較して、逆フーリエ変換の演算効率を向上させることができる。また、合

成スペクトル Z を逆フーリエ変換する逆フーリエ変換部220と、逆フーリエ変換部220の出力である複素信号 z に対し、複素信号 z の実部から第1スペクトル X を逆フーリエ変換した第1実信号 x を分離し、複素信号 z の虚部から第2スペクトル Y を逆フーリエ変換した第2実信号 y を分離する分離部230と、を備える。これにより、合成スペクトル Z を1回逆フーリエ変換した複素信号 z から、第1実信号 x と第2実信号 y の両方を得ることが可能になる。したがって、2つのスペクトルをそれぞれ逆フーリエ変換していた従来の演算装置と比較して、逆フーリエ変換の演算回数（演算数）を削減することができる。

[0127] なお、本発明は、上記の各実施形態に限定されることなく種々に変形して適用することが可能である。

[0128] また、上記発明の各実施形態を通じて説明された実施例や応用例は、用途に応じて適宜に組み合わせて、または変更もしくは改良を加えて用いることができ、本発明は上記した実施形態の記載に限定されるものではない。そのような組み合わせまたは変更もしくは改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。

符号の説明

- [0129] 1…流量計
100、200…演算装置
110、210…合成部
120…フーリエ変換部
130、230…分離部
220…逆フーリエ変換部
 w …合成複素信号
 x …第1実信号
 y …第2実信号
 z …複素信号
 W …スペクトル

X…第1スペクトル

Y…第2スペクトル

Z…合成スペクトル

請求の範囲

- [請求項1] それぞれ標本数 N (N は正の整数) を含む実数離散信号である第1の実信号および第2の実信号に対し、前記第1の実信号を実部とし、前記第2の実信号を虚部とする合成複素信号に合成する合成部と、
前記合成複素信号をフーリエ変換するフーリエ変換部と、
前記フーリエ変換部の出力であるスペクトルを、前記第1の実信号をフーリエ変換した第1のスペクトルと、前記第2の実信号をフーリエ変換した第2のスペクトルとに分離する分離部と、を備える、
演算装置。
- [請求項2] 前記第1の実信号および第2の実信号は、所定のサンプリング周波数で2のべき乗の標本数 N をそれぞれサンプリングしたものであり、
前記分離部は、
前記スペクトルの正の周波数領域における実部と前記スペクトルの負の周波数領域における実部とに基づいて、前記第1のスペクトルの実部と、前記第2のスペクトルの虚部とに分離し、
前記スペクトルの正の周波数領域における虚部と前記スペクトルの負の周波数領域における虚部とに基づいて、前記第1のスペクトルの虚部と、前記第2のスペクトルの実部とに分離する、
請求項1に記載の演算装置。
- [請求項3] 前記フーリエ変換部は、前記合成複素信号を高速フーリエ変換する、
請求項1または2に記載の演算装置。
- [請求項4] 逆フーリエ変換するとそれぞれ標本数 N (N は正の整数) を含む実数離散信号になる第1のスペクトルおよび第2のスペクトルを、合成スペクトルに合成する合成部と、
前記合成スペクトルを逆フーリエ変換する逆フーリエ変換部と、
前記逆フーリエ変換部の出力である複素信号に対し、前記複素信号の実部から前記第1のスペクトルを逆フーリエ変換した第1の実信号

を分離し、前記複素信号の虚部から前記第2のスペクトルを逆フーリエ変換した第2の実信号を分離する分離部と、を備える、

演算装置。

[請求項5] 前記第1の実信号および第2の実信号は、所定のサンプリング周波数で2のべき乗の標本数Nをそれぞれサンプリングしたものであり、前記合成部は、

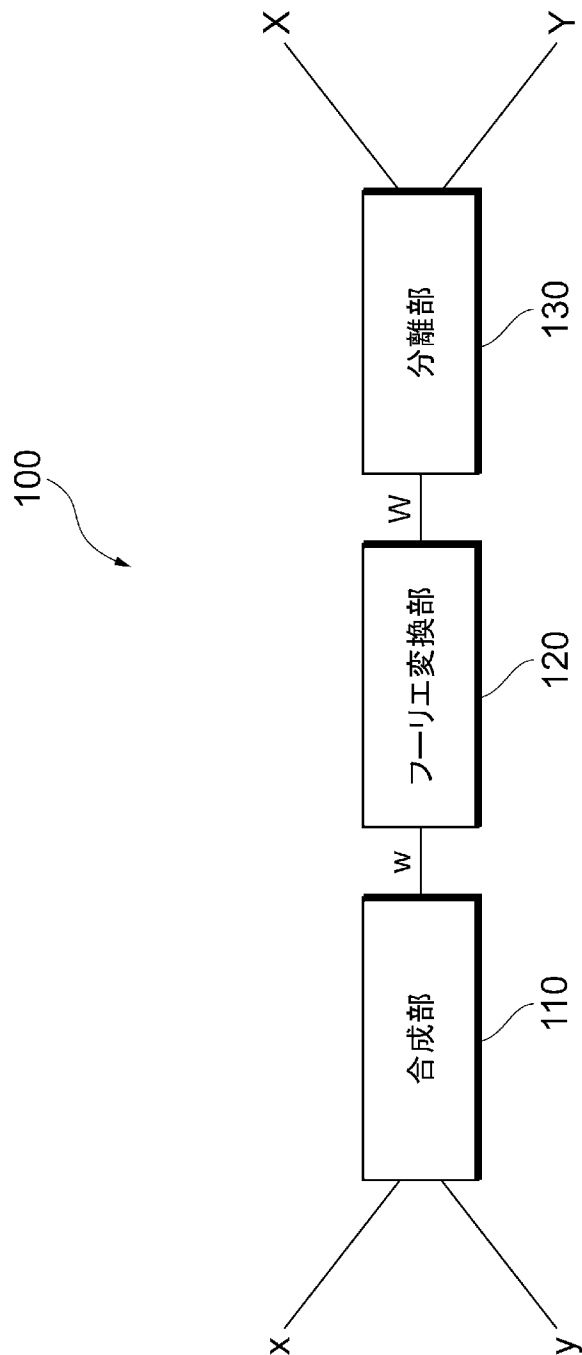
前記第2のスペクトルの周波数成分に虚数単位を乗じたものを、前記第1のスペクトルの周波数成分に加算し、前記合成スペクトルを合成する、

請求項4に記載の演算装置。

[請求項6] 前記逆フーリエ変換部は、前記合成スペクトルを逆高速フーリエ変換する、

請求項4または5に記載の演算装置。

[図1]



[図2]

インデックス _m	対応する正の周波数領域のインデックス
0	—
1	—
⋮	—
(N/2)-1	—
N/2	—
(N/2)+1	(N/2)-1
⋮	⋮
N-1	1

直流(DC)

正の周波数領域

ナイキスト周波数

負の周波数領域

[図3]

インデックスm	実部	虚部
0	a_0	b_0
1	a_1	b_1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$(N/2)-1$	$a_{(N/2)-1}$	$b_{(N/2)-1}$
$N/2$	$a_{N/2}$	$b_{N/2}$
$(N/2)+1$	$a_{(N/2)+1}$	$b_{(N/2)+1}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$N-1$	a_{N-1}	b_{N-1}

[図4]

インデックスm	実部	虚部
0	a_0	0
1	a_1	b_1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$(N/2)-1$	$a_{(N/2)-1}$	$b_{(N/2)-1}$
$N/2$	$a_{N/2}$	0
$(N/2)+1$	$a_{(N/2)-1}$	$-b_{(N/2)-1}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$N-1$	a_1	$-b_1$

[図5]

インデックスm	実部	虚部
0	c_0	0
1	c_1	d_1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$(N/2)-1$	$c_{(N/2)-1}$	$d_{(N/2)-1}$
$N/2$	$c_{N/2}$	0
$(N/2)+1$	$c_{(N/2)-1}$	$-d_{(N/2)-1}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$N-1$	c_1	$-d_1$

[図6]

インデックスm	実部	虚部
0	0	c_0
1	$-d_1$	c_1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$(N/2)-1$	$-d_{(N/2)-1}$	$c_{(N/2)-1}$
$N/2$	0	$c_{N/2}$
$(N/2)+1$	$d_{(N/2)-1}$	$c_{(N/2)-1}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$N-1$	d_1	c_1

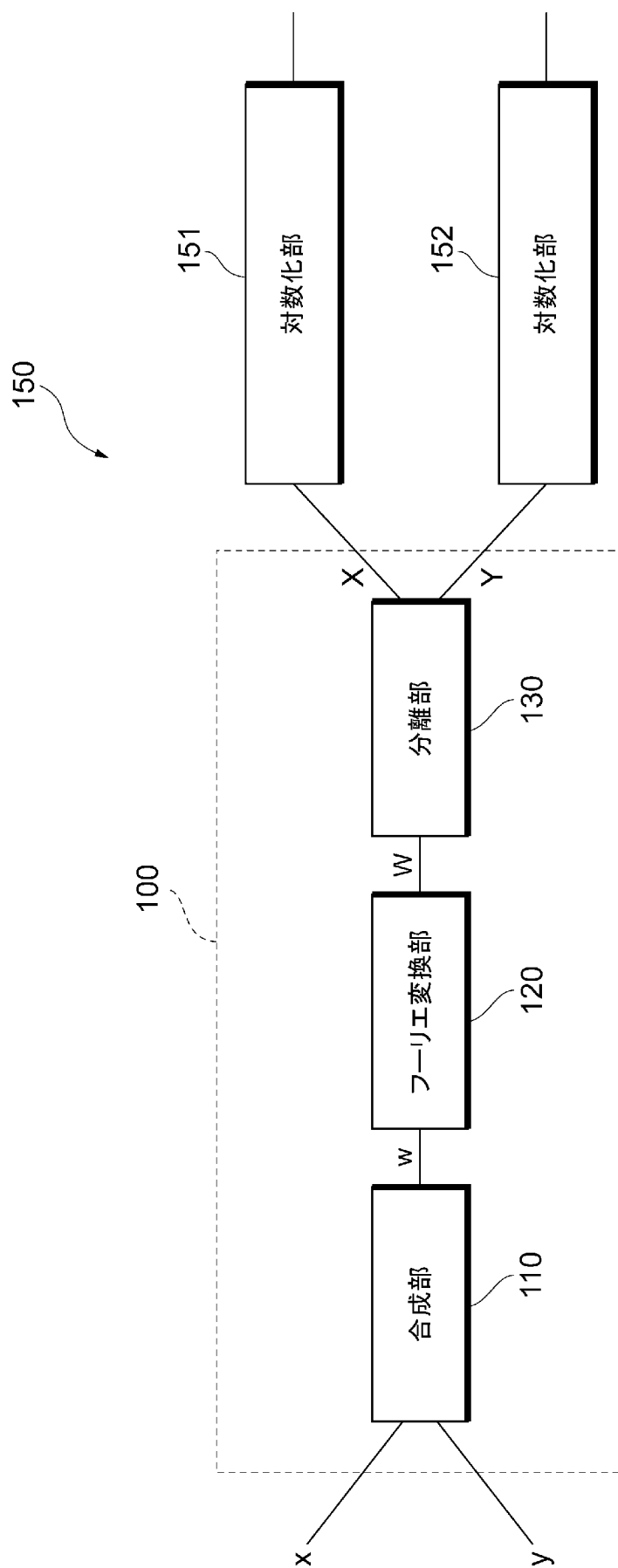
[図7]

インデックスk	実部	虚部
0	x_0	y_0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$N-1$	x_{N-1}	y_{N-1}

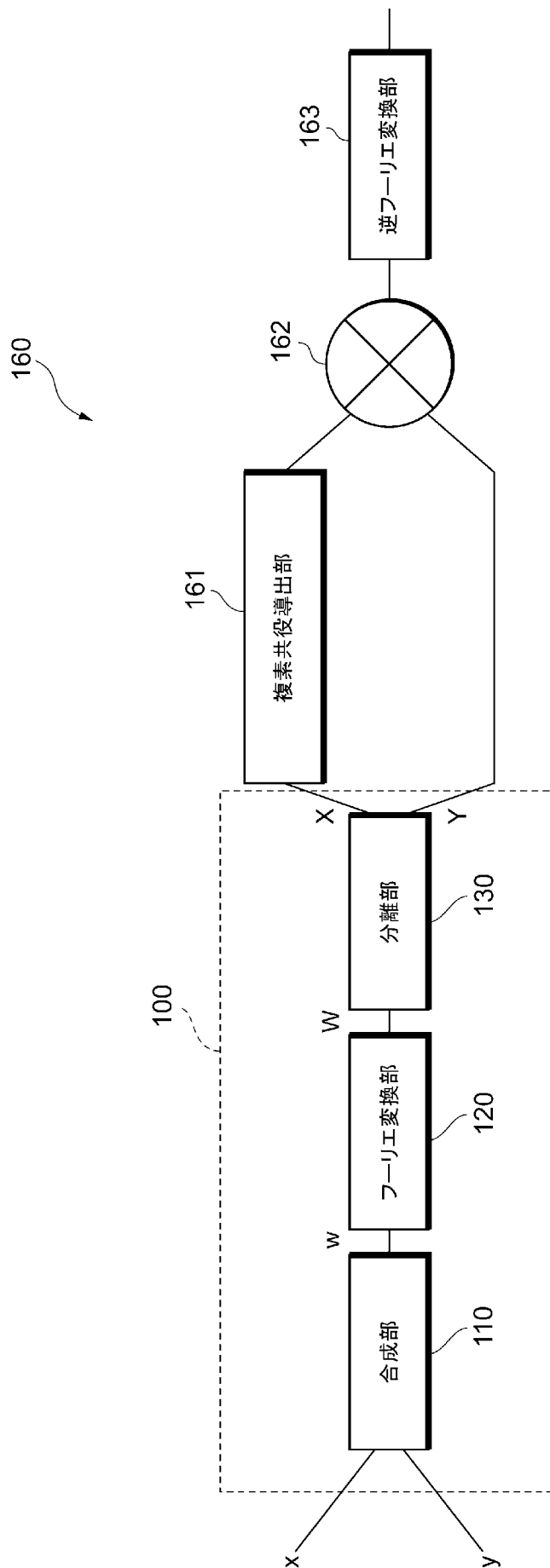
[図8]

インデックスm	実部	虚部
0	a_0	c_0
1	$a_1 - d_1$	$c_1 + b_1$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
p	$a_p - d_p$	$c_p + b_p$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$(N/2)-1$	$a_{(N/2)-1} - d_{(N/2)-1}$	$c_{(N/2)-1} + b_{(N/2)-1}$
$N/2$	$a_{N/2}$	$c_{N/2}$
$(N/2)+1$	$a_{(N/2)+1} + d_{(N/2)+1}$	$c_{(N/2)+1} - b_{(N/2)+1}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$N-p$	$a_p + d_p$	$c_p - b_p$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$N-1$	$a_1 + d_1$	$c_1 - b_1$

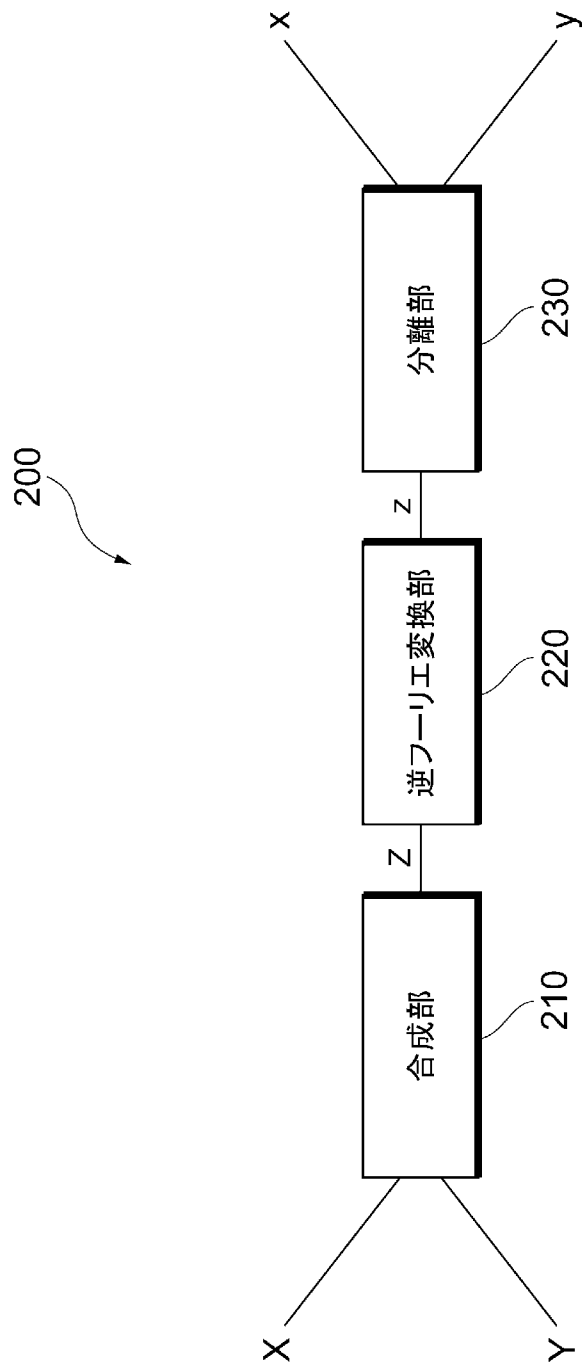
[図9]



[図10]



[図11]



[図12]

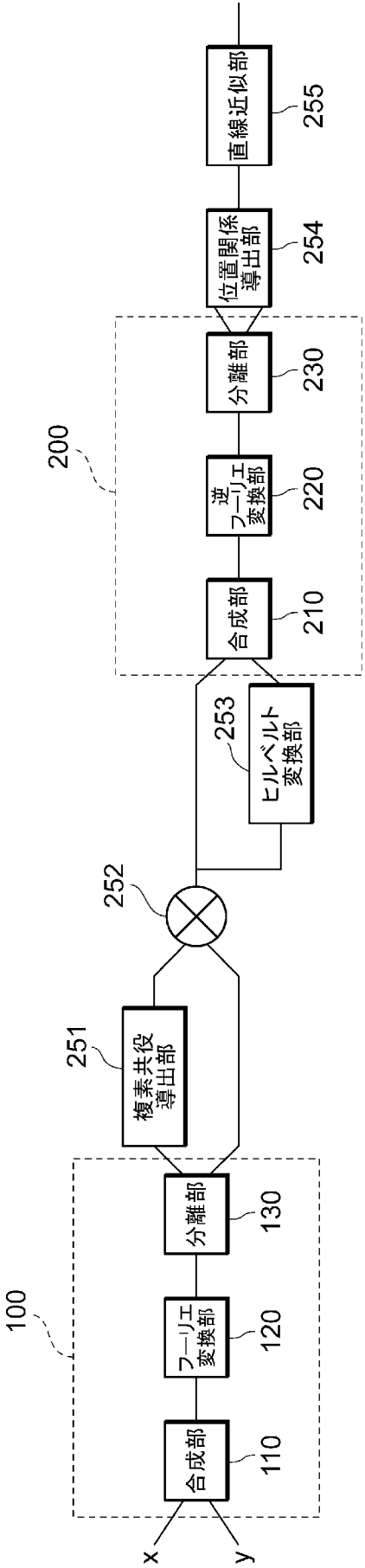
インデックスm	実部	虚部
0	a_0	c_0
1	$a_1 - d_1$	$c_1 + b_1$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
q	$a_q - d_q$	$c_q + b_q$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$(N/2)-1$	$a_{(N/2)-1} - d_{(N/2)-1}$	$c_{(N/2)-1} + b_{(N/2)-1}$
N/2	$a_{N/2}$	$c_{N/2}$
$(N/2)+1$	$a_{(N/2)+1} + d_{(N/2)+1}$	$c_{(N/2)+1} - b_{(N/2)+1}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
N-q	$a_q + d_q$	$c_q - b_q$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
N-1	$a_1 + d_1$	$c_1 - b_1$

[図13]

インデックスk	実部	虚部
0	x_0	y_0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
N-1	x_{N-1}	y_{N-1}

[図14]

250



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/063416

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F17/14(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)

G06F17/14

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
X A	JP 5-268700 A (Hitachi, Ltd.), 15 October 1993 (15.10.1993), paragraphs [0016] to [0024], [0028] to [0031] (Family: none)	1, 3-6 2

☐ 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 June 2016 (28.06.16)

Date of mailing of the international search report
12 July 2016 (12.07.16)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06F17/14(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. G06F17/14

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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
X A	JP 5-268700 A（株式会社日立製作所）1993.10.15, 【0016】～【0024】、【0028】～【0031】 （ファミリーなし）	1, 3-6 2

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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

28.06.2016

国際調査報告の発送日

12.07.2016

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）

田中 幸雄

5B

9191

電話番号 03-3581-1101 内線 3545