

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-33318

(P2010-33318A)

(43) 公開日 平成22年2月12日(2010.2.12)

(51) Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

G 0 6 F 7/552 (2006.01)

G 0 6 F 7/552 A

G 1 0 L 19/00 (2006.01)

G 1 0 L 19/00 2 5 0

審査請求 有 請求項の数 15 O L (全 57 頁)

(21) 出願番号 特願2008-194690 (P2008-194690)
 (22) 出願日 平成20年7月29日 (2008.7.29)

(71) 出願人 000002185
 ソニー株式会社
 東京都港区港南1丁目7番1号
 (74) 代理人 100082131
 弁理士 稲本 義雄
 (74) 代理人 100121131
 弁理士 西川 孝
 (72) 発明者 茂木 幸彦
 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株
 式会社内

(54) 【発明の名称】 演算処理装置および方法、並びにプログラム

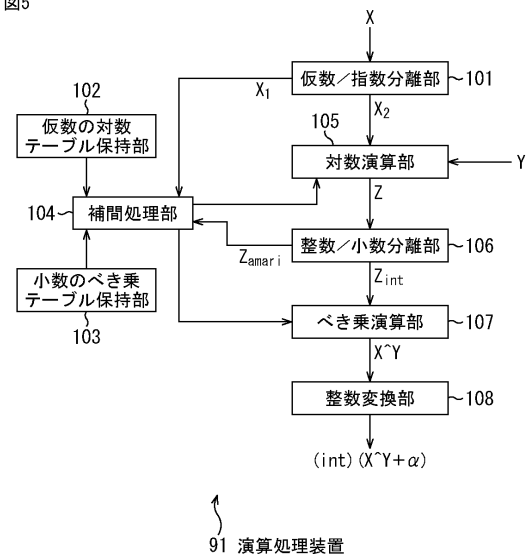
(57) 【要約】

【課題】より簡単かつ精度よくべき乗の演算を行う。

【解決手段】仮数／指数分離部101は、入力値 $X = (1 + X_1 / 2^{23}) \times (2^{X_2})$ を仮数 X_1 と指数 X_2 とに分離する。補間処理部104は、仮数 X_1 を用い、仮数の対数テーブル保持部102を参照して、補間処理によりべき乗値 $(\log_2(1 + X_1 / 2^{23}))$ を求める。対数演算部105は指数 X_2 と、補間処理部104からのべき乗値から対数 $Z = \log_2 X^Y = Y (X_2 + \log_2(1 + X_1 / 2^{23}))$ を求め、整数／小数分離部106は、対数 Z を整数 Z_{int} と小数 Z_{amari} に分離する。補間処理部104は、小数 Z_{amari} を用い、小数のべき乗テーブル保持部103を参照して、補間処理によりべき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ を求め、べき乗演算部107は、 $X^Y = 2^{Z} = (2^{Z_{amari}}) \times (2^{Z_{int}})$ を求めて入力値 X の Y 乗を得る。本発明は、量子化装置に適用することができる。

【選択図】図5

図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P を求める演算処理装置であって、

浮動小数点型のデータにおける、前記入力値 X を浮動小数点数で表現したときの仮数を表す仮数部である仮数 X_1 と、前記入力値 X を浮動小数点数で表現したときの指数を表す指数部である指数 X_2 とに、前記入力値 X を分離する仮数 / 指数分離手段と、

前記仮数 X_1 に対して定まる、前記定数 M を底とする前記入力値 X の前記仮数の対数値を記録する第 1 の記録手段と、

前記仮数 X_1 を用いて前記第 1 の記録手段から取得した、複数の前記対数値を用いて補間処理を行い、最終的な前記仮数の前記対数値を求める補間手段と、

前記変数 Y および前記指数 X_2 と、前記補間手段により求められた前記仮数の前記対数値とを用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求める対数演算手段と、

前記演算値 P の前記対数値 Z をべき指数とする、前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P を求めるべき乗演算手段と

を備える演算処理装置。

【請求項 2】

前記演算値 P の前記対数値 Z を、前記対数値 Z の整数部分である整数 Z_{int} と、前記対数値 Z の小数部分である小数 Z_{amari} とに分離する整数 / 小数分離手段と、

前記小数 Z_{amari} に対して定まる、前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M のべき乗値を記録する第 2 の記録手段と

をさらに備え、

前記べき乗演算手段は、前記小数 Z_{amari} を用いて前記第 2 の記録手段から取得した前記定数 M の前記べき乗値と、前記整数 Z_{int} とから前記演算値 P を求める

請求項 1 に記載の演算処理装置。

【請求項 3】

前記補間手段は、前記小数 Z_{amari} を用いて前記第 2 の記録手段から取得した、複数の前記べき乗値を用いて補間処理を行い、最終的な前記定数 M の前記べき乗値を求め、

前記べき乗演算手段は、前記補間手段により求められた前記定数 M の前記べき乗値と、前記整数 Z_{int} とから前記演算値 P を求める

請求項 2 に記載の演算処理装置。

【請求項 4】

変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P を求める演算処理装置であり、

浮動小数点型のデータにおける、前記入力値 X を浮動小数点数で表現したときの仮数を表す仮数部である仮数 X_1 と、前記入力値 X を浮動小数点数で表現したときの指数を表す指数部である指数 X_2 とに、前記入力値 X を分離する仮数 / 指数分離手段と、

前記仮数 X_1 に対して定まる、前記定数 M を底とする前記入力値 X の前記仮数の対数値を記録する記録手段と、

前記仮数 X_1 を用いて前記記録手段から取得した、複数の前記対数値を用いて補間処理を行い、最終的な前記仮数の前記対数値を求める補間手段と、

前記変数 Y および前記指数 X_2 と、前記補間手段により求められた前記仮数の前記対数値とを用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求める対数演算手段と、

前記演算値 P の前記対数値 Z をべき指数とする、前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P を求めるべき乗演算手段と

を備える演算処理装置の演算処理方法であって、

前記仮数 / 指数分離手段が前記入力値 X を前記仮数 X_1 と前記指数 X_2 とに分離し、

前記補間手段が前記複数の前記対数値を用いて補間処理を行い、最終的な前記仮数の前記対数値を求め、

前記対数演算手段が前記対数値 Z を求め、

10

20

30

40

50

前記べき乗演算手段が、前記対数値 Z をべき指数とする、前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P を求める

ステップを含む演算処理方法。

【請求項 5】

変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P を求める演算処理装置に、

浮動小数点型のデータにおける、前記入力値 X を浮動小数点数で表現したときの仮数を表す仮数部である仮数 X_1 と、前記入力値 X を浮動小数点数で表現したときの指数を表す指数部である指数 X_2 とに、前記入力値 X を分離し、

前記仮数 X_1 に対して定まる、前記定数 M を底とする前記入力値 X の前記仮数の対数値を複数用いて補間処理を行い、最終的な前記仮数の前記対数値を求め、

前記変数 Y および前記指数 X_2 と、前記補間処理により求められた前記仮数の前記対数値とを用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求め、

前記演算値 P の前記対数値 Z をべき指数とする、前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P を求める

ステップを含む処理を実行させるプログラム。

【請求項 6】

変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P を求める演算処理装置であって、

前記入力値 X および前記変数 Y を用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求める対数演算手段と、

前記演算値 P の前記対数値 Z を、前記対数値 Z の整数部分である整数 Z_{int} と、前記対数値 Z の小数部分である小数 Z_{amari} とに分離する整数 / 小数分離手段と、

前記小数 Z_{amari} に対して定まる、前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M のべき乗値を記録する第 1 の記録手段と、

前記小数 Z_{amari} を用いて前記第 1 の記録手段から取得した、複数の前記べき乗値を用いて補間処理を行い、最終的な前記定数 M の前記べき乗値を求める補間手段と、

前記補間手段により求められた前記定数 M の前記べき乗値と、前記整数 Z_{int} とを用いて、前記演算値 P の前記対数値 Z をべき指数とする、前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P を求めるべき乗演算手段と

を備える演算処理装置。

【請求項 7】

浮動小数点型のデータにおける、前記入力値 X を浮動小数点数で表現したときの仮数を表す仮数部である仮数 X_1 と、前記入力値 X を浮動小数点数で表現したときの指数を表す指数部である指数 X_2 とに、前記入力値 X を分離する仮数 / 指数分離手段をさらに備え、

前記対数演算手段は、前記仮数 X_1 、前記指数 X_2 、および前記変数 Y を用いて、前記演算値 P の前記対数値 Z を求める

請求項 6 に記載の演算処理装置。

【請求項 8】

前記仮数 X_1 に対して定まる、前記定数 M を底とする前記入力値 X の前記仮数の対数値を記録する第 2 の記録手段をさらに備え、

前記対数演算手段は、前記仮数 X_1 を用いて前記第 2 の記録手段から取得した前記仮数の前記対数値と、前記変数 Y および前記指数 X_2 とを用いて、前記演算値 P の前記対数値 Z を求める

請求項 7 に記載の演算処理装置。

【請求項 9】

変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P を求める演算処理装置であり、

前記入力値 X および前記変数 Y を用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求める対数演算手段と、

10

20

30

40

50

前記演算値 P の前記対数値 Z を、前記対数値 Z の整数部分である整数 Z_{int} と、前記対数値 Z の小数部分である小数 Z_{amari} とに分離する整数 / 小数分離手段と、

前記小数 Z_{amari} に対して定まる、前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M のべき乗値を記録する記録手段と、

前記小数 Z_{amari} を用いて前記記録手段から取得した、複数の前記べき乗値を用いて補間処理を行い、最終的な前記定数 M の前記べき乗値を求める補間手段と、

前記補間手段により求められた前記定数 M の前記べき乗値と、前記整数 Z_{int} とを用いて、前記演算値 P の前記対数値 Z をべき指数とする、前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P を求めるべき乗演算手段と

を備える演算処理装置の演算処理方法であって、

10

前記対数演算手段が前記入力値 X および前記変数 Y を用いて前記対数値 Z を求め、

前記整数 / 小数分離手段が、前記対数値 Z を前記整数 Z_{int} と前記小数 Z_{amari} とに分離し、

前記補間手段が、前記複数の前記べき乗値を用いて補間処理を行い、最終的な前記定数 M の前記べき乗値を求め、

前記べき乗演算手段が前記定数 M の前記べき乗値と前記整数 Z_{int} とを用いて、前記対数値 Z をべき指数とする前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P を求めるステップを含む演算処理方法。

【請求項 10】

変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P を求める演算処理装置に、

20

前記入力値 X および前記変数 Y を用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求め、

前記演算値 P の前記対数値 Z を、前記対数値 Z の整数部分である整数 Z_{int} と、前記対数値 Z の小数部分である小数 Z_{amari} とに分離し、

前記小数 Z_{amari} に対して定まる、前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M のべき乗値を複数用いて補間処理を行い、最終的な前記定数 M の前記べき乗値を求め、

前記補間処理により求められた前記定数 M の前記べき乗値と、前記整数 Z_{int} とを用いて、前記演算値 P の前記対数値 Z をべき指数とする、前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P を求める

30

ステップを含む処理を実行させるプログラム。

【請求項 11】

変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P の整数を求める演算処理装置であって、

前記入力値 X および前記変数 Y を用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求める対数演算手段と、

前記演算値 P の前記対数値 Z を、前記対数値 Z の整数部分である整数 Z_{int} と、前記対数値 Z の小数部分である小数 Z_{amari} とに分離する整数 / 小数分離手段と、

前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M のべき乗値を示す固定小数点化されたデータに対して、前記固定小数点化されたデータの最下位ビットから小数点位置までのビット数から、前記整数 Z_{int} を減算して得られる数を示すビット数分だけ右シフト演算を行って、前記演算値 P の前記整数を求めるべき乗整数変換手段と

40

を備える演算処理装置。

【請求項 12】

前記小数 Z_{amari} に対して定まる、前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M の前記べき乗値を記録する記録手段をさらに備え、

前記べき乗整数変換手段は、前記小数 Z_{amari} を用いて前記記録手段から取得した前記定数 M の前記べき乗値と、前記整数 Z_{int} とから前記演算値 P の前記整数を求める

請求項 11 に記載の演算処理装置。

【請求項 13】

50

前記小数 Z_{amari} を用いて前記記録手段から取得した、複数の前記べき乗値を用いて補間処理を行い、最終的な前記定数 M の前記べき乗値を求める補間手段をさらに備え、

前記べき乗整数変換手段は、前記補間手段により求められた前記定数 M の前記べき乗値と、前記整数 Z_{int} とから前記演算値 P の前記整数を求める

請求項 12 に記載の演算処理装置。

【請求項 14】

変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P の整数を求める演算処理装置であり、

前記入力値 X および前記変数 Y を用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求める対数演算手段と、

前記演算値 P の前記対数値 Z を、前記対数値 Z の整数部分である整数 Z_{int} と、前記対数値 Z の小数部分である小数 Z_{amari} とに分離する整数 / 小数分離手段と、

前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M のべき乗値を示す固定小数点化されたデータに対して、前記固定小数点化されたデータの最下位ビットから小数点位置までのビット数から、前記整数 Z_{int} を減算して得られる数を示すビット数分だけ右シフト演算を行って、前記演算値 P の前記整数を求めるべき乗整数変換手段と

を備える演算処理装置の演算処理方法であって、

前記対数演算手段が、前記入力値 X および前記変数 Y を用いて前記対数値 Z を求め、

前記整数 / 小数分離手段が、前記対数値 Z を前記整数 Z_{int} と前記小数 Z_{amari} とに分離し、

前記べき乗整数変換手段が前記右シフト演算を行って前記演算値 P の前記整数を求めるステップを含む演算処理方法。

【請求項 15】

変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P の整数を求める演算処理装置に、

前記入力値 X および前記変数 Y を用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求め、

前記演算値 P の前記対数値 Z を、前記対数値 Z の整数部分である整数 Z_{int} と、前記対数値 Z の小数部分である小数 Z_{amari} とに分離し、

前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M のべき乗値を示す固定小数点化されたデータに対して、前記固定小数点化されたデータの最下位ビットから小数点位置までのビット数から、前記整数 Z_{int} を減算して得られる数を示すビット数分だけ右シフト演算を行って、前記演算値 P の前記整数を求める

ステップを含む処理を実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は演算処理装置および方法、並びにプログラムに関し、特に、より精度よくべき乗の演算を行うことができるようにした演算処理装置および方法、並びにプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

オーディオ信号を符号化する方法として、MPEG (Moving Picture Expert Group) オーディオ規格が知られている。MPEG オーディオ規格には複数の符号化方式があるが、ISO/IEC (International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission) 13818-7にてMPEG-2オーディオ規格AAC (Advanced Audio Coding) という符号化方式が標準化されている。

【0003】

また、さらに拡張されたISO/IEC 14496-3にて、MPEG-4オーディオ規格AACという符号化方式が標準化されている。なお、以下では、MPEG-2オーディオ規格AAC、およびMPEG-4オ

10

20

30

40

50

オーディオ規格AACを合わせてAAC規格と呼ぶこととする。

【0004】

図1に、AAC規格に準拠した従来の符号化装置の構成を示す。

【0005】

符号化装置は、聴覚心理モデル保持部11、ゲイン制御部12、スペクトル処理部13、量子化/符号化部14、およびマルチプレクサ部15から構成される。

【0006】

符号化装置に入力されたオーディオ信号は、聴覚心理モデル保持部11およびゲイン制御部12に供給される。聴覚心理モデル保持部11は、供給されたオーディオ信号を時間軸に沿ってブロック化し、ブロック化されたオーディオ信号を分割帯域ごとに人間の聴覚特性に従って分析して、各分割帯域の許容誤差強度を算出する。

【0007】

ゲイン制御部12は、SSR(Scalable Sampling Rate)プロファイルのみに使用され、供給されたオーディオ信号を4つの等間隔の周波数帯域に分割し、最低域以外の帯域について利得調整を行う。

【0008】

スペクトル処理部13は、ゲイン制御部12において利得調整されたオーディオ信号を周波数領域のスペクトルデータに変換する。また、スペクトル処理部13は、聴覚心理モデル保持部11から供給された許容誤差強度に基づいて、スペクトル処理部13の各部を制御し、スペクトルデータに所定の処理を施す。

【0009】

スペクトル処理部13は、MDCT(Modified Discrete Cosine Transform)部21、TNS(Temporal Noise Shaping)処理部22、インテンシティ/カップリング部23、予測部24、およびM/S(Middle/Side Stereo)ステレオ部25を備えている。

【0010】

MDCT部21は、ゲイン制御部12から供給された時間領域のオーディオ信号を周波数領域のスペクトルデータに変換する。TNS処理部22は、MDCT部21によりスペクトルデータとされたオーディオ信号を加工して量子化雑音の時間的な形状を調整する。インテンシティ/カップリング部23は、TNS処理部22により加工されたオーディオ信号に対してステレオ相関符号化処理を施す。

【0011】

予測部24は、インテンシティ/カップリング部23においてステレオ相関符号化されたオーディオ信号と、量子化部27から供給されるオーディオ信号とを用いて予測符号化を行い、その結果得られたオーディオ信号をM/Sステレオ部25に供給する。M/Sステレオ部25は、予測部24からのオーディオ信号をステレオ相関符号化し、量子化/符号化部14に供給する。

【0012】

量子化/符号化部14は、M/Sステレオ部25からのオーディオ信号を符号列に変換し、マルチプレクサ部15に供給する。量子化/符号化部14は、正規化係数部26、量子化部27、およびハフマン符号化部28を備えている。

【0013】

正規化係数部26は、M/Sステレオ部25からのオーディオ信号を量子化部27に供給するとともに、そのオーディオ信号に基づいて、オーディオ信号の量子化に用いる正規化係数を算出し、量子化部27およびハフマン符号化部28に供給する。例えば、聴覚心理モデル保持部11からの許容誤差強度が用いられて、分割帯域ごとの正規化係数として、量子化ステップパラメータが算出される。

【0014】

量子化部27は、正規化係数部26からの正規化係数を用いて、正規化係数部26から供給されたオーディオ信号を非線形量子化し、その結果得られたオーディオ信号(量子化値)をハフマン符号化部28および予測部24に供給する。ハフマン符号化部28は、予

10

20

30

40

50

め定められたハフマン符号表に基づいて、正規化係数部 2 6 からの正規化係数と、量子化部 2 7 からの量子化値とに、それぞれハフマン符号を与えることで正規化係数および量子化値をハフマン符号化し、マルチプレクサ部 1 5 に供給する。

【 0 0 1 5 】

マルチプレクサ部 1 5 は、ゲイン制御部 1 2 および MDCT 部 2 1 乃至正規化係数部 2 6 から供給された、オーディオ信号の符号化の過程で生成された各種の情報と、ハフマン符号化部 2 8 からのハフマン符号とを多重化して、符号化されたオーディオ信号のビットストリームを生成して出力する。

【 0 0 1 6 】

また、量子化部 2 7 におけるオーディオ信号の非線形量子化は、正規化係数部 2 6 からのオーディオ信号の値を入力値 AX とし、正規化係数部 2 6 からの正規化係数としての量子化ステップパラメータを q とすると、次式 (1) を計算することにより行われる。すなわち、式 (1) が計算されて、オーディオ信号の入力値 AX から量子化値 RZ が求められる。

【 0 0 1 7 】

【 数 1 】

$$RZ = (\text{int}) \left(\left(\frac{AX}{2^{q/4}} \right)^{3/4} - 0.0946 + 0.5 \right) \dots (1)$$

【 0 0 1 8 】

なお、式 (1) において、 $(\text{int})(A)$ は、浮動小数点数 A の小数部分を切り捨てて整数部分を得る演算を示し、以下の説明において同様であるものとする。

【 0 0 1 9 】

AAC 規格の符号化においては、量子化値 RZ は 1 4 ビットと規定されているため、量子化前の値 $AY = AX / 2^{q/4}$ は、逆算すると、 $0 < AY < 8191.5943^{(4/3)}$ の範囲の値とされる。したがって、量子化値 RZ は、 $0 < RZ < 8191$ の範囲の整数となり、量子化値 RZ がこの範囲内の値となるように、量子化ステップパラメータ q が定められる。

【 0 0 2 0 】

また、オーディオ信号の量子化時において、量子化部 2 7 は、全ての入力値 AX に対する量子化値 RZ を逆量子化し、量子化誤差が所定の範囲内に収まっているか否かを確認する。例えば、次式 (2) の演算により逆量子化が行われ、逆量子化値 W が得られる。

【 0 0 2 1 】

【 数 2 】

$$W = (RZ)^{4/3} \dots (2)$$

【 0 0 2 2 】

さらに、量子化誤差は、逆量子化値 W と入力値 AX との差分を求めることで得られ、この差分が所定の範囲内の値となっているか否かの判定が行われる。

【 0 0 2 3 】

ところで、従来、上述した式 (1) における 4 分の 3 乗や、式 (2) における 3 分の 4 乗などのべき乗の演算結果を効率よく得る方法が提案されている (例えば、特許文献 1 参照)。特許文献 1 には、浮動小数点数としての入力値 X を指数部と仮数部とに分離し、1 度、2 を底 (基数) として、入力値 X の Y 乗である演算値 P の対数 Z を求めてから、対数 Z の値を 2 のべき乗により、求めようとする演算値 P に戻すことで、入力値 X のべき乗の演算結果を得ることが開示されている。

【 0 0 2 4 】

具体的には、特許文献 1 では、以下に説明する手順でべき乗の演算が行われる。なお、特許文献 1 では、底がネイピア数である場合と、べき指数が 2 の倍数である場合には、特別な処理が行われるが、以下では、それらの場合を除く、一般的な処理について説明する

10

20

30

40

50

。

【 0 0 2 5 】

まず、入力値 X の Y 乗の演算結果として得られる演算値を P とすると、次式 (3) の関係が成立する。

【 0 0 2 6 】

【 数 3 】

$$P = X^Y \quad \dots (3)$$

【 0 0 2 7 】

この入力値 X を浮動小数点数の仮数部の仮数 X_1 と、指数部の指数 X_2 とに分離して、入力値 X の Y 乗を演算することを考える。

【 0 0 2 8 】

ここで、浮動小数点数について説明する。例えば、IEEE (Institute for Electrical and Electronics Engineering) 754 に基づく単精度浮動小数点数を示す浮動小数点型のデータは、図 2 に示すように、32 ビットのビット列で構成される。

【 0 0 2 9 】

すなわち、浮動小数点数のデータの最下位ビットである 0 ビット目から 22 ビット目までの 23 ビットの部分は、浮動小数点数の仮数を表す仮数部である仮数 X_1 とされ、23 ビット目から 30 ビット目までの 8 ビットの部分は、浮動小数点数の指数を表す指数部である指数 X_2 とされ、最上位の 31 ビット目は符号ビット S とされる。

【 0 0 3 0 】

符号ビット S は、仮数部が正である場合には「0」とされ、仮数部が負の場合には「1」とされる。また、指数部のビット構成は「指数 + バイアス」となる。したがって、指数部の指数 X_2 は、実際の指数値にバイアスが加算された値である。IEEE754 の規格では、単精度のバイアスとして 127 が用いられているため、指数値が「0」であるときは、指数 X_2 の値は「127」(= 0 + 127) となり、指数部は 127 のビット構成 (0 x 7 f) となる (「0 x」は「7 f」が 16 進数であることを示す) 。

【 0 0 3 1 】

なお、指数部が 0 と 255 の場合は、特別な意味があるが、その説明は省略する。

【 0 0 3 2 】

このように浮動小数点型のデータにより表される入力値 X を数値表現形式で表すと、入力値 X は次式 (4) に示すように表される。

【 0 0 3 3 】

【 数 4 】

$$\begin{aligned} & (-1)^S \times 2^{(X_2-B)} \times (1 + .X_1) \\ & = (-1)^S \times 2^{(X_2-B)} \times (1 + X_1 / 2^{23}) \quad \dots (4) \end{aligned}$$

【 0 0 3 4 】

なお、式 (4) において、「. X_1 」は、仮数 X_1 の上位ビットの前に小数点が位置するものとして仮数部を小数点表現していることを示す。また、式 (4) における「 B 」はバイアス成分を示しており、「 S 」は符号ビットを示している。

【 0 0 3 5 】

特許文献 1 では、以上のような浮動小数点数である入力値 X が仮数 X_1 と指数 X_2 とに分離されてべき乗の演算が行われる。

【 0 0 3 6 】

すなわち、入力値 X の仮数部の仮数を X_1 とし、指数部の指数を X_2 とすると、入力値 X は、次式 (5) で表される。

【 0 0 3 7 】

10

20

30

40

50

【数 5】

$$X = (1 + X_1 / 2^{23}) \times 2^{X_2} \quad \dots (5)$$

【0038】

したがって、上述した式(3)の両辺に対して底2の対数をとると、式(6)が成立する。

【0039】

【数 6】

$$Z = \log_2 P = Y \{X_2 + \log_2 (1 + X_1 / 2^{23})\} \quad \dots (6)$$

10

【0040】

ここで、対数Zの整数部分を整数 Z_{int} とし、対数Zの小数部分を小数 Z_{amari} とすると、演算値Pは、次式(7)により表される。

【0041】

【数 7】

$$\begin{aligned} P &= 2^{\log_2 P} \\ &= 2^Z \\ &= 2^{Z_{amari}} \times 2^{Z_{int}} \quad \dots (7) \end{aligned}$$

20

【0042】

この式(7)における整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} は、上述した式(6)から求まるので、式(6)および式(7)から、入力値XをY乗して得られる演算値Pが求まる。

【0043】

以上のようにしてべき乗の演算を行い、オーディオ信号を量子化する量子化装置は、図3に示す構成とされる。

【0044】

量子化装置51は、図1の量子化部27に対応し、量子化装置51には、式(1)における量子化前の値AYが入力値Xとして供給されるとともに、べき指数 $Y = 3/4$ が供給される。

30

【0045】

仮数/指数分離部61は、供給された入力値Xを仮数 X_1 と指数 X_2 とに分離し、対数演算部62に供給する。対数演算部62には、べき指数Yが供給され、対数演算部62は、仮数/指数分離部61からの仮数 X_1 および指数 X_2 と、供給されたべき指数Yとを用いて、式(6)の演算を行い、対数Zを求める。その際、対数演算部62は、仮数 X_1 により求まるインデックスindex1を用いて、仮数の対数テーブル保持部63から入力値Xの仮数部分の対数値「 $\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$ 」を取得して式(6)に代入する。ここで、インデックスindex1は、仮数 X_1 の値に対する、入力値Xの仮数部分の対数値を特定するために用いられる値である。

40

【0046】

仮数の対数テーブル保持部63は、各仮数 X_1 の値に対する、入力値Xの仮数部分の対数値を含む仮数の対数テーブルを保持している。また、整数/小数分離部64は、対数演算部62からの対数Zを整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} に分離する。

【0047】

べき乗演算部65は、整数/小数分離部64からの整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を用いて、上述した式(7)を演算することで、浮動小数点型のデータである演算値Pを得る。その際、べき乗演算部65は、小数 Z_{amari} により求まるインデックスindex2を用いて、小数のべき乗テーブル保持部66から、小数 Z_{amari} をべき指数とする底2のべき乗値 $2^{Z_{amari}}$ を取得して式(7)に代入する。ここで、インデックスindex2は、小数 Z_{amari}

50

の値に対する、底を 2 としたべき乗値を特定するために用いられる値である。

【0048】

なお、べき乗値 $2^{Z_{\text{amari}}}$ における「 $\wedge$ 」はべき乗を表しており、以下の説明において同様であるとする。つまり、「 $2^{Z_{\text{amari}}}$ 」は、2 の Z_{amari} 乗を示している。

【0049】

小数のべき乗テーブル保持部 66 は、各小数 Z_{amari} の値に対する、底を 2 とするべき乗の値を含む小数のべき乗テーブルを保持している。整数変換部 67 は、べき乗演算部 65 により求められた演算値 P に所定の定数 α が加算されて得られる数の整数部分を抽出し、抽出した整数部分を、入力値 X の量子化値 RZ として出力する。この場合、定数 α は、式 (1) の「 $-0.0946 + 0.5$ 」とされる。

10

【0050】

次に、図 4 のフローチャートを参照して、量子化装置 51 による量子化処理について説明する。

【0051】

ステップ S11 において、仮数の対数テーブル保持部 63 および小数のべき乗テーブル保持部 66 は、仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルを生成する。

【0052】

すなわち、仮数の対数テーブル保持部 63 は、仮数の対数テーブルのテーブルサイズを $2^N = \text{SIZE}$ とすると、次式 (8) に示される、入力値 X の仮数部分の対数値 $\log\text{table}[i]$ からなる仮数の対数テーブルを生成する。

20

【0053】

【数 8】

$$\log\text{table}[i] = \log_2(1+i/\text{SIZE}), i=0, \dots, \text{SIZE}-1 \quad \dots (8)$$

【0054】

ここで、テーブルサイズ SIZE は、N ビットのデータで表すことのできる数の個数であり、このテーブルサイズ SIZE の個数だけ対数値 $\log\text{table}[i]$ が用意されることになる。また、対数値 $\log\text{table}[i]$ の変数 i は、仮数 X_1 から求まるインデックス index1 の値を示しており、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} - 1)$ とされる。

【0055】

30

また、小数のべき乗テーブル保持部 66 は、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズを $2^N = \text{SIZE}$ とすると、次式 (9) に示される、小数 Z_{amari} をべき指数とし、底を 2 とするべき乗値 $\text{twotable}[i]$ からなる小数のべき乗テーブルを生成する。

【0056】

【数 9】

$$\text{twotable}[i] = 2^{(i/\text{SIZE})}, i=0, \dots, \text{SIZE}-1 \quad \dots (9)$$

【0057】

ここで、べき乗値 $\text{twotable}[i]$ の変数 i は、小数 Z_{amari} から求まるインデックス index2 の値を示しており、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} - 1)$ とされる。

40

【0058】

ステップ S12 において、仮数 / 指数分離部 61 は、供給された入力値 X の仮数 X_1 および指数 X_2 を求める。

【0059】

ステップ S13 において、対数演算部 62 は、仮数 / 指数分離部 61 からの仮数 X_1 および指数 X_2 を用いて、式 (6) を計算し、対数 Z を求める。

【0060】

すなわち、対数演算部 62 は、仮数 X_1 を用いて次式 (10) を計算することにより、仮数 X_1 の 22 ビット目から上位 N ビットの値をインデックス index1 として求め、さらに、そのインデックス index1 を用いて、次式 (11) により入力値 X の仮数部分の対数値 $\log$

50

gtable[index1]を求める。

【 0 0 6 1 】

【 数 1 0 】

$$\text{index1} = X_1 \gg (23-N) \quad \dots (10)$$

【 0 0 6 2 】

【 数 1 1 】

$$\log_2(1+X_1/2^{23}) = \text{logtable}[\text{index1}] \quad \dots (11)$$

【 0 0 6 3 】

10

なお、式 (1 0) において「 $\gg$ 」は右シフトを示している。仮数 X_1 は 2 3 ビットの値であるので、仮数 X_1 を (2 3 - N) ビットだけ右シフトすれば、仮数 X_1 の上位 N ビットの値を取り出すことができる。

【 0 0 6 4 】

対数演算部 6 2 は、仮数 X_1 から抽出した上位 N ビットの値をインデックス index1 とし、そのインデックス index1 を変数 i の値とした対数値 logtable[index1] を、仮数の対数テーブル保持部 6 3 から取得する。そして、この取得された対数値 logtable[index1] が、入力値 X の仮数部分の対数値 ($\log_2(1+X_1/2^{23})$) とされる。

【 0 0 6 5 】

さらに、対数演算部 6 2 は、仮数 / 指数分離部 6 1 からの指数 X_2 、供給されたべき指数 Y、および求めた対数値を式 (6) に代入し、対数 Z を求める。

20

【 0 0 6 6 】

ステップ S 1 4 において、整数 / 小数分離部 6 4 は、対数演算部 6 2 からの対数 Z を、整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} に分離する。具体的には、整数 / 小数分離部 6 4 は、次式 (1 2) および式 (1 3) を計算することで、整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求める。

【 0 0 6 7 】

【 数 1 2 】

$$Z_{\text{int}} = \begin{cases} (\text{int})Z & Z \geq 0 \\ (\text{int})Z - 1 & Z < 0 \end{cases} \quad \dots (12)$$

30

【 0 0 6 8 】

【 数 1 3 】

$$Z_{\text{amari}} = (\text{int})((Z - (\text{int})Z) \times 2^{23}) \quad \dots (13)$$

【 0 0 6 9 】

すなわち、式 (1 2) では、対数 Z が 0 以上である場合には、対数 Z の整数部分が抽出されて整数 Z_{int} とされ、対数 Z が 0 未満である場合には、対数 Z の整数部分が抽出され、その整数部分からさらに 1 が減算された値が整数 Z_{int} とされる。

【 0 0 7 0 】

40

また、式 (1 3) では、対数 Z から、その対数 Z の整数部分が減算されて得られる値 (差分) に、さらに 2^{23} が乗算された値の整数部分が小数 Z_{amari} とされる。つまり、対数 Z と対数 Z の整数部分との差分を求めることで、対数 Z の小数部分の値が求まる。そして、その小数部分の値に 2^{23} を乗算して、その結果得られる値の整数部分を抽出することで、対数 Z の小数部分が、小数点が 2 3 ビット目に位置する固定小数点数に変換される。

【 0 0 7 1 】

ステップ S 1 5 において、べき乗演算部 6 5 は、整数 / 小数分離部 6 4 からの整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を用いて、演算値 P を求める。

【 0 0 7 2 】

すなわち、べき乗演算部 6 5 は、次式 (1 4) および式 (1 5) を計算することで、イ

50

ンデックスindex2を求め、そのインデックスindex2を用いて式(16)より、底2のべき乗値($2^{Z_{amari}}$)を求める。

【0073】

【数14】

$$\text{index2}' = Z_{amari} \gg (23 - N) \quad \dots (14)$$

【0074】

【数15】

$$\text{index2} = \text{index2}' \& (\text{SIZE} - 1) \quad \dots (15)$$

10

【0075】

【数16】

$$2^{Z_{amari}} = \text{twotable}[\text{index2}] \quad \dots (16)$$

【0076】

なお、式(14)において「 $\gg$ 」は右シフトを示しており、式(15)において「 $\&$ 」は論理積演算を示している。

【0077】

すなわち、べき乗演算部65は、小数 Z_{amari} を(23 - N)ビットだけ右シフトすることにより、小数 Z_{amari} の(23 - N)ビット目から上位ビットの値を取り出してindex2'とする。ここで、小数 Z_{amari} は式(13)の計算により、小数点位置が23ビット目にある固定小数点数とされているので、小数 Z_{amari} を(23 - N)ビットだけ右シフトすると、小数 Z_{amari} の小数部分の(23 - N)ビット目から上位ビットの値が抽出される。

20

【0078】

また、べき乗演算部65は、このようにして得られたindex2'と、(SIZE - 1)との論理積演算をすることでNビットのインデックスindex2を求め、そのインデックスindex2を変数iの値としたべき乗値twotable[index2]を、小数のべき乗テーブル保持部66の小数のべき乗テーブルから取得する。そして、この取得されたべき乗値twotable[index2]が、底2のべき乗値($2^{Z_{amari}}$)とされる。

30

【0079】

さらに、べき乗演算部65は、整数/小数分離部64からの整数 Z_{int} を用いて式(17)を計算し、整数 Z_{int} をべき指数とする底2のべき乗値($2^{Z_{int}}$)を求める。

【0080】

【数17】

$$2^{Z_{int}} = (Z_{int} + 127) \ll 23 \quad \dots (17)$$

【0081】

なお、式(17)において、「 $\ll$ 」は左シフトを示している。すなわち、べき乗演算部65は、求めようとするべき乗値($2^{Z_{int}}$)を、IEEE754に基づく浮動小数点型のフォーマットのデータとするために、整数 Z_{int} にバイアス成分「127」を加算し、23ビットだけ左シフトする。左シフト演算が行われるのは、浮動小数点型の指数部が、浮動小数点型のデータにおける30ビット目から23ビット目までの部分となるからである。

40

【0082】

このようにして、べき乗値($2^{Z_{amari}}$)およびべき乗値($2^{Z_{int}}$)が得られると、べき乗演算部65は、これらのべき乗値から式(18)を計算して演算値Pを求める。

【0083】

【数18】

$$P = 2^{Z_{amari}} \times 2^{Z_{int}} \quad \dots (18)$$

50

【 0 0 8 4 】

ステップ S 1 6 において、整数変換部 6 7 は、べき乗演算部 6 5 により求められた演算値 P を用いて、入力値 X の量子化値 R Z を求めて出力し、量子化処理は終了する。

【 0 0 8 5 】

すなわち、整数変換部 6 7 は演算値 P と、予め定められた定数 α とから次式 (1 9) を計算し、量子化値 R Z を求める。

【 0 0 8 6 】

【 数 1 9 】

$$RZ = (\text{int})(P + \alpha) \quad \dots (19)$$

10

【 0 0 8 7 】

以上のようにして、量子化装置 5 1 は、入力値 X のべき乗を計算し、量子化値 R Z を求める。

【 0 0 8 8 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 1 - 5 6 4 3 号 公 報

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 8 9 】

しかしながら、上述した技術では、少ないメモリ量で、べき乗の演算を簡単に精度よく行なうことは困難であった。

20

【 0 0 9 0 】

例えば、具体的に、量子化装置 5 1 により算出されたべき乗の演算値 P と、数学ライブラリを用いて算出したべき乗値 Q とからなる L 個のデータのセットを用いて、次式 (2 0) を計算し、相対誤差平均 T を求めて演算精度を評価することを考える。

【 0 0 9 1 】

【 数 2 0 】

$$T = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \frac{|P_i - Q_i|}{Q_i} \quad \dots (20)$$

【 0 0 9 2 】

なお、式 (2 0) において、 P_i は、量子化装置 5 1 により算出された演算値 P の i 番目のサンプルを示しており、 Q_i は、数学ライブラリにより求められた、 P_i に対応する数を示している。

30

【 0 0 9 3 】

本出願人が、 $L = 8192$ として式 (2 0) を計算し、量子化装置 5 1 による演算値 P の演算精度の評価を行ったところ、テーブルサイズ 2^N における N が 8 であるとき、すなわち SIZE = 256 のとき、相対誤差平均 $T = 5.45 \times 10^{-3}$ となり、それほど高い精度は得られなかった。また、テーブルサイズ 2^N における N が 16 であるとき、すなわち SIZE = 65536 のとき、相対誤差平均 $T = 5.10 \times 10^{-6}$ となり、 $N = 8$ の場合よりも高い精度が得られた。

【 0 0 9 4 】

しかしながら、べき乗の演算の精度を上げようとする、仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルのテーブルサイズを増やす必要があり、それらのテーブルを記録しておくメモリのメモリ容量が逼迫してしまう。逆に、それらのテーブルのテーブルサイズを小さくすると、べき乗の演算精度が低下してしまう。

40

【 0 0 9 5 】

さらに、例えば式 (1) に示したように、オーディオ信号の量子化を行う場合などには、べき乗演算により演算値 P を求め、さらに定数 α を加算してから整数化を行わなければならない、簡単にべき乗の整数を求めることができなかった。

【 0 0 9 6 】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、少ないメモリ量で、より簡単

50

かつ精度よくべき乗の演算を行うことができるようにするものである。また、本発明は、より簡単にべき乗の整数を求めることができるようにするものである。

【課題を解決するための手段】

【0097】

本発明の第1の側面の演算処理装置は、変数Yをべき指数とし、所定の定数をMとして、M進数で表現される入力値Xをべき乗して得られる演算値Pを求める演算処理装置であって、浮動小数点型のデータにおける、前記入力値Xを浮動小数点数で表現したときの仮数を表す仮数部である仮数X1と、前記入力値Xを浮動小数点数で表現したときの指数を表す指数部である指数X2とに、前記入力値Xを分離する仮数/指数分離手段と、前記仮数X1に対して定まる、前記定数Mを底とする前記入力値Xの前記仮数の対数値を記録する第1の記録手段と、前記仮数X1を用いて前記第1の記録手段から取得した、複数の前記対数値を用いて補間処理を行い、最終的な前記仮数の前記対数値を求める補間手段と、前記変数Yおよび前記指数X2と、前記補間手段により求められた前記仮数の前記対数値とを用いて、前記定数Mを底とする前記演算値Pの対数値Zを求める対数演算手段と、前記演算値Pの前記対数値Zをべき指数とする、前記定数Mのべき乗を求めることにより、前記演算値Pを求めるべき乗演算手段とを備える。

10

【0098】

演算処理装置には、前記演算値Pの前記対数値Zを、前記対数値Zの整数部分である整数Zintと、前記対数値Zの小数部分である小数Zamariとに分離する整数/小数分離手段と、前記小数Zamariに対して定まる、前記小数Zamariをべき指数とする、前記定数Mのべき乗値を記録する第2の記録手段とをさらに設け、前記べき乗演算手段には、前記小数Zamariを用いて前記第2の記録手段から取得した前記定数Mの前記べき乗値と、前記整数Zintとから前記演算値Pを求めさせることができる。

20

【0099】

前記補間手段には、前記小数Zamariを用いて前記第2の記録手段から取得した、複数の前記べき乗値を用いて補間処理を行わせ、最終的な前記定数Mの前記べき乗値を求めさせ、前記べき乗演算手段には、前記補間手段により求められた前記定数Mの前記べき乗値と、前記整数Zintとから前記演算値Pを求めさせることができる。

【0100】

本発明の第1の側面の演算処理方法またはプログラムは、変数Yをべき指数とし、所定の定数をMとして、M進数で表現される入力値Xをべき乗して得られる演算値Pを求める演算処理装置の演算処理方法またはプログラムであって、浮動小数点型のデータにおける、前記入力値Xを浮動小数点数で表現したときの仮数を表す仮数部である仮数X1と、前記入力値Xを浮動小数点数で表現したときの指数を表す指数部である指数X2とに、前記入力値Xを分離し、前記仮数X1に対して定まる、前記定数Mを底とする前記入力値Xの前記仮数の対数値を複数用いて補間処理を行い、最終的な前記仮数の前記対数値を求め、前記変数Yおよび前記指数X2と、前記補間処理により求められた前記仮数の前記対数値とを用いて、前記定数Mを底とする前記演算値Pの対数値Zを求め、前記演算値Pの前記対数値Zをべき指数とする、前記定数Mのべき乗を求めることにより、前記演算値Pを求めるステップを含む。

30

40

【0101】

本発明の第1の側面においては、変数Yをべき指数とし、所定の定数をMとして、M進数で表現される入力値Xをべき乗して得られる演算値Pを求める演算処理装置において、浮動小数点型のデータにおける、前記入力値Xを浮動小数点数で表現したときの仮数を表す仮数部である仮数X1と、前記入力値Xを浮動小数点数で表現したときの指数を表す指数部である指数X2とに、前記入力値Xが分離され、前記仮数X1に対して定まる、前記定数Mを底とする前記入力値Xの前記仮数の対数値が複数用いられて補間処理が行われ、最終的な前記仮数の前記対数値が求められ、前記変数Yおよび前記指数X2と、前記補間処理により求められた前記仮数の前記対数値とが用いられて、前記定数Mを底とする前記演算値Pの対数値Zが求められ、前記演算値Pの前記対数値Zをべき指数とする、前記定

50

数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P が求められる。

【0102】

本発明の第2の側面の演算処理装置は、変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P を求める演算処理装置であって、前記入力値 X および前記変数 Y を用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求める対数演算手段と、前記演算値 P の前記対数値 Z を、前記対数値 Z の整数部分である整数 Z_{int} と、前記対数値 Z の小数部分である小数 Z_{amari} とに分離する整数/小数分離手段と、前記小数 Z_{amari} に対して定まる、前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M のべき乗値を記録する第1の記録手段と、前記小数 Z_{amari} を用いて前記第1の記録手段から取得した、複数の前記べき乗値を用いて補間処理を行い、最終的な前記定数 M の前記べき乗値を求める補間手段と、前記補間手段により求められた前記定数 M の前記べき乗値と、前記整数 Z_{int} とを用いて、前記演算値 P の前記対数値 Z をべき指数とする、前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P を求めるべき乗演算手段とを備える。

10

【0103】

演算処理装置には、浮動小数点型のデータにおける、前記入力値 X を浮動小数点数で表現したときの仮数を表す仮数部である仮数 X_1 と、前記入力値 X を浮動小数点数で表現したときの指数を表す指数部である指数 X_2 とに、前記入力値 X を分離する仮数/指数分離手段をさらに設け、前記対数演算手段には、前記仮数 X_1 、前記指数 X_2 、および前記変数 Y を用いて、前記演算値 P の前記対数値 Z を求めさせることができる。

20

【0104】

演算処理装置には、前記仮数 X_1 に対して定まる、前記定数 M を底とする前記入力値 X の前記仮数の対数値を記録する第2の記録手段をさらに設け、前記対数演算手段には、前記仮数 X_1 を用いて前記第2の記録手段から取得した前記仮数の前記対数値と、前記変数 Y および前記指数 X_2 とを用いて、前記演算値 P の前記対数値 Z を求めさせることができる。

【0105】

本発明の第2の側面の演算処理方法またはプログラムは、変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P を求める演算処理装置の演算処理方法またはプログラムであって、前記入力値 X および前記変数 Y を用いて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z を求め、前記演算値 P の前記対数値 Z を、前記対数値 Z の整数部分である整数 Z_{int} と、前記対数値 Z の小数部分である小数 Z_{amari} とに分離し、前記小数 Z_{amari} に対して定まる、前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M のべき乗値を複数用いて補間処理を行い、最終的な前記定数 M の前記べき乗値を求め、前記補間処理により求められた前記定数 M の前記べき乗値と、前記整数 Z_{int} とを用いて、前記演算値 P の前記対数値 Z をべき指数とする、前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P を求めるステップを含む。

30

【0106】

本発明の第2の側面においては、変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として、 M 進数で表現される入力値 X をべき乗して得られる演算値 P を求める演算処理装置において、前記入力値 X および前記変数 Y が用いられて、前記定数 M を底とする前記演算値 P の対数値 Z が求められ、前記演算値 P の前記対数値 Z が、前記対数値 Z の整数部分である整数 Z_{int} と、前記対数値 Z の小数部分である小数 Z_{amari} とに分離され、前記小数 Z_{amari} に対して定まる、前記小数 Z_{amari} をべき指数とする、前記定数 M のべき乗値が複数用いられて補間処理が行われ、最終的な前記定数 M の前記べき乗値が求められ、前記補間処理により求められた前記定数 M の前記べき乗値と、前記整数 Z_{int} とが用いられて、前記演算値 P の前記対数値 Z をべき指数とする、前記定数 M のべき乗を求めることにより、前記演算値 P が求められる。

40

【0107】

本発明の第3の側面の演算処理装置は、変数 Y をべき指数とし、所定の定数を M として

50

、M進数で表現される入力値Xをべき乗して得られる演算値Pの整数を求める演算処理装置であって、前記入力値Xおよび前記変数Yを用いて、前記定数Mを底とする前記演算値Pの対数値Zを求める対数演算手段と、前記演算値Pの前記対数値Zを、前記対数値Zの整数部分である整数Z_{int}と、前記対数値Zの小数部分である小数Z_{amari}とに分離する整数/小数分離手段と、前記小数Z_{amari}をべき指数とする、前記定数Mのべき乗値を示す固定小数点化されたデータに対して、前記固定小数点化されたデータの最下位ビットから小数点位置までのビット数から、前記整数Z_{int}を減算して得られる数を示すビット数分だけ右シフト演算を行って、前記演算値Pの前記整数を求めるべき乗整数変換手段とを備える。

【0108】

10

演算処理装置には、前記小数Z_{amari}に対して定まる、前記小数Z_{amari}をべき指数とする、前記定数Mの前記べき乗値を記録する記録手段をさらに設け、前記べき乗整数変換手段には、前記小数Z_{amari}を用いて前記記録手段から取得した前記定数Mの前記べき乗値と、前記整数Z_{int}とから前記演算値Pの前記整数を求めさせることができる。

【0109】

演算処理装置には、前記小数Z_{amari}を用いて前記記録手段から取得した、複数の前記べき乗値を用いて補間処理を行い、最終的な前記定数Mの前記べき乗値を求める補間手段をさらに設け、前記べき乗整数変換手段には、前記補間手段により求められた前記定数Mの前記べき乗値と、前記整数Z_{int}とから前記演算値Pの前記整数を求めさせることができる。

20

【0110】

本発明の第3の側面の演算処理方法またはプログラムは、変数Yをべき指数とし、所定の定数をMとして、M進数で表現される入力値Xをべき乗して得られる演算値Pの整数を求める演算処理装置の演算処理方法またはプログラムであって、前記入力値Xおよび前記変数Yを用いて、前記定数Mを底とする前記演算値Pの対数値Zを求め、前記演算値Pの前記対数値Zを、前記対数値Zの整数部分である整数Z_{int}と、前記対数値Zの小数部分である小数Z_{amari}とに分離し、前記小数Z_{amari}をべき指数とする、前記定数Mのべき乗値を示す固定小数点化されたデータに対して、前記固定小数点化されたデータの最下位ビットから小数点位置までのビット数から、前記整数Z_{int}を減算して得られる数を示すビット数分だけ右シフト演算を行って、前記演算値Pの前記整数を求めるステップを含む。

30

【0111】

本発明の第3の側面においては、変数Yをべき指数とし、所定の定数をMとして、M進数で表現される入力値Xをべき乗して得られる演算値Pの整数を求める演算処理装置において、前記入力値Xおよび前記変数Yが用いられて、前記定数Mを底とする前記演算値Pの対数値Zが求められ、前記演算値Pの前記対数値Zが、前記対数値Zの整数部分である整数Z_{int}と、前記対数値Zの小数部分である小数Z_{amari}とに分離され、前記小数Z_{amari}をべき指数とする、前記定数Mのべき乗値を示す固定小数点化されたデータに対して、前記固定小数点化されたデータの最下位ビットから小数点位置までのビット数から、前記整数Z_{int}を減算して得られる数を示すビット数分だけ右シフト演算が行われて、前記演算値Pの前記整数が求められる。

40

【発明の効果】

【0112】

本発明の第1の側面によれば、べき乗の演算を行うことができる。特に、本発明の第1の側面によれば、少ないメモリ量で、より簡単かつ精度よくべき乗の演算を行うことができる。

【0113】

また、本発明の第2の側面によれば、べき乗の演算を行うことができる。特に、本発明の第2の側面によれば、少ないメモリ量で、より簡単かつ精度よくべき乗の演算を行うこ

50

とができる。

【 0 1 1 4 】

さらに、本発明の第 3 の側面によれば、べき乗の整数を求めることができる。特に、本発明の第 3 の側面によれば、より簡単にべき乗の整数を求めることができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 1 1 5 】

以下、図面を参照して、本発明を適用した実施の形態について説明する。

【 0 1 1 6 】

[第 1 の実施の形態]

まず、本発明を適用した演算処理装置により行われる処理の概要を説明する。

10

【 0 1 1 7 】

本発明を適用した演算処理装置は、供給された入力値 X を、例えば IEEE754 に基づく浮動小数点数の仮数 X_1 と指数 X_2 とに分離して、入力値 X の Y 乗を求める演算を行う。すなわち、演算処理装置は、基本的には、上述した式 (6) および式 (7) を計算して、入力値 X を Y 乗して得られる演算値 P を求める。

【 0 1 1 8 】

ここで、仮数 X_1 は、浮動小数点型のデータにおける、入力値 X の仮数 (仮数部分) を表す仮数部であり、指数 X_2 は、浮動小数点型のデータにおける、入力値 X の指数を表す指数部である。また、入力値 X の仮数 (仮数部分) とは、上述した式 (5) に示したように、入力値 X を浮動小数点数で表現したときの仮数部分 ($1 + X_1 / 2^{23}$) である。

20

【 0 1 1 9 】

演算処理装置は、演算値 P を求める際に、仮数 X_1 の値に対する、入力値 X の仮数部分の対数値を示すテーブル値を含む仮数の対数テーブルを利用して、補間処理により入力値 X の仮数部分の対数値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) を得る。また、演算処理装置は、式 (6) の対数 Z の整数部分および小数部分を、それぞれ整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} として、小数 Z_{amari} の値に対する、底を 2 とするべき乗値を示すテーブル値を含む小数のべき乗テーブルを利用し、補間処理によりべき乗値 $2^{Z_{amari}}$ を得る。

【 0 1 2 0 】

図 5 は、本発明を適用した演算処理装置の一実施の形態の構成例を示す図である。

【 0 1 2 1 】

30

演算処理装置 9 1 は、仮数 / 指数分離部 1 0 1、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2、小数のべき乗テーブル保持部 1 0 3、補間処理部 1 0 4、対数演算部 1 0 5、整数 / 小数分離部 1 0 6、べき乗演算部 1 0 7、および整数変換部 1 0 8 から構成される。この演算処理装置 9 1 では、仮数 / 指数分離部 1 0 1 に入力値 X が供給され、対数演算部 1 0 5 にべき指数 Y が供給される。

【 0 1 2 2 】

仮数 / 指数分離部 1 0 1 は、供給された入力値 X を、例えば IEEE754 に基づく浮動小数点数の仮数 X_1 と指数 X_2 とに分離して、仮数 X_1 を補間処理部 1 0 4 に供給するとともに、指数 X_2 を対数演算部 1 0 5 に供給する。

【 0 1 2 3 】

40

仮数の対数テーブル保持部 1 0 2 は、仮数の対数テーブルを保持している。小数のべき乗テーブル保持部 1 0 3 は、小数のべき乗テーブルを保持している。補間処理部 1 0 4 は、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2 の仮数の対数テーブルから、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの仮数 X_1 により特定されるテーブル値を取得して補間処理を行い、その結果得られた入力値 X の仮数部分の対数値を対数演算部 1 0 5 に供給する。

【 0 1 2 4 】

また、補間処理部 1 0 4 は、小数のべき乗テーブル保持部 1 0 3 の小数のべき乗テーブルから、整数 / 小数分離部 1 0 6 からの小数 Z_{amari} により特定されるテーブル値を取得して補間処理を行い、その結果得られたべき乗値をべき乗演算部 1 0 7 に供給する。

【 0 1 2 5 】

50

対数演算部 105 は、仮数 / 指数分離部 101 からの指数 X_2 、供給されたべき指数 Y 、および補間処理部 104 からの対数値に基づいて、2 を底とする演算値 P の対数 Z を求め、整数 / 小数分離部 106 に供給する。整数 / 小数分離部 106 は、対数演算部 105 からの対数 Z を整数 Z_{int} と小数 Z_{amari} とに分離し、整数 Z_{int} をべき乗演算部 107 に供給するとともに、小数 Z_{amari} を補間処理部 104 に供給する。

【0126】

べき乗演算部 107 は、整数 / 小数分離部 106 からの整数 Z_{int} と、補間処理部 104 からのべき乗値とを用いて演算値 P を求め、整数変換部 108 に供給する。整数変換部 108 は、べき乗演算部 107 からの演算値 P に所定の定数 α が加算されて得られる数の整数部分を抽出し、抽出した整数部分を出力する。

10

【0127】

したがって、例えば、入力値 X が式 (1) における $(AX / 2^{q/4})$ であり、べき指数 Y が $3/4$ であり、定数 α が「-0.0946+0.5」である場合には、演算処理装置 91 は、図 1 の量子化部 27 に対応する装置となる。すなわち、そのような場合、演算処理装置 91 は、入力されたオーディオ信号としての入力値 X を非線形量子化する量子化装置となる。

【0128】

なお、入力値 $X = 0.0$ である場合は、浮動小数点数として特殊な場合であるので、演算値 $P = 0.0^Y = 0$ として別途求めるものとする。

【0129】

次に、図 6 のフローチャートを参照して、演算処理装置 91 によるべき乗演算処理について説明する。

20

【0130】

ステップ S41 において、仮数の対数テーブル保持部 102 は、仮数の対数テーブルを生成する。例えば、補間処理部 104 により補間処理として 2 次の多項式補間が行われる場合、仮数の対数テーブル保持部 102 は、仮数の対数テーブルのテーブルサイズを $2^N + 2 = \text{SIZE} + 2$ とする。そして、仮数の対数テーブル保持部 102 は、次式 (21) に示されるテーブル値 $\logtable[i]$ からなる仮数の対数テーブルを生成する。

【0131】

【数 21】

$$\logtable[i] = \log_2(1+i/\text{SIZE}), i=0, \dots, \text{SIZE}+1 \quad \dots (21)$$

30

【0132】

ここで、テーブル値 $\logtable[i]$ の変数 i は、仮数 X_1 から求められ、テーブル値 $\logtable[i]$ を特定するために用いられるインデックス index1 の値を示しており、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} + 1)$ とされる。また、テーブルサイズ $(\text{SIZE} + 2)$ の個数だけテーブル値 $\logtable[i]$ が用意されることになる。

【0133】

例えば、インデックス index1 を仮数 X_1 の上位何ビットかの値とすれば、式 (21) における「 $\log_2(1+i/\text{SIZE})$ 」は、仮数 X_1 の値に対する、2 を底とする入力値 X の仮数部分の対数値 ($\log_2(1+X_1/2^{2^3})$) の近似値となる。

40

【0134】

仮数の対数テーブル保持部 102 は、 $(\text{SIZE} + 2)$ 個の各変数の値 i のそれぞれに対する、テーブル値 $\logtable[i]$ のそれぞれを求めると、それらの値 i とテーブル値 $\logtable[i]$ とを対応付けて仮数の対数テーブルを生成し、保持する。

【0135】

なお、補間処理として、補間処理部 104 により線形補間が行われる場合には、仮数の対数テーブルのテーブルサイズは $2^N + 1 = \text{SIZE} + 1$ とされ、式 (21) のテーブル値 $\logtable[i]$ からなる仮数の対数テーブルが生成される。

【0136】

ステップ S42 において、小数のべき乗テーブル保持部 103 は、小数のべき乗テーブ

50

ルを生成する。例えば、補間処理部 104 により補間処理として 2 次の多項式補間が行われる場合、小数のべき乗テーブル保持部 103 は、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズを $2^N + 2 = \text{SIZE} + 2$ とする。そして、小数のべき乗テーブル保持部 103 は、次式 (22) に示されるテーブル値 $\text{twotable}[i]$ からなる小数のべき乗テーブルを生成する。

【0137】

【数 22】

$$\text{twotable}[i] = 2^{(i/\text{SIZE})}, i=0, \dots, \text{SIZE}+1 \quad \dots (22)$$

【0138】

ここで、テーブル値 $\text{twotable}[i]$ の変数 i は、小数 Z_{amari} から求められ、テーブル値 $\text{twotable}[i]$ を特定するために用いられるインデックス index2 の値を示しており、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} + 1)$ とされる。また、テーブルサイズ $(\text{SIZE} + 2)$ の個数だけテーブル値 $\text{twotable}[i]$ が用意されることになる。

【0139】

インデックス index2 を、小数 Z_{amari} の上位何ビットかの値とすれば、式 (22) における $2^{(i/\text{SIZE})}$ は、「2」を底 (基数) とし、小数 Z_{amari} をべき指数とするべき乗の値 $2^{Z_{\text{amari}}}$ の近似値となる。

【0140】

小数のべき乗テーブル保持部 103 は、 $(\text{SIZE} + 2)$ 個の各変数の値 i のそれぞれに対するテーブル値 $\text{twotable}[i]$ のそれぞれを求めると、それらの値 i とテーブル値 $\text{twotable}[i]$ とを対応付けて小数のべき乗テーブルを生成し、保持する。

【0141】

なお、補間処理として、補間処理部 104 により線形補間が行われる場合には、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズは $2^N + 1 = \text{SIZE} + 1$ とされ、式 (22) のテーブル値 $\text{twotable}[i]$ からなる小数のべき乗テーブルが生成される。

【0142】

また、仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルを生成する処理は、入力値 X のべき乗演算前に 1 度行っておけばよい。つまり、1 度これらのテーブルを生成しておけば、その後、入力値 X のべき乗演算を行うときは、既に生成されて保持されている仮数のべき乗テーブルおよび小数のべき乗テーブルを用いればよい。

【0143】

ステップ S43 において、仮数 / 指数分離部 101 は、供給された入力値 X の仮数 X_1 および指数 X_2 を求め、求めた仮数 X_1 を補間処理部 104 に供給し、求めた指数 X_2 を対数演算部 105 に供給する。

【0144】

例えば、IEEE754 に基づく浮動小数点数の仮数部および指数部、つまり、上述した式 (5) における仮数 X_1 および指数 X_2 を示す整数型のデータが、入力値 X の仮数 X_1 および指数 X_2 のデータとされる。換言すれば、図 2 に示した浮動小数点型のデータの 0 ビット目から 22 ビット目までの部分が仮数 X_1 とされ、30 ビット目から 23 ビット目までの部分からバイアス値を引き算した値が指数 X_2 とされる。

【0145】

ステップ S44 において、補間処理部 104 は、仮数 / 指数分離部 101 からの仮数 X_1 を用いて補間処理を行って、式 (6) に示した、入力値 X の仮数部分の対数値の補間値 $(\log_2 (1 + X_1 / 2^{23}))$ を求め、対数演算部 105 に供給する。

【0146】

すなわち、補間処理部 104 は、式 (23) を計算することにより、仮数 X_1 の 22 ビット目から上位 N ビットをインデックス index1 として求める。

【0147】

10

20

30

40

【数 2 3】

$$\text{index1} = X_1 \gg (23-N) \quad \dots (23)$$

【0 1 4 8】

なお、式 (23) において「 $\gg$ 」は右シフトを示している。例えば、図 2 に示したように、仮数 X_1 は 23 ビットの値であるので、仮数 X_1 を $(23 - N)$ ビットだけ右シフトすれば、仮数 X_1 の上位 N ビットの値を取り出すことができる。

【0 1 4 9】

また、補間処理部 104 は、次式 (24) を計算することにより、仮数 X_1 の $(22 - N)$ ビット目から 0 ビット目までの部分の値である下位値 X_{h1} を求める。

10

【0 1 5 0】

【数 2 4】

$$X_{h1} = X_1 \& (2^{23-N} - 1) \quad \dots (24)$$

【0 1 5 1】

なお、式 (24) において、「 $\&$ 」は論理積演算を示しており、以下の説明において同じであるとする。式 (24) では、2 進数のデータである仮数 X_1 と $(2^{23-N} - 1)$ との論理積演算を行うことにより、仮数 X_1 の $(22 - N)$ ビット目から 0 ビット目までの部分が抽出される。すなわち、 $(2^{23-N} - 1)$ は、下位 $(23 - N)$ ビットの値だけが「1」となり、他のビットの値は「0」となる値であるので、論理積演算により、仮数 X_1 の下位 $(23 - N)$ ビットの値だけが抽出される。

20

【0 1 5 2】

例えば、図 7 に示すように、演算処理装置 91 では、浮動小数点数のデータの 22 ビット目から 0 ビット目までの仮数部 (仮数 X_1) のうち、22 ビット目から上位 N ビットの部分を用いてインデックス index1 が生成される。そして、生成されたインデックス index1 により特定されるテーブル値が、仮数 X_1 に対する、入力値 X の仮数部分の対数値を示す値として仮数の対数テーブルから取得される。

【0 1 5 3】

このテーブル値は、仮数 X_1 の上位 N ビットの部分を用いて得られた対数値の近似値であるため、この近似値には誤差が含まれる。そこで、補間処理部 104 は、仮数 X_1 の 22 ビット目から上位 N ビットの部分を用いてテーブル値を得て、さらに残りの $(23 - N)$ ビットの部分、つまり仮数 X_1 の $(22 - N)$ ビット目から 0 ビット目までの部分を用いて補間処理を行って、最終的な対数値を求める。これにより、仮数の対数テーブルのテーブルサイズを大きくすることなく、簡単にべき乗演算の精度を向上させることができるようになる。

30

【0 1 5 4】

なお、図 7 の例においては、浮動小数点数のデータのうち、30 ビット目から 23 ビット目までの 8 ビットの部分からバイアス値を引き算した値が、指数 X_2 の整数型のデータとして抽出される。

【0 1 5 5】

40

図 6 のフローチャートの説明に戻り、インデックス index1 および下位値 X_{h1} が求められると、補間処理部 104 は、さらに、インデックス index1 により特定される仮数の対数テーブルのテーブル値と、下位値 X_{h1} とから補間処理を行う。

【0 1 5 6】

例えば、補間処理として線形補間を行う場合、補間処理部 104 は、次式 (25) および式 (26) を計算して、入力値 X の仮数部分の対数値のテーブル値 V_{10} およびテーブル値 V_{11} を求める。

【0 1 5 7】

【数 2 5】

$$V_{10} = \text{logtable}[\text{index1}] \quad \dots (25)$$

【0 1 5 8】

【数 2 6】

$$V_{11} = \text{logtable}[\text{index1}+1] \quad \dots (26)$$

【0 1 5 9】

すなわち、補間処理部 1 0 4 は、インデックス index1 を変数 i の値としたテーブル値 logtable[index1] をテーブル値 V_{10} として、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2 の仮数の対数
10
テーブルから取得する。同様に、補間処理部 1 0 4 は、インデックス index1 + 1 を変数 i
の値としたテーブル値 logtable[index1 + 1] をテーブル値 V_{11} として、仮数の対数テ
ブルから取得する。これにより、仮数の対数テーブルから、インデックス index1 の近傍の 2
つのテーブル値 V_{10} およびテーブル値 V_{11} が得られたことになる。

【0 1 6 0】

そして、補間処理部 1 0 4 は、下位値 X_{h1} と、テーブル値 V_{10} およびテーブル値 V_{11} と
を用いて式 (27) を計算することにより線形補間を行い、2 を底とする入力値 X の仮数
部分の対数値の補間値 ($\log_2(1 + X_1 / 2^{23})$) を求める。

【0 1 6 1】

【数 2 7】

$$\log_2(1 + X_1 / 2^{23}) = a \times \text{xin} + V_{10} \quad \dots (27)$$

【0 1 6 2】

なお、式 (27) における「a」および変数「xin」は、それぞれ式 (28) および式
(29) により表される。

【0 1 6 3】

【数 2 8】

$$a = V_{11} - V_{10} \quad \dots (28)$$

【0 1 6 4】

【数 2 9】

$$\text{xin} = X_{h1} / 2^{23-N} \quad \dots (29)$$

【0 1 6 5】

すなわち、補間処理として線形補間が行われる場合、図 8 に示すように、テーブル値 V_{10}
を原点とみなして、インデックスに対する対数値の傾き a が求められ、インデックス (index1)
の値が xin であるときの対数値が補間された対数値として求められる。なお、図
8 において、縦軸は対数値を示しており、横軸はインデックス (インデックス index1) の
値を示している。

【0 1 6 6】

また、例えば、補間処理部 1 0 4 は、補間処理として 2 次の多項式補間を行う場合、上
述した式 (25) および式 (26) と、次式 (30) とを計算することにより、入力値 X
の仮数部分の対数値のテーブル値 V_{10} 乃至テーブル値 V_{12} を求める。

【0 1 6 7】

【数 3 0】

$$V_{12} = \text{logtable}[\text{index1}+2] \quad \dots (30)$$

【0 1 6 8】

すなわち、補間処理部 1 0 4 は、テーブル値 V_{10} およびテーブル値 V_{11} とともに、イン
デックス index1 + 2 を変数 i の値としたテーブル値 logtable[index1 + 2] をテーブル値 V_{12}
50

として、仮数の対数テーブル保持部 102 の仮数の対数テーブルから取得する。

【0169】

そして、補間処理部 104 は、下位値 X_{h1} と、テーブル値 V_{10} 乃至テーブル値 V_{12} とを用いて式 (31) を計算することにより 2 次の多項式補間を行い、2 を底とする入力値 X の仮数部分の対数値の補間値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) を求める。

【0170】

【数 31】

$$\log_2(1 + X_1 / 2^{23}) = a \times \text{xin} \times \text{xin} + b \times \text{xin} + V_{10} \quad \dots (31)$$

【0171】

10

なお、式 (31) における「 a 」、「 b 」、および「 xin 」は、それぞれ式 (32) 乃至式 (34) により表される。

【0172】

【数 32】

$$a = 0.5(V_{12} - V_{10}) - (V_{11} - V_{10}) \quad \dots (32)$$

【0173】

【数 33】

$$b = (V_{11} - V_{10}) - a \quad \dots (33)$$

20

【0174】

【数 34】

$$\text{xin} = X_{h1} / 2^{23-N} \quad \dots (34)$$

【0175】

すなわち、補間処理として 2 次の多項式補間が行われる場合、図 9 に示すように、テーブル値 V_{10} を原点とみなして、下位値 X_{h1} から求まるインデックスの値 xin の 2 乗の値に乗算される係数 a と、値 xin に乗算される係数 b とが求められ、インデックス (index1) の値が xin であるときの対数値が補間された対数値として求められる。なお、図 9 において、縦軸は対数値を示しており、横軸はインデックスの値を示している。

30

【0176】

なお、補間処理部 104 は、補間処理を行わない場合には、式 (25) により得られるテーブル値 V_{10} を、入力値 X の仮数部分の対数値の補間値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) とする。

【0177】

このようにして求められた対数値の補間値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) は、入力値 X の仮数部分の最終的な対数値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) とされて、補間処理部 104 から対数演算部 105 に供給される。

【0178】

ステップ S45 において、対数演算部 105 は、仮数 / 指数分離部 101 からの指数 X_2 、補間処理部 104 からの対数値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$)、および供給されたべき指数 Y を用いて上述した式 (6) を計算し、対数 Z を求める。これにより、2 を底とする演算値 P の対数 Z が得られる。対数演算部 105 は、計算により得られた対数 Z を整数 / 小数分離部 106 に供給する。なお、対数 Z は、浮動小数点型の 2 進数のデータとされる。

40

【0179】

ステップ S46 において、整数 / 小数分離部 106 は、対数演算部 105 からの対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求め、整数 Z_{int} をべき乗演算部 107 に供給するとともに、小数 Z_{amari} を補間処理部 104 に供給する。

【0180】

具体的には、整数 / 小数分離部 106 は、対数 Z を用いて次式 (35) により整数 Z_{in}

50

i を求める。

【 0 1 8 1 】

【 数 3 5 】

$$Z_{int} = \begin{cases} (\text{int})Z & Z \geq 0 \\ (\text{int})Z-1 & Z < 0 \end{cases} \quad \dots (35)$$

【 0 1 8 2 】

すなわち、対数 Z が 0 以上である場合には、その対数 Z の整数部分が抽出されて整数 Z_{int} とされ、対数 Z が 0 未満である場合には、その対数 Z の整数部分が抽出され、その整数部分からさらに 1 が減算された値が整数 Z_{int} とされる。

10

【 0 1 8 3 】

また、整数 / 小数分離部 1 0 6 は、対数 Z を用いて次式 (36) により小数 Z_{amari} を求める。

【 0 1 8 4 】

【 数 3 6 】

$$Z_{amari} = (\text{int})((Z - (\text{int})Z) \times 2^{23}) \quad \dots (36)$$

【 0 1 8 5 】

式 (36) では、対数 Z から、その対数 Z の整数部分が減算されて得られる値 (差分) に、さらに 2^{23} が乗算された値の整数部分が小数 Z_{amari} とされる。つまり、対数 Z と対数 Z の整数部分との差分を求めることで、対数 Z の小数部分の値が求まる。そして、その小数部分の値に 2^{23} を乗算して、その結果得られる値の整数部分を抽出することで、対数 Z の小数部分が、小数点が 23 ビット目に位置する固定小数点数、つまり固定小数点型のデータに変換される。

20

【 0 1 8 6 】

ステップ S 47 において、補間処理部 1 0 4 は、整数 / 小数分離部 1 0 6 からの小数 Z_{amari} を用いて補間処理を行い、小数 Z_{amari} をべき指数とする底 2 のべき乗値の補間値を求める。

【 0 1 8 7 】

30

すなわち、補間処理部 1 0 4 は、次式 (37) および式 (38) を計算することにより、固定小数点化された小数 Z_{amari} の 22 ビット目から上位 N ビットの値を $index2$ として取り出す。

【 0 1 8 8 】

【 数 3 7 】

$$index2' = Z_{amari} \gg (23 - N) \quad \dots (37)$$

【 0 1 8 9 】

【 数 3 8 】

$$index2 = index2' \& (SIZE - 1) \quad \dots (38)$$

40

【 0 1 9 0 】

なお、式 (37) において「 $\gg$ 」は右シフトを示しており、式 (38) において「 $\&$ 」は論理積演算を示している。

【 0 1 9 1 】

つまり、補間処理部 1 0 4 は、小数 Z_{amari} を $(23 - N)$ ビットだけ右シフトすることにより、小数 Z_{amari} の $(23 - N)$ ビット目から上位ビットの値を取り出して $index2'$ とする。ここで、小数 Z_{amari} は式 (36) の計算により、小数点位置が 23 ビット目にある固定小数点数とされているので、小数 Z_{amari} を $(23 - N)$ ビットだけ右シフトすると、小数 Z_{amari} の小数部分の $(23 - N)$ ビット目から上位ビットの値が抽出され

50

る。また、補間処理部 104 は、このようにして得られた index2' と、(SIZE - 1) との論理積演算をすることで N ビットのインデックス index2 を求める。

【0192】

さらに、補間処理部 104 は、次式 (39) を計算することにより、小数 Z_{amari} の (22 - N) ビット目から 0 ビット目までの部分の値である下位値 X_{h2} を求める。

【0193】

【数 39】

$$X_{h2} = Z_{\text{amari}} \& (2^{23-N} - 1) \quad \dots (39)$$

【0194】

式 (39) では、式 (24) における場合と同様に、2 進数のデータである小数 Z_{amari} と (2^{23-N} - 1) との論理積演算を行うことにより、小数 Z_{amari} の (22 - N) ビット目から 0 ビット目までの部分が抽出される。

【0195】

このようにして、インデックス index2 および下位値 X_{h2} が求められると、補間処理部 104 は、さらに、インデックス index2 により特定される小数のべき乗テーブルのテーブル値と、下位値 X_{h2} とから補間処理を行う。

【0196】

例えば、補間処理として線形補間を行う場合、補間処理部 104 は、次式 (40) および式 (41) を計算して、小数 Z_{amari} をべき指数とする底 2 のべき乗値のテーブル値 V_{20} およびテーブル値 V_{21} を求める。

【0197】

【数 40】

$$V_{20} = \text{twotable}[\text{index2}] \quad \dots (40)$$

【0198】

【数 41】

$$V_{21} = \text{twotable}[\text{index2}+1] \quad \dots (41)$$

【0199】

すなわち、補間処理部 104 は、インデックス index2 およびインデックス index2 + 1 を変数 i の値としたテーブル値 $\text{twotable}[\text{index2}]$ およびテーブル値 $\text{twotable}[\text{index2}+1]$ をテーブル値 V_{20} およびテーブル値 V_{21} として、小数のべき乗テーブル保持部 103 の小数のべき乗テーブルから取得する。これにより、小数のべき乗テーブルから、インデックス index2 の近傍の 2 つのテーブル値 V_{20} およびテーブル値 V_{21} が得られたことになる。

【0200】

なお、上述した式 (38) の論理積演算と、式 (35) の対数 Z が負である場合における、対数 Z の整数からの 1 の減算とを行うことは、次の演算を行うことと等価である。すなわち、式 (38) および式 (35) の演算は、対数 $Z = (\text{整数 } Z_{\text{int}} + \text{小数 } Z_{\text{amari}})$ における小数 Z_{amari} が負であるときに、対数 Z の整数 Z_{int} から 1 を減算し、対数 Z の小数 Z_{amari} に 1 を加算することと等価である。

【0201】

このような演算を行うと、インデックス index2 を用いて、小数のべき乗テーブルからインデックス index2 により特定されるテーブル値 (べき乗値) を取得する際に必要となる条件分岐の数を減らすことができ、より迅速にテーブル値を得ることができるようになる。

【0202】

なお、2 のべき乗演算を、べき指数の小数と整数とに分けて、テーブルを利用して行う場合に、べき指数が負であるときに小数に 1 を加算し、整数から 1 を減算することで、テーブル引きの条件分岐数を削減する技術は、特開 2004 - 172700 に記載されている。

10

20

30

40

50

【 0 2 0 3 】

以上のようにして、下位値 X_{h2} と、テーブル値 V_{20} およびテーブル値 V_{21} とが求まると、補間処理部 104 は、下位値 X_{h2} と、テーブル値 V_{20} およびテーブル値 V_{21} とを用いて式 (42) を計算することにより線形補間を行い、小数 Z_{amari} をべき指数とする底 2 のべき乗値の補間値 ($2^{Z_{amari}}$) を求める。

【 0 2 0 4 】

【 数 4 2 】

$$2^{Z_{amari}} = a \times xin + V_{20} \quad \dots (42)$$

【 0 2 0 5 】

10

なお、式 (42) における「a」および変数「xin」は、それぞれ式 (43) および式 (44) により表される。

【 0 2 0 6 】

【 数 4 3 】

$$a = V_{21} - V_{20} \quad \dots (43)$$

【 0 2 0 7 】

【 数 4 4 】

$$xin = X_{h2} / 2^{23-N} \quad \dots (44)$$

20

【 0 2 0 8 】

すなわち、補間処理として線形補間が行われる場合、図 8 に示した場合と同様に、テーブル値 V_{20} を原点とみなして、インデックスに対するべき乗値の傾き a が求められ、インデックス (index2) の値が xin であるときのべき乗値が補間されたべき乗値として求められる。

【 0 2 0 9 】

また、例えば、補間処理部 104 は、補間処理として 2 次の多項式補間を行う場合、上述した式 (40) および式 (41) と、次式 (45) とを計算することにより、小数 Z_{amari} をべき指数とする底 2 のべき乗値のテーブル値 V_{20} 乃至テーブル値 V_{22} を求める。

【 0 2 1 0 】

30

【 数 4 5 】

$$V_{22} = \text{twotable}[\text{index2}+2] \quad \dots (45)$$

【 0 2 1 1 】

すなわち、補間処理部 104 は、テーブル値 V_{20} およびテーブル値 V_{21} とともに、インデックス $\text{index2}+2$ を変数 i の値としたテーブル値 $\text{twotable}[\text{index2}+2]$ をテーブル値 V_{22} として、小数のべき乗テーブル保持部 103 の小数のべき乗テーブルから取得する。

【 0 2 1 2 】

そして、補間処理部 104 は、下位値 X_{h2} と、テーブル値 V_{20} 乃至テーブル値 V_{22} とを用いて式 (46) を計算することにより 2 次の多項式補間を行い、小数 Z_{amari} をべき指数とする底 2 のべき乗値の補間値 ($2^{Z_{amari}}$) を求める。

40

【 0 2 1 3 】

【 数 4 6 】

$$2^{Z_{amari}} = a \times xin \times xin + b \times xin + V_{20} \quad \dots (46)$$

【 0 2 1 4 】

なお、式 (46) における「a」、「b」、および「xin」は、それぞれ式 (47) 乃至式 (49) により表される。

【 0 2 1 5 】

【数 4 7】

$$a = 0.5(V_{22} - V_{20}) - (V_{21} - V_{20}) \quad \dots (47)$$

【0 2 1 6】

【数 4 8】

$$b = (V_{21} - V_{20}) - a \quad \dots (48)$$

【0 2 1 7】

【数 4 9】

$$xin = X_{h2} \cdot 2^{23-N} \quad \dots (49)$$

10

【0 2 1 8】

すなわち、補間処理として 2 次の多項式補間が行われる場合、図 9 に示した場合と同様に、テーブル値 V_{20} を原点とみなして、下位値 X_{h2} から求まるインデックスの値 xin の 2 乗の値に乗算される係数 a と、値 xin に乗算される係数 b とが求められ、インデックス ($index2$) の値が xin であるときのべき乗値が補間されたべき乗値として求められる。

【0 2 1 9】

なお、補間処理部 104 は、補間処理を行わない場合には、式 (40) により得られるテーブル値 V_{20} を、小数 Z_{amari} をべき指数とする底 2 のべき乗値の補間値 ($2^{Z_{amari}}$) とする。

20

【0 2 2 0】

このようにして求められたべき乗値の補間値 ($2^{Z_{amari}}$) は、小数 Z_{amari} をべき指数とする底 2 の最終的なべき乗値として、補間処理部 104 からべき乗演算部 107 に供給される。

【0 2 2 1】

ステップ S48 において、べき乗演算部 107 は、補間処理部 104 からのべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) と、整数 / 小数分離部 106 からの整数 Z_{int} とを用いて演算値 P を求める。

【0 2 2 2】

すなわち、べき乗演算部 107 は、整数 Z_{int} を用いて次式 (50) を計算し、整数 Z_{int} をべき指数とする底 2 のべき乗値 ($2^{Z_{int}}$) を求める。

30

【0 2 2 3】

【数 5 0】

$$2^{Z_{int}} = (Z_{int} + 127) \ll 23 \quad \dots (50)$$

【0 2 2 4】

なお、式 (50) において、「 $\ll$ 」は左シフトを示している。すなわち、べき乗演算部 107 は、求めようとするべき乗値 ($2^{Z_{int}}$) を、IEEE754 に基づく浮動小数点型のフォーマットのデータとするために、整数 Z_{int} にバイアス成分「127」を加算し、23 ビットだけ左シフトする。

40

【0 2 2 5】

左シフト演算が行われるのは、浮動小数点数の指数部が、浮動小数点型のデータにおける 30 ビット目から 23 ビット目までの部分となるからである。これにより、指数部が「 $Z_{int} + 127$ 」である浮動小数点型のデータが得られる。

【0 2 2 6】

このようにして、べき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) およびべき乗値 ($2^{Z_{int}}$) が得られると、べき乗演算部 107 は、これらのべき乗値を式 (51) に代入して演算値 P を求め、得られた演算値 P を整数変換部 108 に供給する。ここで、求められる演算値 P は、浮動小数点型のデータとされる。

【0 2 2 7】

50

【数 5 1】

$$P = 2^{Z_{\text{amari}}} \times 2^{Z_{\text{int}}} \quad \dots (51)$$

【0 2 2 8】

ステップ S 4 9 において、整数変換部 1 0 8 は、べき乗演算部 1 0 7 からの演算値 P を整数化して出力し、べき乗演算処理は終了する。

【0 2 2 9】

すなわち、整数変換部 1 0 8 は、次式 (5 2) を計算することにより、演算値 P に定数 α が加算されて得られる数の整数部分を求め、求められた値を、整数化された演算値 P である出力値として出力する。

【0 2 3 0】

【数 5 2】

$$\text{出力値} = (\text{int})(P + \alpha) \quad \dots (52)$$

【0 2 3 1】

以上のようにして、演算処理装置 9 1 は、仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルのテーブル値を用いて補間処理を行い、補間処理により得られた対数値およびべき乗値を用いて演算値 P を求める。

【0 2 3 2】

このように、補間処理を行って演算値 P を求めることで、仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルのテーブルサイズを増やさずに、簡単にべき乗演算の精度を向上させることができる。したがって、べき乗の演算に必要なテーブルを記録するメモリのメモリ容量を少なくすることができ、かつより簡単に精度よくべき乗の演算を行うことができる。

【0 2 3 3】

具体的には、上述した式 (2 0) を計算して求まる相対誤差平均 T により、本出願人が演算処理装置 9 1 のべき乗の演算精度の評価を行ったところ、図 1 0 に示す評価結果が得られた。

【0 2 3 4】

図 1 0 には、仮数の対数テーブルの値、および小数のべき乗テーブルの値に、それぞれ補間処理を加えた場合と、加えない場合との組み合わせについて、仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルのテーブルサイズにおける N を 8 とし、すなわち SIZE = 256 とし、L = 8192 個のデータを用いたときの相対誤差平均 T が示されている。

【0 2 3 5】

すなわち、文字「べき乗：補間なし」は、小数のべき乗テーブルの値を補間処理せずに演算値 P の算出に用いたことを示している。文字「べき乗：線形補間」および「べき乗：2 次補間」は、小数のべき乗テーブルの値に線形補間および 2 次の多項式補間を行って得られた値を、演算値 P の算出に用いたことを示している。

【0 2 3 6】

同様に、文字「対数：補間なし」は、仮数の対数テーブルの値を補間処理せずに演算値 P の算出に用いたことを示しており、文字「対数：線形補間」および「対数：2 次補間」は、仮数の対数テーブルの値に線形補間および 2 次の多項式補間を行って得られた値を、演算値 P の算出に用いたことを示している。

【0 2 3 7】

図 1 0 では、仮数の対数テーブルの値、または小数のべき乗テーブルの値の少なくとも何れか一方に補間処理を施すことで、べき乗（より詳細にはべき乗の整数）の演算精度が改善されることが分かる。例えば、仮数の対数テーブルの値および小数のべき乗テーブルの値の両方に線形補間を施すと $T = 1.71 \times 10^{-6}$ となり、仮数の対数テーブルの値および小数のべき乗テーブルの値の両方に 2 次の多項式補間を施すと $T = 1.99 \times 10^{-7}$ となっている。

10

20

30

40

50

【 0 2 3 8 】

このように、両方のテーブル値に、線形補間または2次の多項式補間を施したときの相対誤差平均は、従来の量子化装置 5 1 において、 $N = 16$ のとき、つまりテーブルサイズ $SIZE = 65536$ としたときの相対誤差平均 $T = 5.10 \times 10^{-6}$ と比べて小さくなっており、演算精度が改善されていることが分かる。すなわち、より小さいテーブルサイズで、より高い演算精度が得られる。

【 0 2 3 9 】

また、 $N = 1, \dots, 8$ である場合、つまり仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルのテーブルサイズの $SIZE = 2, \dots, 256$ である場合、仮数の対数テーブルの値、および小数のべき乗テーブルの値の両方の値に、補間処理を施さないとき、線形補間を施したとき、および2次の多項式補間を施したときのそれぞれの相対誤差平均 T として、図 1 1 に示す結果が得られた。

10

【 0 2 4 0 】

なお、図中、「テーブルサイズ」の欄は、テーブルサイズの $SIZE$ の数（個数）を示しており、文字「補間なし」、「線形補間」、および「2次補間」のそれぞれは、仮数の対数テーブルの値、および小数のべき乗テーブルの値に、補間処理を施さない場合、線形補間を施す場合、および2次の多項式補間を施す場合のそれぞれを示している。

【 0 2 4 1 】

図 1 1 では、テーブルサイズが「8」で線形補間を行う場合と、テーブルサイズが「4」で2次の多項式補間を行う場合とで、「補間なし」のテーブルサイズが「256」のときの精度と同等の精度が実現されていることが分かる。

20

【 0 2 4 2 】

すなわち、テーブルサイズが「256」で補間処理を行わない場合、相対誤差平均 $T = 5.44 \times 10^{-3}$ である。また、テーブルサイズが「8」で線形補間を行う場合、相対誤差平均 $T = 1.74 \times 10^{-3}$ であり、テーブルサイズが「4」で2次の多項式補間を行う場合、相対誤差平均 $T = 1.70 \times 10^{-3}$ である。このように、演算処理装置 9 1 では、補間処理を行うことで、より少ないテーブルサイズ（テーブル数）で、より高い精度のべき乗の演算を行うことができる。

【 0 2 4 3 】

なお、以上においては、仮数の対数テーブルと小数のべき乗テーブルのテーブルサイズが同じである例について説明したが、それらのテーブルサイズは、べき乗演算の必要な精度に応じて異なる大きさとされてもよい。テーブルサイズが変更される場合、そのサイズに合わせて補間処理部 1 0 4 により行われる補間処理時のビット位置、つまり下位値 X_{h1} または下位値 X_{h2} の大きさも変更される。

30

【 0 2 4 4 】

また、仮数の対数テーブルの値と、小数のべき乗テーブルの値との両方に補間処理を施すと説明したが、補間処理の処理量と必要となる演算精度に応じて、どちらか一方の値に補間処理が施されるようにしてもよいし、それぞれ異なる補間処理が施されるようにしてもよい。さらに、補間処理として、線形補間や2次の多項式補間に限らず、3次以上の多項式補間やスプライン補間が施されるようにしてもよい。

40

【 0 2 4 5 】

また、以上においては、入力値 X が2進数で表現されているので、底2の対数と、底2のべき乗をペアとして演算値 P を求めたが、入力値 X が M 進数で表現される場合には、底 M の対数（対数 Z ）と、底 M のべき乗をペアとしても同様の演算で演算値 P を求めることができる。すなわち、そのような場合、対数 $Z = \log_M P$ とされ、演算値 $P = (M^{Z_{int}}) \times (M^{Z_{frac}})$ とされる。

【 0 2 4 6 】

〔 第 2 の実施の形態 〕

図 1 2 は、本発明を適用した演算処理装置の他の実施の形態の構成例を示すブロック図である。なお、図 1 2 において、図 5 における場合と対応する部分には、同一の符号を付

50

してあり、その説明は適宜、省略する。

【0247】

演算処理装置131は、対数演算処理部141、べき乗演算処理部142、および整数変換部108から構成される。演算処理装置131では、対数演算処理部141に入力値Xおよびべき指数Yが供給される。

【0248】

対数演算処理部141は、供給された入力値Xおよびべき指数Yを用いて対数Zを求め、べき乗演算処理部142に供給する。べき乗演算処理部142は、対数演算処理部141からの対数Zから演算値Pを求め、整数変換部108に供給する。

【0249】

次に、図13のフローチャートを参照して、演算処理装置131によるべき乗演算処理について説明する。

【0250】

ステップS71において、対数演算処理部141は、対数演算処理を行って、対数Zを求め、べき乗演算処理部142に供給する。なお、対数演算処理の詳細は後述するが、この対数演算処理において、上述した式(6)の演算が行われて対数Zが算出される。

【0251】

ステップS72において、べき乗演算処理部142は、演算値算出処理を行って演算値Pを求め、整数変換部108に供給する。なお、演算値算出処理の詳細は後述するが、この演算値算出処理において、上述した式(7)の演算が行われて演算値Pが算出される。

【0252】

その後、ステップS73の処理が行われてべき乗演算処理は終了するが、ステップS73の処理は、図6のステップS49の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【0253】

ところで、対数演算処理を行う対数演算処理部141の実現方法として、いくつかの方法が考えられる。

【0254】

例えば、対数演算処理部141では、式(6)の演算が行われて対数Zが求められるが、対数Zにおける、入力値Xの仮数部分($1+X_1/2^{23}$)の取り得る値の範囲は、 $1.0 < (1+X_1/2^{23}) < 2.0$ であり、式(6)における対数の演算の底も「2」と定められている。したがって、式(6)における対数値($\log_2(1+X_1/2^{23})$)の演算を行うための処理量はそれほど多くない。

【0255】

そこで、対数演算処理部141を、底2の対数の演算を行う演算装置から構成すれば、高速で対数Zを算出する演算処理を行うことのできる対数演算処理部141を実現することができる。この場合、演算装置として、対数値($\log_2(1+X_1/2^{23})$)を求める専用の演算装置を用意すれば、汎用の演算装置を用いる場合よりも、対数演算処理部141の構成を簡単な構成とすることができる。

【0256】

そのような場合、対数演算処理部141は、図14に示すように構成される。なお、図14において、図5における場合と対応する部分には、同一の符号を付してあり、その説明は適宜、省略する。

【0257】

図14の対数演算処理部141は、仮数/指数分離部101および対数演算部171から構成される。また、対数演算処理部141では、仮数/指数分離部101に入力値Xが供給され、対数演算部171にべき指数Yが供給される。

【0258】

対数演算部171は、対数の演算を行う演算装置などから構成され、供給されたべき指数Yと、仮数/指数分離部101から供給された仮数 X_1 および指数 X_2 とを用いて、演算装置により対数Zを求め、図12のべき乗演算処理部142に供給する。

【 0 2 5 9 】

次に、図 1 5 のフローチャートを参照して、図 1 3 のステップ S 7 1 の処理に対応する処理である対数演算処理について説明する。なお、ステップ S 9 1 の処理は、図 6 のステップ S 4 3 の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【 0 2 6 0 】

ステップ S 9 2 において、対数演算部 1 7 1 は、供給されたべき指数 Y と、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの仮数 X_1 および指数 X_2 とから、演算装置を用いて式 (6) を計算し、対数 Z を求める。

【 0 2 6 1 】

すなわち、対数演算部 1 7 1 は、内蔵している演算装置を用いて、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの仮数 X_1 から、2 を底とする入力値 X の仮数部分の対数值 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^2)$) を求める。このとき、仮数 X_1 は、2 3 ビット目に小数点位置がある整数型のデータとされているので、浮動小数点型のデータに変換されて対数值の演算が行われる。

【 0 2 6 2 】

さらに、対数演算部 1 7 1 は、求めた対数值、供給されたべき指数 Y、および仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの指数 X_2 を式 (6) に代入して対数 Z の値を求め、対数 Z をべき乗演算処理部 1 4 2 に供給する。べき乗演算処理部 1 4 2 に対数 Z が供給されると、対数演算処理は終了し、処理は図 1 3 のステップ S 7 2 に進む。

【 0 2 6 3 】

このようにして対数演算処理部 1 4 1 は、演算装置を利用して対数 Z を求める。これにより、仮数の対数テーブルが不要となり、対数演算処理部 1 4 1 の小型化を図ることができる。

【 0 2 6 4 】

また、図 1 4 では、対数演算処理部 1 4 1 が演算装置を利用して演算を行う例について説明したが、仮数の対数テーブルが利用されて対数 Z が求められるようにしてもよい。そのような場合、対数演算処理部 1 4 1 は、例えば図 1 6 に示すように構成される。なお、図 1 6 において、図 5 における場合と対応する部分には、同一の符号を付してあり、その説明は適宜、省略する。

【 0 2 6 5 】

図 1 6 の対数演算処理部 1 4 1 は、仮数 / 指数分離部 1 0 1、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2、および対数演算部 2 0 1 から構成される。また、対数演算処理部 1 4 1 では、仮数 / 指数分離部 1 0 1 に入力値 X が供給され、対数演算部 2 0 1 にべき指数 Y が供給される。

【 0 2 6 6 】

対数演算部 2 0 1 は、供給されたべき指数 Y と、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの仮数 X_1 および指数 X_2 とを用いて、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2 の仮数の対数テーブルを参照しながら対数 Z を求め、求めた対数 Z を図 1 2 のべき乗演算処理部 1 4 2 に供給する。

【 0 2 6 7 】

次に、図 1 7 のフローチャートを参照して、図 1 3 のステップ S 7 1 の処理に対応する処理である対数演算処理について説明する。

【 0 2 6 8 】

なお、ステップ S 1 2 1 およびステップ S 1 2 2 の処理は、図 6 のステップ S 4 1 およびステップ S 4 3 の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【 0 2 6 9 】

但し、ステップ S 1 2 1 において、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2 は、仮数の対数テーブルのテーブルサイズを $2^N = \text{SIZE}$ として、上述した式 (2 1) に示されるテーブル値 $\log\text{table}[i]$ からなる仮数の対数テーブルを生成する。したがって、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} - 1)$ とされる。

【 0 2 7 0 】

仮数の対数テーブルが生成され、入力値 X の仮数 X_1 および指数 X_2 が求められると、ス

10

20

30

40

50

ステップ S 1 2 3 において、対数演算部 2 0 1 は、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの仮数 X_1 を用いて、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2 の仮数の対数テーブルを利用し、入力値 X の仮数部分の対数値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) を求める。

【 0 2 7 1 】

すなわち、対数演算部 2 0 1 は、仮数 X_1 を用いて式 (2 3) を計算して、仮数 X_1 の 2 2 ビット目から上位 N ビットの値をインデックス index1 として求め、そのインデックス index1 を用いて式 (5 3) により、入力値 X の仮数部分の対数値を求める。

【 0 2 7 2 】

【 数 5 3 】

$$\log_2(1+X_1/2^{23}) = \text{logtable}[\text{index1}] \quad \dots (53)$$

10

【 0 2 7 3 】

具体的には、対数演算部 2 0 1 は、仮数 X_1 から抽出した上位 N ビットの値をインデックス index1 とし、インデックス index1 を変数 i の値としたテーブル値 $\text{logtable}[\text{index1}]$ を、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2 の仮数の対数テーブルから取得する。そして、この取得されたテーブル値 $\text{logtable}[\text{index1}]$ が、入力値 X の仮数部分の対数値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) とされる。

【 0 2 7 4 】

ステップ S 1 2 4 において、対数演算部 2 0 1 は、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの指数 X_2 、供給されたべき指数 Y 、および求めた対数値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) を、式 (6) に代入して対数 Z を求め、対数 Z をべき乗演算処理部 1 4 2 に供給する。対数 Z が求められると、対数演算処理は終了し、処理は図 1 3 のステップ S 7 2 に進む。

20

【 0 2 7 5 】

このようにして、対数演算処理部 1 4 1 は、仮数の対数テーブルを利用して対数 Z を求める。

【 0 2 7 6 】

なお、仮数の対数テーブルのテーブルサイズを減らすために、仮数の対数テーブルから得られたテーブル値に対して補間処理が行われるようにしてもよい。そのような場合、対数演算処理部 1 4 1 は、例えば、図 1 8 に示すように構成される。なお、図 1 8 において、図 5 における場合と対応する部分には同一の符号を付してあり、その説明は、適宜省略する。

30

【 0 2 7 7 】

図 1 8 の対数演算処理部 1 4 1 は、仮数 / 指数分離部 1 0 1、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2、補間処理部 1 0 4、および対数演算部 2 3 1 から構成される。また、対数演算処理部 1 4 1 では、仮数 / 指数分離部 1 0 1 に入力値 X が供給され、対数演算部 2 3 1 にべき指数 Y が供給される。

【 0 2 7 8 】

仮数 / 指数分離部 1 0 1 は、供給された入力値 X の仮数 X_1 および指数 X_2 を求め、仮数 X_1 を補間処理部 1 0 4 に供給するとともに、指数 X_2 を対数演算部 2 3 1 に供給する。補間処理部 1 0 4 は、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの仮数 X_1 を用いて、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2 の仮数の対数テーブルのテーブル値に補間処理を施して、入力値 X の仮数部分の対数値を求め、対数演算部 2 3 1 に供給する。

40

【 0 2 7 9 】

対数演算部 2 3 1 は、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの指数 X_2 、供給されたべき指数 Y 、および補間処理部 1 0 4 からの対数値を用いて対数 Z を求め、図 1 2 のべき乗演算処理部 1 4 2 に供給する。

【 0 2 8 0 】

次に、図 1 9 のフローチャートを参照して、図 1 3 のステップ S 7 1 の処理に対応する処理である対数演算処理について説明する。

【 0 2 8 1 】

50

なお、ステップ S 1 5 1 乃至ステップ S 1 5 3 の処理のそれぞれは、図 6 のステップ S 4 1、ステップ S 4 3、およびステップ S 4 4 の処理のそれぞれと同様であるため、その説明は省略する。

【0282】

すなわち、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2 により、式 (2 1) に示した仮数の対数テーブルが生成され、仮数 / 指数分離部 1 0 1 により入力値 X の仮数 X_1 および指数 X_2 が求められて、仮数 X_1 が補間処理部 1 0 4 に供給されるとともに、指数 X_2 が対数演算部 2 3 1 に供給される。

【0283】

そして、補間処理部 1 0 4 により、仮数 X_1 から式 (2 3) および式 (2 4) のインデックス index1 および下位値 X_{h1} が求められ、インデックス index1 が用いられ仮数の対数テーブルからテーブル値が取得される。さらに、補間処理部 1 0 4 により、下位値 X_{h1} と、テーブル値とから線形補間、2 次の多項式補間等の補間処理が行われて、入力値 X の仮数部分の対数値の補間値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{2^3})$) が求められる。このようにして求められた補間値は、入力値 X の仮数部分の最終的な対数値として、補間処理部 1 0 4 から対数演算部 2 3 1 に供給される。

【0284】

なお、生成される仮数の対数テーブルのテーブルサイズは、補間処理部 1 0 4 により行われる補間処理に応じて定められる。例えば、補間処理として、2 次の多項式補間が行われる場合には、テーブルサイズは、 $2^N + 2 = \text{SIZE} + 2$ とされる。

【0285】

ステップ S 1 5 4 において、対数演算部 2 3 1 は、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの指数 X_2 、供給されたべき指数 Y、および補間処理部 1 0 4 からの対数値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{2^3})$) を用いて式 (6) を計算し、対数 Z を求める。そして、対数演算部 2 3 1 が、求めた対数 Z をべき乗演算処理部 1 4 2 に供給すると、対数演算処理は終了し、処理は図 1 3 のステップ S 7 2 に進む。

【0286】

このようにして、対数演算処理部 1 4 1 は、仮数の対数テーブルから取得したテーブル値を用いて補間処理を行い、補間処理により得られた対数値から、対数 Z を求める。

【0287】

また、図 1 2 の演算処理装置 1 3 1 では、対数演算処理部 1 4 1 と同様に、べき乗演算処理部 1 4 2 についても、いくつかの実現方法が考えられる。

【0288】

例えば、べき乗演算処理部 1 4 2 では、式 (7) の演算が行われて演算値 P が求められるが、式 (7) のべき乗値 ($2^{Z_{\text{amari}}}$) における小数 Z_{amari} の取り得る値の範囲は、 $0 \leq Z_{\text{amari}} < 1.0$ である。したがって、べき乗値 ($2^{Z_{\text{amari}}}$) の演算を行うための処理量はそれほど多くない。

【0289】

そこで、べき乗演算処理部 1 4 2 を、2 のべき乗の演算を行う演算装置から構成すれば、高速で演算値 P を算出する演算処理を行うことのできるべき乗演算処理部 1 4 2 を実現することができる。この場合、演算装置として、べき乗値 ($2^{Z_{\text{amari}}}$) を求める専用の演算装置を用意すれば、汎用の演算装置を用いる場合よりも、べき乗演算処理部 1 4 2 の構成を簡単な構成とすることができる。

【0290】

そのような場合、べき乗演算処理部 1 4 2 は、図 2 0 に示すように構成される。

【0291】

図 2 0 に示すべき乗演算処理部 1 4 2 は、整数 / 小数分離部 2 6 1 およびべき乗演算部 2 6 2 から構成される。また、べき乗演算処理部 1 4 2 では、対数演算処理部 1 4 1 からの対数 Z は、整数 / 小数分離部 2 6 1 に供給される。

【0292】

10

20

30

40

50

整数 / 小数分離部 261 は、対数演算処理部 141 から供給された対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求めてべき乗演算部 262 に供給する。べき乗演算部 262 は、整数 / 小数分離部 261 からの整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を用い、演算装置を利用して演算値 P を求め、図 12 の整数変換部 108 に供給する。

【0293】

次に、図 21 のフローチャートを参照して、図 13 のステップ S72 の処理に対応する処理である演算値算出処理について説明する。

【0294】

ステップ S181 において、整数 / 小数分離部 261 は、対数演算処理部 141 から供給された対数 Z から、次式 (54) および式 (55) を計算して、整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求める。

【0295】

【数 54】

$$Z_{int} = (\text{int})Z \quad \dots (54)$$

【0296】

【数 55】

$$Z_{amari} = Z - (\text{int})Z \quad \dots (55)$$

【0297】

すなわち、整数 / 小数分離部 261 は、対数 Z の整数部分を抽出して整数 Z_{int} とするとともに、対数 Z から、対数 Z の整数部分を減算して得られる値を小数 Z_{amari} とする。このようにして求められた整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} は、整数 / 小数分離部 261 からべき乗演算部 262 に供給される。

【0298】

ステップ S182 において、べき乗演算部 262 は、内蔵する演算装置を用いて、整数 / 小数分離部 261 から供給された小数 Z_{amari} から、小数 Z_{amari} をべき指数とする底「2」のべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) を求める。

【0299】

ステップ S183 において、べき乗演算部 262 は、整数 / 小数分離部 261 からの整数 Z_{int} 、および求めたべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) から演算値 P を求めて整数変換部 108 に供給する。

【0300】

すなわち、べき乗演算部 262 は、整数 / 小数分離部 261 からの整数 Z_{int} を、上述した式 (50) に代入することで、整数 Z_{int} をべき指数とする底 2 のべき乗値 ($2^{Z_{int}}$) を求める。さらに、べき乗演算部 262 は、求めたべき乗値 ($2^{Z_{int}}$) およびべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) を式 (51) に代入して演算値 P を求める。ここで、演算値 P は、浮動小数点型のデータとされる。演算値 P が求められ、整数変換部 108 に供給されると、演算値算出処理は終了し、処理は図 13 のステップ S73 に進む。

【0301】

このようにして、べき乗演算処理部 142 は、演算装置を利用して演算値 P を求める。これにより、小数のべき乗テーブルが不要となり、べき乗演算処理部 142 の小型化を図ることができる。

【0302】

また、図 20 では、べき乗演算処理部 142 が演算装置を利用して演算を行う例について説明したが、小数のべき乗テーブルが利用されて演算値 P が求められるようにしてもよい。そのような場合、べき乗演算処理部 142 は、例えば図 22 に示すように構成される。なお、図 22 において、図 5 における場合と対応する部分には、同一の符号を付してあり、その説明は適宜、省略する。

【0303】

10

20

30

40

50

図 2 2 のべき乗演算処理部 1 4 2 は、整数 / 小数分離部 1 0 6、小数のべき乗テーブル保持部 1 0 3、およびべき乗演算部 3 0 1 から構成される。また、べき乗演算処理部 1 4 2 では、対数演算処理部 1 4 1 からの対数 Z は、整数 / 小数分離部 1 0 6 に供給される。

【 0 3 0 4 】

整数 / 小数分離部 1 0 6 は、対数演算処理部 1 4 1 から供給された対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求めてべき乗演算部 3 0 1 に供給する。べき乗演算部 3 0 1 は、小数のべき乗テーブル保持部 1 0 3 の小数のべき乗テーブルを参照しながら、整数 / 小数分離部 1 0 6 からの整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を用いて、演算値 P を求め、図 1 2 の整数変換部 1 0 8 に供給する。

【 0 3 0 5 】

次に、図 2 3 のフローチャートを参照して、図 1 3 のステップ S 7 2 の処理に対応する処理である演算値算出処理について説明する。

【 0 3 0 6 】

なお、ステップ S 2 1 1 およびステップ S 2 1 2 の処理は、図 6 のステップ S 4 2 およびステップ S 4 6 の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【 0 3 0 7 】

但し、ステップ S 2 1 1 において、小数のべき乗テーブル保持部 1 0 3 は、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズを $2^N = \text{SIZE}$ として、上述した式 (2 2) に示されるテーブル値 $\text{twotable}[i]$ からなる小数のべき乗テーブルを生成する。したがって、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} - 1)$ とされる。さらに、小数のべき乗テーブルが生成され、上述した式 (3 5) および式 (3 6) により整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} が求められると、処理はステップ S 2 1 2 からステップ S 2 1 3 に進む。

【 0 3 0 8 】

ステップ S 2 1 3 において、べき乗演算部 3 0 1 は、整数 / 小数分離部 1 0 6 からの小数 Z_{amari} を用いて、小数のべき乗テーブル保持部 1 0 3 の小数のべき乗テーブルを利用し、小数 Z_{amari} をべき指数とする底 2 のべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) を求める。

【 0 3 0 9 】

すなわち、べき乗演算部 3 0 1 は、小数 Z_{amari} を用いて式 (3 7) および式 (3 8) を計算し、小数 Z_{amari} の 2 2 ビット目から上位 N ビットの値をインデックス index2 として求める。さらに、べき乗演算部 3 0 1 は、そのインデックス index2 を用いて次式 (5 6) により、べき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) を求める。

【 0 3 1 0 】

【 数 5 6 】

$$2^{Z_{amari}} = \text{twotable}[\text{index2}] \quad \dots (56)$$

【 0 3 1 1 】

具体的には、べき乗演算部 3 0 1 は、小数 Z_{amari} から抽出した上位 N ビットの値をインデックス index2 とし、インデックス index2 を変数 i の値としたテーブル値 $\text{twotable}[\text{index2}]$ を、小数のべき乗テーブル保持部 1 0 3 の小数のべき乗テーブルから取得する。そして、この取得されたテーブル値 $\text{twotable}[\text{index2}]$ が、べき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) とされる。

【 0 3 1 2 】

ステップ S 2 1 4 において、べき乗演算部 3 0 1 は、整数 / 小数分離部 1 0 6 からの整数 Z_{int} 、および求めたべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) から演算値 P を求める。

【 0 3 1 3 】

すなわち、べき乗演算部 3 0 1 は、整数 / 小数分離部 1 0 6 からの整数 Z_{int} から、上述した式 (5 0) を計算することにより、べき乗値 ($2^{Z_{int}}$) を求める。さらに、べき乗演算部 3 0 1 は、求めたべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) およびべき乗値 ($2^{Z_{int}}$) を式 (5 1) に代入して、演算値 P を求め、整数変換部 1 0 8 に供給する。演算値 P が求められると、演算値算出処理は終了し、処理は図 1 3 のステップ S 7 3 に進む。

【 0 3 1 4 】

このようにして、べき乗演算処理部 1 4 2 は、小数のべき乗テーブルを利用して演算値 P を求める。

【 0 3 1 5 】

なお、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズを減らすために、小数のべき乗テーブルから得られたテーブル値に対して補間処理が行われるようにしてもよい。そのような場合、べき乗演算処理部 1 4 2 は、例えば、図 2 4 に示すように構成される。なお、図 2 4 において、図 5 における場合と対応する部分には同一の符号を付してあり、その説明は、適宜省略する。

【 0 3 1 6 】

10

図 2 4 のべき乗演算処理部 1 4 2 は、小数のべき乗テーブル保持部 1 0 3、補間処理部 1 0 4、整数 / 小数分離部 1 0 6、およびべき乗演算部 1 0 7 から構成される。また、べき乗演算処理部 1 4 2 では、対数演算処理部 1 4 1 からの対数 Z は、整数 / 小数分離部 1 0 6 に供給される。

【 0 3 1 7 】

整数 / 小数分離部 1 0 6 は、対数演算処理部 1 4 1 から供給された対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求め、小数 Z_{amari} を補間処理部 1 0 4 に供給するとともに、整数 Z_{int} をべき乗演算部 1 0 7 に供給する。べき乗演算部 1 0 7 は、整数 / 小数分離部 1 0 6 からの整数 Z_{int} と、補間処理部 1 0 4 からのべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) とから演算値 P を求め、図 12 の整数変換部 1 0 8 に供給する。

20

【 0 3 1 8 】

次に、図 2 5 のフローチャートを参照して、図 1 3 のステップ S 7 2 の処理に対応する処理である演算値算出処理について説明する。

【 0 3 1 9 】

なお、ステップ S 2 4 1 乃至ステップ S 2 4 3 の処理のそれぞれは、図 6 のステップ S 4 2、ステップ S 4 6、およびステップ S 4 7 の処理のそれぞれと同様であるため、その説明は省略する。

【 0 3 2 0 】

すなわち、小数のべき乗テーブル保持部 1 0 3 により、例えば式 (2 2) に示した小数のべき乗テーブルが生成され、整数 / 小数分離部 1 0 6 により、対数演算処理部 1 4 1 からの対数 Z から、式 (3 5) および式 (3 6) が計算されて整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} が求められる。そして、整数 Z_{int} は整数 / 小数分離部 1 0 6 からべき乗演算部 1 0 7 に供給され、小数 Z_{amari} は、整数 / 小数分離部 1 0 6 から補間処理部 1 0 4 に供給される。

30

【 0 3 2 1 】

さらに、補間処理部 1 0 4 により、小数 Z_{amari} から式 (3 7) 乃至式 (3 9) が計算されて、インデックス index2 および下位値 X_{h2} が求められ、インデックス index2 が用いられて小数のべき乗テーブルからテーブル値が取得される。その後、補間処理部 1 0 4 により、下位値 X_{h2} と、テーブル値とから線形補間、2 次の多項式補間等の補間処理が行われて、小数 Z_{amari} をべき指数とする 2 のべき乗値の補間値 ($2^{Z_{amari}}$) が求められる。求められた補間値は、最終的なべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) とされて補間処理部 1 0 4 からべき乗演算部 1 0 7 に供給される。

40

【 0 3 2 2 】

ステップ S 2 4 4 において、べき乗演算部 1 0 7 は、整数 / 小数分離部 1 0 6 からの整数 Z_{int} 、および補間処理部 1 0 4 からのべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) から演算値 P を求める。

【 0 3 2 3 】

すなわち、べき乗演算部 1 0 7 は、整数 / 小数分離部 1 0 6 からの整数 Z_{int} から、上述した式 (5 0) を計算することにより、べき乗値 ($2^{Z_{int}}$) を求める。さらに、べき乗演算部 1 0 7 は、補間処理部 1 0 4 からのべき乗値 ($2^{Z_{amari}}$) およびべき乗値

50

($2^{Z_{int}}$)を式(51)に代入して、演算値Pを求め、整数変換部108に供給する。演算値Pが求められると、演算値算出処理は終了し、処理は図13のステップS73に進む。

【0324】

このようにして、べき乗演算処理部142は、小数のべき乗テーブルから取得したテーブル値を用いて補間処理を行い、補間処理により得られたべき乗値から演算値Pを求める。

【0325】

[第3の実施の形態]

ところで、以上においては、演算値Pを整数化する場合に、演算値Pに定数 α を加算してから整数化が行われると説明した。例えば、式(1)に示したように、オーディオ信号の量子化などの多くの規格等においては、べき指数Yの値が決められていることが多いので、定数 α を演算値Pに加算するのではなく、予め入力値Xに $\alpha^{1/Y}$ を加算しておくことで、簡単な演算で演算値の整数部分を得ることができるようになる。

【0326】

すなわち、これまでの入力値(上述した入力値X)をX'とすると、X'に $\alpha^{1/Y}$ が加算された値を新たな入力値 $X = X' + \alpha^{1/Y}$ としてべき乗演算に用いることにする。例えば、式(1)に示したオーディオ信号の量子化の場合には、入力値 $X = X' + \alpha^{4/3}$ とされる。

【0327】

このように、定数 α の $1/Y$ 乗の値が変数X'に加算されて入力値Xとされる場合、演算処理装置は、図26に示すように構成される。なお、図26において、図5における場合と対応する部分には同一の符号を付してあり、その説明は適宜、省略する。

【0328】

演算処理装置331は、仮数/指数分離部101、仮数の対数テーブル保持部341、小数のべき乗テーブル保持部342、対数演算部343、整数/小数分離部344、およびべき乗整数変換部345から構成される。

【0329】

演算処理装置331では、仮数/指数分離部101に、入力値 $X = X' + \alpha^{1/Y}$ が供給され、対数演算部343にべき指数Yが供給される。すなわち、演算処理装置331は、変数X'に定数 $\alpha^{1/Y}$ を加算して入力値Xとし、その入力値Xを仮数/指数分離部101に供給する。

【0330】

仮数の対数テーブル保持部341および小数のべき乗テーブル保持部342は、仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルを保持しており、インデックスindex1およびインデックスindex2により特定されるテーブル値を、対数演算部343およびべき乗整数変換部345に供給する。

【0331】

対数演算部343は、仮数/指数分離部101から供給された、入力値Xの仮数 X_1 および指数 X_2 を用いて式(6)により、対数Zを求め、整数/小数分離部344に供給する。その際、対数演算部343は、仮数の対数テーブル保持部341から、仮数 X_1 から得られるインデックスindex1により特定されるテーブル値を、入力値Xの仮数部分の対数値($\log_2(1 + X_1 / 2^{23})$)として取得する。

【0332】

整数/小数分離部344は、対数演算部343からの対数Zを、整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} に分離し、べき乗整数変換部345に供給する。べき乗整数変換部345は、小数のべき乗テーブル保持部342の小数のべき乗テーブルを参照し、整数/小数分離部344からの整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を用いて演算値($P + \alpha$)の整数部分を求め、出力する。ここで、演算値($P + \alpha$)は、演算値 $P = X'^Y$ に定数 α が加算された値、つまり演算値($P + \alpha$) = X^Y であり、整数化の対象となる値である。

【 0 3 3 3 】

次に、図 2 7 のフローチャートを参照して、演算処理装置 3 3 1 によるべき乗演算処理について説明する。

【 0 3 3 4 】

ステップ S 2 7 1 において、仮数の対数テーブル保持部 3 4 1 は、仮数の対数テーブルを生成する。すなわち、仮数の対数テーブル保持部 3 4 1 は、仮数の対数テーブルのテーブルサイズを $2^N = \text{SIZE}$ とすると、次式 (5 7) に示される、仮数 X_1 の値に対する、2 を底とする入力値 X の仮数部分の対数値であるテーブル値 $\text{logtable}[i]$ からなる仮数の対数テーブルを生成する。

【 0 3 3 5 】

10

【 数 5 7 】

$$\text{logtable}[i] = \log_2(1+i/\text{SIZE}), i=0, \dots, \text{SIZE}-1 \quad \dots (57)$$

【 0 3 3 6 】

ここで、テーブル値 $\text{logtable}[i]$ の変数 i は、仮数 X_1 から求まるインデックス index1 の値を示しており、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} - 1)$ とされる。仮数の対数テーブル保持部 3 4 1 は、 (SIZE) 個の各変数の値 i のそれぞれに対する、テーブル値 $\text{logtable}[i]$ のそれぞれを求めると、それらの値 i とテーブル値 $\text{logtable}[i]$ とを対応付けて仮数の対数テーブルを生成し、保持する。

【 0 3 3 7 】

20

ステップ S 2 7 2 において、小数のべき乗テーブル保持部 3 4 2 は、小数のべき乗テーブルを生成する。すなわち、小数のべき乗テーブル保持部 3 4 2 は、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズを $2^N = \text{SIZE}$ とすると、次式 (5 8) に示されるテーブル値 $\text{twotable}[i]$ からなる小数のべき乗テーブルを生成する。

【 0 3 3 8 】

【 数 5 8 】

$$\text{twotable}[i] = (\text{int})\left(2^{(i/\text{SIZE})} \times 2^{23}\right), i=0, \dots, \text{SIZE}-1 \quad \dots (58)$$

30

【 0 3 3 9 】

ここで、テーブル値 $\text{twotable}[i]$ の変数 i は、小数 Z_{amari} から求まり、テーブル値 $\text{twotable}[i]$ を特定するために用いられるインデックス index2 の値を示しており、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} - 1)$ とされる。

【 0 3 4 0 】

インデックス index2 を、小数 Z_{amari} の上位何ビットかの値とすれば、式 (5 8) における $2^{(i/\text{SIZE})}$ は、小数 Z_{amari} の値をべき指数とし、底を 2 とするべき乗値 $2^{Z_{\text{amari}}}$ の近似値となる。さらに、式 (5 8) では、近似値 $2^{(i/\text{SIZE})}$ に 2^{23} が乗算されて整数化され、近似値が固定小数点化されている。つまり、テーブル値 $\text{twotable}[i]$ は、小数点位置が 2 3 ビット目にある固定小数点数 (固定小数点型の 2 進数のデータ) とされる。

40

【 0 3 4 1 】

小数のべき乗テーブル保持部 3 4 2 は、 (SIZE) 個の各変数の値 i のそれぞれに対する、テーブル値 $\text{twotable}[i]$ のそれぞれを求めると、それらの値 i とテーブル値 $\text{twotable}[i]$ とを対応付けて小数のべき乗テーブルを生成し、保持する。

【 0 3 4 2 】

なお、仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルを生成する処理は、入力値 X のべき乗演算前に 1 度行っておけばよい。つまり、1 度これらのテーブルを生成しておけば、その後、入力値 X のべき乗演算を行うときは、既に生成されて保持されている仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルを用いればよい。

【 0 3 4 3 】

50

ステップ S 2 7 3 において、仮数 / 指数分離部 1 0 1 は、供給された入力値 X の仮数 X_1 および指数 X_2 を求めて対数演算部 3 4 3 に供給する。

【 0 3 4 4 】

ステップ S 2 7 4 において、対数演算部 3 4 3 は、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの仮数 X_1 および指数 X_2 を用いて式 (6) により、2 を底とする演算値 ($P + \alpha$) の対数 Z を求め、整数 / 小数分離部 3 4 4 に供給する。なお、この場合、式 (6) における演算値 P が、演算値 ($P + \alpha$) とされる。

【 0 3 4 5 】

例えば、対数演算部 3 4 3 は、仮数 X_1 を用いて式 (2 3) を計算して、仮数 X_1 の 2 2 ビット目から上位 N ビットの値をインデックス index1 として求め、そのインデックス index1 を用いて式 (5 3) により、入力値 X の仮数部分の対数値を求める。 10

【 0 3 4 6 】

具体的には、対数演算部 3 4 3 は、仮数 X_1 から抽出した上位 N ビットの値をインデックス index1 とし、インデックス index1 を変数 i の値としたテーブル値 logtable[index1] を、仮数の対数テーブル保持部 3 4 1 の仮数の対数テーブルから取得する。そして、この取得されたテーブル値 logtable[index1] が、入力値 X の仮数部分の対数値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) とされる。

【 0 3 4 7 】

さらに、対数演算部 3 4 3 は、供給されたべき指数 Y、仮数 / 指数分離部 1 0 1 からの指数 X_2 、および取得した対数値 ($\log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) から、対数 $Z = Y (X_2 + \log_2 (1 + X_1 / 2^{23})$) を計算し、対数 Z を得る。 20

【 0 3 4 8 】

ステップ S 2 7 5 において、整数 / 小数分離部 3 4 4 は、対数演算部 3 4 3 から供給された対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求めてべき乗整数変換部 3 4 5 に供給する。

【 0 3 4 9 】

例えば、整数 / 小数分離部 3 4 4 は、対数 Z を用いて次式 (5 9) を計算することにより、対数 Z の整数 Z_{int} を求める。

【 0 3 5 0 】

【 数 5 9 】

$$Z_{int} = \begin{cases} (\text{int})Z & Z \geq 0 \\ -2 & Z < 0 \end{cases} \quad \dots (59) \quad 30$$

【 0 3 5 1 】

すなわち、対数 Z が 0 以上である場合には、その対数 Z の整数部分が抽出されて整数 Z_{int} とされ、対数 Z が 0 未満である場合には、負の値「 - 2 」が整数 Z_{int} とされる。

【 0 3 5 2 】

また、整数 / 小数分離部 3 4 4 は、対数 Z を用いて次式 (6 0) により小数 Z_{amari} を求める。

【 0 3 5 3 】

【 数 6 0 】

$$Z_{amari} = (\text{int})((Z - (\text{int})Z) \times 2^{23}) \quad \dots (60) \quad 40$$

【 0 3 5 4 】

式 (6 0) では、対数 Z から、その対数 Z の整数部分が減算されて得られる値 (差分) に、さらに 2^{23} が乗算された値の整数部分が小数 Z_{amari} とされる。つまり、対数 Z と対数 Z の整数部分との差分を求めることで、対数 Z の小数部分の値が求まる。そして、その小数部分の値に 2^{23} を乗算して、その結果得られる値の整数部分を抽出することで、対数 Z の小数部分が、小数点が 2 3 ビット目に位置する固定小数点数 (固定小数点型の 2 進数のデータ) に変換される。 50

【 0 3 5 5 】

ステップ S 2 7 6 において、べき乗整数変換部 3 4 5 は、整数 / 小数分離部 3 4 4 からの整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を用いて、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めて出力する。

【 0 3 5 6 】

すなわち、べき乗整数変換部 3 4 5 は、小数 Z_{amari} を用いて式 (3 7) および式 (3 8) を計算し、小数 Z_{amari} の 2 2 ビット目から上位 N ビットの値をインデックス index2 として求める。さらに、べき乗整数変換部 3 4 5 は、そのインデックス index2 を用いて式 (5 6) により、べき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ を求める。

【 0 3 5 7 】

具体的には、べき乗整数変換部 3 4 5 は、小数 Z_{amari} から抽出した上位 N ビットの値をインデックス index2 とし、インデックス index2 を変数 i の値としたテーブル値 twotable[index2] を、小数のべき乗テーブル保持部 3 4 2 の小数のべき乗テーブルから取得する。そして、この取得されたテーブル値 twotable[index2] が、べき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ とされる。

【 0 3 5 8 】

そして、べき乗整数変換部 3 4 5 は、求めたべき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ と、整数 / 小数分離部 3 4 4 からの整数 Z_{int} とから、次式 (6 1) を計算して、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求める。

【 0 3 5 9 】

【 数 6 1 】

$$(int)(P + \alpha) = 2^{Z_{amari}} \gg (23 - Z_{int}) \quad \dots (61)$$

【 0 3 6 0 】

ここで、式 (6 1) において、「 $\gg$ 」は右シフトを示している。べき乗整数変換部 3 4 5 は、べき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ を $(23 - Z_{int})$ ビットだけ右シフトさせて、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分の値 $(int)(P + \alpha)$ を得る。

【 0 3 6 1 】

なお、 $(23 - Z_{int})$ ビットの右シフトを行うのは、次のような理由からである。すなわち、テーブル引きにより求められたべき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ は、小数点位置が 2 3 ビット目の位置にある固定小数点型のデータである。また、演算値 $(P + \alpha)$ を、底 (基数) を用いずに (通常的小数で) 表現するには、べき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ の値の小数点位置を、 Z_{int} だけ下位ビット側に移動 (左シフト演算) させればよい。

【 0 3 6 2 】

したがって、べき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ の値を $(23 - Z_{int})$ ビットだけ右シフトすれば、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分の値が得られる。

【 0 3 6 3 】

また、対数 Z が負である場合、演算値 $(P + \alpha)$ は $0 < P + \alpha < 1$ となるので、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部をとると 0 となる。

【 0 3 6 4 】

このように、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めるために右シフト演算が行われ、またべき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ の最大値が 2 となることを考慮すると、整数 Z_{int} は、- 2 よりも大きい値とされる必要がある。そのため、上述した式 (5 9) の整数 Z_{int} を求める計算では、対数 Z が 0 未満 (負) である場合には、整数 $Z_{int} = - 2$ とされる。

【 0 3 6 5 】

このようにして、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分が求められると、べき乗整数変換部 3 4 5 は、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分、つまり整数化された演算値 $(P + \alpha)$ を出力し、べき乗演算処理は終了する。

【 0 3 6 6 】

以上のようにして、演算処理装置 3 3 1 は、値 X' に定数 $\alpha^{1/Y}$ が加算された値を新た

10

20

30

40

50

な入力値 X とし、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部を求める。

【0367】

このように、値 X' に $\alpha^{1/Y}$ が加算された値を新たな入力値 X として、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めることにより、より簡単かつ迅速に演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分の値を求めることができる。すなわち、一旦、演算値 P を求めてから、さらに演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求める必要がなく、べき乗値 $(2^{\wedge} Z_{\text{amari}})$ および整数 Z_{int} から、直接、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めることができる。これにより、図5の整数変換部108に相当する処理ブロックが不要となり、演算処理装置331の小型化も図ることができる。

【0368】

なお、以上においては、仮数のべき乗テーブルと小数のべき乗テーブルのテーブルサイズが同じである例について説明したが、それらのテーブルサイズは、べき乗演算の必要な精度に応じて異なる大きさとされてもよい。また、入力値 X を M 進数で表現し、底 M の対数（対数 Z ）と、底 M のべき乗とから演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めるようにしてもよい。

【0369】

[第4の実施の形態]

ところで、上述した第3の実施の形態の演算処理装置331では、仮数の対数テーブルや小数のべき乗テーブルの値の補間処理が行われないため、べき乗の演算精度、つまり演算値の整数部分の演算精度を向上させるには、それらのテーブルのサイズを大きくする必要がある。

【0370】

具体的に、演算処理装置331により、仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルが用いられて算出された演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分 R と、数学ライブラリを用いた計算により得られた演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分 Q とからなる L 個のデータのセットを用いて、次式(62)を計算し、絶対誤差平均 U を求めて整数部分 R の算出精度を評価することを考える。

【0371】

【数62】

$$U = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L |R_i - Q_i| \quad \dots (62)$$

【0372】

なお、式(62)において、 R_i は、演算処理装置331により算出された整数部分 R の L 個の整数部分（サンプル）のうちの i 番目のサンプルを示しており、 Q_i は、数学ライブラリにより求められた、 R_i に対応する整数部分の値を示している。

【0373】

例えば、 $L = 8192$ として整数部分 R の算出精度の評価を行ったところ、テーブルサイズにおける N が8であるとき、すなわち $SIZE = 256$ のとき、絶対誤差平均 $U = 1.78 \times 10^{-1}$ となり、それほど高い精度は得られなかった。また、テーブルサイズにおける N が16であるとき、すなわち $SIZE = 65536$ のとき、絶対誤差平均 $U = 1.56 \times 10^{-2}$ となり、 $N = 8$ の場合よりも高い精度が得られた。

【0374】

このような絶対誤差平均 U による評価の結果からも分かるように、演算処理装置331においては、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分の演算精度を向上させるには、仮数の対数テーブルや小数のべき乗テーブルのサイズを大きくする必要がある。

【0375】

そこで、入力値 $X = X' + \alpha^{1/Y}$ とし、仮数の対数テーブルおよび小数のべき乗テーブルの値の補間処理を行うようにすることで、より簡単に演算値を整数化するとともに、整数化の演算精度を向上させる。

10

20

30

40

50

【 0 3 7 6 】

そのような場合、演算処理装置は、例えば図 2 8 に示すように構成される。なお、図 2 8 において、図 5、または図 2 6 における場合と対応する部分には、同一の符号を付してあり、その説明は適宜、省略する。

【 0 3 7 7 】

演算処理装置 3 7 1 は、仮数 / 指数分離部 1 0 1、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2、補間処理部 1 0 4、対数演算部 1 0 5、小数のべき乗テーブル保持部 3 4 2、整数 / 小数分離部 3 8 1、およびべき乗整数変換部 3 8 2 から構成される。

【 0 3 7 8 】

演算処理装置 3 7 1 では、入力値 $X = X' + \alpha^{1/Y}$ が仮数 / 指数分離部 1 0 1 に供給され、べき指数 Y が対数演算部 1 0 5 に供給される。

10

【 0 3 7 9 】

整数 / 小数分離部 3 8 1 は、対数演算部 1 0 5 から供給された対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求めて、整数 Z_{int} をべき乗整数変換部 3 8 2 に供給するとともに、小数 Z_{amari} を補間処理部 1 0 4 に供給する。

【 0 3 8 0 】

べき乗整数変換部 3 8 2 は、補間処理部 1 0 4 から供給された、小数 Z_{amari} をべき指数とする 2 のべき乗値と、整数 / 小数分離部 3 8 1 からの整数 Z_{int} とを用いて、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求め、出力する。ここで、演算値 $(P + \alpha)$ は、演算値 $P = X'^Y$ に定数 α が加算された値、つまり演算値 $(P + \alpha) = X^Y$ である。

20

【 0 3 8 1 】

次に、図 2 9 のフローチャートを参照して、演算処理装置 3 7 1 によるべき乗演算処理について説明する。

【 0 3 8 2 】

なお、ステップ S 3 0 1 の処理は、図 6 のステップ S 4 1 の処理と同様であるため、その説明は省略する。すなわち、例えば、仮数の対数テーブル保持部 1 0 2 により、式 (2 1) に示したテーブル値 $\logtable[i]$ からなる仮数の対数テーブルが生成される。

【 0 3 8 3 】

ステップ S 3 0 2 において、小数のべき乗テーブル保持部 3 4 2 は、小数のべき乗テーブルを生成する。例えば、補間処理部 1 0 4 により補間処理として 2 次の多項式補間が行われる場合、小数のべき乗テーブル保持部 3 4 2 は、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズを $2^N + 2 = \text{SIZE} + 2$ とする。そして、小数のべき乗テーブル保持部 3 4 2 は、上述した式 (5 8) に示されるテーブル値 $twotable[i]$ からなる小数のべき乗テーブルを生成する。この場合、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} + 1)$ とされる。

30

【 0 3 8 4 】

小数のべき乗テーブル保持部 3 4 2 は、 $(\text{SIZE} + 2)$ 個の各変数の値 i のそれぞれに対するテーブル値 $twotable[i]$ のそれぞれを求めると、それらの値 i とテーブル値 $twotable[i]$ とを対応付けて小数のべき乗テーブルを生成し、保持する。

【 0 3 8 5 】

なお、補間処理として、補間処理部 1 0 4 により線形補間が行われる場合には、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズは $2^N + 1 = \text{SIZE} + 1$ とされ、式 (5 8) のテーブル値 $twotable[i]$ からなる小数のべき乗テーブルが生成される。

40

【 0 3 8 6 】

その後、ステップ S 3 0 3 およびステップ S 3 0 4 の処理が行われるが、それらの処理は、図 6 のステップ S 4 3 およびステップ S 4 4 の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【 0 3 8 7 】

すなわち、仮数 / 指数分離部 1 0 1 により求められた入力値 X の仮数 X_1 が補間処理部 1 0 4 に供給され、指数 X_2 が対数演算部 1 0 5 に供給される。そして、補間処理部 1 0 4 により、仮数 X_1 から式 (2 3) および式 (2 4) のインデックス $index1$ および下位値

50

X_{h1} が求められ、インデックスindex1が用いられて仮数の対数テーブル保持部102の仮数の対数テーブルからテーブル値が取得される。

【0388】

さらに、補間処理部104により、下位値 X_{h1} と、テーブル値とから線形補間、2次の多項式補間等の補間処理が行われて、入力値 X の仮数部分の対数値の補間値($\log_2(1 + X_1 / 2^{23})$)が求められる。このようにして求められた補間値は、最終的な入力値 X の仮数部分の対数値として、補間処理部104から対数演算部105に供給される。

【0389】

ステップS305において、対数演算部105は、仮数/指数分離部101からの指数 X_2 、供給されたべき指数 Y 、および補間処理部104からの対数値を用いて式(6)の演算を行い、2を底とする演算値($P + \alpha$)の対数 Z を求め、整数/小数分離部381に供給する。なお、この場合、式(6)における演算値 P が、演算値($P + \alpha$)とされる。

10

【0390】

ステップS306において、整数/小数分離部381は、対数演算部105からの対数 Z を用いて、式(59)および式(60)から対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求める。整数/小数分離部381は、求めた整数 Z_{int} をべき乗整数変換部382に供給するとともに、小数 Z_{amari} を補間処理部104に供給する。

【0391】

小数 Z_{amari} が補間処理部104に供給されると、ステップS307の処理が行われて、補間処理により、小数 Z_{amari} をべき指数とする2のべき乗値の補間値が求められるが、ステップS307の処理は、図6のステップS47の処理と同様であるため、その説明は省略する。

20

【0392】

すなわち、補間処理部104により、小数 Z_{amari} から式(37)乃至式(39)が計算されて、インデックスindex2および下位値 X_{h2} が求められる。そして、補間処理部104により、インデックスindex2が用いられて、小数のべき乗テーブル保持部342の小数のべき乗テーブルからテーブル値が取得される。その後、補間処理部104により、下位値 X_{h2} と、テーブル値とから線形補間、2次の多項式補間等の補間処理が行われて、小数 Z_{amari} をべき指数とする2のべき乗値の補間値($2^{Z_{amari}}$)が求められる。求められた補間値は、最終的なべき乗値($2^{Z_{amari}}$)として、補間処理部104からべき乗整数変換部382に供給される。

30

【0393】

ステップS308において、べき乗整数変換部382は、整数/小数分離部381からの整数 Z_{int} と、補間処理部104からのべき乗値($2^{Z_{amari}}$)とから、式(61)を計算して、演算値($P + \alpha$)の整数部分を求める。

【0394】

このようにして、演算値($P + \alpha$)の整数部分が求められると、べき乗整数変換部382は、演算値($P + \alpha$)の整数部分、つまり整数化された演算値($P + \alpha$)を出力し、べき乗演算処理は終了する。

【0395】

40

以上のように、仮数の対数テーブルの値と、小数のべき乗テーブルの値とに補間処理を施すことで、それらのテーブルのテーブルサイズを増やさずに、簡単に演算値($P + \alpha$)の整数部分を求める演算の精度を向上させることができる。

【0396】

具体的には、上述した式(62)を計算して求まる絶対誤差平均 U により、本出願人が演算処理装置371によって算出された演算値($P + \alpha$)の整数部分 R の算出精度の評価を行ったところ、図30に示す評価結果が得られた。

【0397】

図30には、仮数の対数テーブルの値、および小数のべき乗テーブルの値に、それぞれ補間処理を加えた場合と、加えない場合との組み合わせについて、仮数の対数テーブルお

50

よび小数のべき乗テーブルのテーブルサイズにおける N を 8 とし、すなわち $SIZE = 256$ としたときの絶対誤差平均 U が示されている。

【0398】

文字「べき乗：補間なし」は、小数のべき乗テーブルの値を補間処理せずに整数部分 R の算出に用いたことを示している。文字「べき乗：線形補間」および「べき乗：2次補間」は、小数のべき乗テーブルの値に線形補間および2次の多項式補間を行って得られた値を、整数部分 R の算出に用いたことを示している。

【0399】

同様に、文字「対数：補間なし」は、仮数の対数テーブルの値を補間処理せずに整数部分 R の算出に用いたことを示している。文字「対数：線形補間」および「対数：2次補間」は、仮数の対数テーブルの値に線形補間および2次の多項式補間を行って得られた値を、整数部分 R の算出に用いたことを示している。

10

【0400】

図30では、仮数の対数テーブルの値、または小数のべき乗テーブルの値の少なくとも何れか一方に補間処理を施すことで、べき乗（より詳細にはべき乗の整数部分）の演算精度が改善されることが分かる。例えば、仮数の対数テーブルの値および小数のべき乗テーブルの値の両方に線形補間を施すと $U = 8.06 \times 10^{-3}$ となり、仮数の対数テーブルの値および小数のべき乗テーブルの値の両方に2次の多項式補間を施すと $U = 2.44 \times 10^{-3}$ となっている。

【0401】

20

このように、両方のテーブル値に、線形補間または2次の多項式補間を施したときの絶対誤差平均は、従来の量子化装置51において、 $N = 16$ のとき、つまりテーブルサイズ $SIZE = 65536$ としたときの絶対誤差平均と比べて小さくなることが確認されており、演算精度が改善されていることが分かる。すなわち、より小さいテーブルサイズで、より高い演算精度が得られる。

【0402】

なお、演算処理装置371では、仮数の対数テーブルの値と、小数のべき乗テーブルの値との両方に補間処理を施すと説明したが、補間処理の処理量と必要となる演算精度に応じて、どちらか一方の値に補間処理が施されるようにしてもよいし、それぞれ異なる補間処理が施されるようにしてもよい。

30

【0403】

[第5の実施の形態]

図31は、本発明を適用した演算処理装置の他の実施の形態の構成例を示すブロック図である。なお、図31において、図12と対応する部分には同一の符号を付してあり、その説明は適宜、省略する。

【0404】

演算処理装置411は、対数演算処理部141、整数/小数分離部421、およびべき乗整数変換部422から構成される。演算処理装置411では、入力値 $X = X' + \alpha^{1/Y}$ およびべき指数 Y が、対数演算処理部141に供給される。

【0405】

40

対数演算処理部141は、図12の対数演算処理部141と同様であり、例えば、図14、図16、または図18に示した構成とされる。対数演算処理部141は、入力値 X から求めた対数 Z を整数/小数分離部421に供給する。

【0406】

整数/小数分離部421は、対数演算処理部141からの対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求めて、べき乗整数変換部422に供給する。べき乗整数変換部422は、整数/小数分離部421からの整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を用いて、シフト演算により演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めて出力する。ここで、演算値 $(P + \alpha)$ は、演算値 $P = X'^Y$ に定数 α が加算された値、つまり演算値 $(P + \alpha) = X'^Y$ である。

【0407】

50

次に、図 3 2 のフローチャートを参照して、演算処理装置 4 1 1 によるべき乗演算処理について説明する。なお、ステップ S 3 3 1 の処理は、図 1 3 のステップ S 7 1 の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【0408】

ステップ S 3 3 2 において、整数 / 小数分離部 4 2 1 は、対数演算処理部 1 4 1 からの対数 Z を用いて、式 (59) および式 (60) から対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を求める。式 (60) の計算では、小数 Z_{amari} が、23 ビット目に小数点が位置するように固定小数点化される。整数 / 小数分離部 4 2 1 は、求めた整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を、べき乗整数変換部 4 2 2 に供給する。

【0409】

ステップ S 3 3 3 において、べき乗整数変換部 4 2 2 は、整数 / 小数分離部 4 2 1 からの整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を用いて演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求める。

【0410】

例えば、べき乗整数変換部 4 2 2 は、整数 / 小数分離部 4 2 1 から供給された小数 Z_{amari} を用いて、べき乗整数変換部 4 2 2 に内蔵されている演算装置により、小数 Z_{amari} をべき指数とするべき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ を求める。

【0411】

ここで、小数 Z_{amari} の取り得る値の範囲は、 $0 \leq Z_{amari} < 1.0$ であり、べき乗値の底は、予め 2 と定められている。したがって、底 2 のべき乗演算を高速で行う専用の演算装置を利用してべき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ を求めれば、汎用の演算装置を用いる場合よりも、べき乗整数変換部 4 2 2 の構成を簡単にすることができ、小型化を図ることができる。

【0412】

べき乗整数変換部 4 2 2 は、べき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ を求めると、そのべき乗値と、整数 / 小数分離部 4 2 1 からの整数 Z_{int} とから、次式 (63) を計算して、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求める。

【0413】

【数 63】

$$(int)(P + \alpha) = (int)(2^{Z_{amari}} \times 2^{23}) \gg (23 - Z_{int}) \quad \dots (63)$$

【0414】

ここで、式 (63) において、「 $\gg$ 」は右シフトを示している。べき乗整数変換部 4 2 2 は、べき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ に 2^{23} を乗算して得られる値の整数部分を求めることで、べき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ を、小数点位置が 23 ビット目にある固定小数点に変換する。そして、べき乗整数変換部 4 2 2 は、固定小数点化されたべき乗値 $(int)((2^{Z_{amari}}) \times 2^{23})$ を、 $(23 - Z_{int})$ ビットだけ右シフトさせて、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分の値 $(int)(P + \alpha)$ を得る。

【0415】

なお、 $(23 - Z_{int})$ ビットの右シフトを行うのは、上述した式 (61) における場合と同様に、べき乗値 $(int)((2^{Z_{amari}}) \times 2^{23})$ は、小数点位置が 23 ビット目の位置にある固定小数点型のデータであり、べき乗値 $(int)((2^{Z_{amari}}) \times 2^{23})$ の小数点位置を、 $(23 - Z_{int})$ ビットだけ下位ビット側に移動させると、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分が抽出されるからである。

【0416】

べき乗整数変換部 4 2 2 は、このようにして、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めると、求めた整数部分を出力し、べき乗演算処理は終了する。

【0417】

なお、演算処理装置 4 1 1 においては、演算の対象となる数値が 2 進数で表現されるため、2 を底とする対数と、2 を底とするべき乗とを求めることで、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めたが、入力値 X が M 進数で表現される場合には、底 M の対数 (対数 Z) と、

10

20

30

40

50

底 M のべき乗をペアとしても同様の演算で演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めることができる。

【0418】

また、演算処理装置 411 では、べき乗整数変換部 422 が、演算装置を利用して 2 を底とするべき乗の演算を行うと説明したが、小数のべき乗テーブルが利用されてべき乗値が求められるようにしてもよい。

【0419】

そのような場合、演算処理装置は、例えば、図 33 に示すように構成される。なお、図 33 において、図 31 または図 26 と対応する部分には、同一の符号を付してあり、その説明は、適宜、省略する。

10

【0420】

演算処理装置 451 は、小数のべき乗テーブル保持部 342、対数演算処理部 141、整数 / 小数分離部 421、およびべき乗整数変換部 345 から構成される。演算処理装置 451 では、入力値 $X = X' + \alpha^{1/Y}$ およびべき指数 Y が、対数演算処理部 141 に供給される。

【0421】

べき乗整数変換部 345 は、小数のべき乗テーブル保持部 342 の小数のべき乗テーブルを参照しながら、整数 / 小数分離部 421 からの整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を用いて、シフト演算により演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めて出力する。ここで、演算値 $(P + \alpha)$ は、演算値 $P = X'^Y$ に定数 α が加算された値、つまり演算値 $(P + \alpha) = X'^Y$ である。

20

【0422】

次に、図 34 のフローチャートを参照して、演算処理装置 451 によるべき乗演算処理について説明する。

【0423】

ステップ S361 において、小数のべき乗テーブル保持部 342 は、小数のべき乗テーブルを生成する。すなわち、小数のべき乗テーブル保持部 342 は、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズを $2^N = \text{SIZE}$ とすると、上述した式 (58) に示されるテーブル値 $\text{two_table}[i]$ からなる小数のべき乗テーブルを生成する。

【0424】

ここで、変数 i は、小数 Z_{amari} から求まるインデックス index2 の値を示しており、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} - 1)$ とされる。また、式 (58) では、近似値 $2^{(i/\text{SIZE})}$ に 2^{23} が乗算されて整数化され、近似値が固定小数点化されている。つまり、テーブル値 $\text{two_table}[i]$ は、小数点位置が 23 ビット目にある固定小数点数とされる。

30

【0425】

小数のべき乗テーブルが生成されると、その後、ステップ S362 およびステップ S363 の処理が行われるが、これらの処理は、図 32 のステップ S331 およびステップ S332 の処理と同様であるので、その説明は、省略する。

【0426】

すなわち、対数演算処理部 141 により、入力値 $X = X' + \alpha^{1/Y}$ と、べき指数 Y とから対数 Z が求められて整数 / 小数分離部 421 に供給される。また、整数 / 小数分離部 421 により、式 (59) および式 (60) から対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} が求められてべき乗整数変換部 345 に供給される。

40

【0427】

ステップ S364 において、べき乗整数変換部 345 は、整数 / 小数分離部 421 からの整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} を用いて、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めて出力し、べき乗演算処理は終了する。ここで、演算値 $(P + \alpha)$ は、演算値 $P = X'^Y$ に定数 α が加算された値、つまり演算値 $(P + \alpha) = X'^Y$ である。

【0428】

すなわち、べき乗整数変換部 345 は、小数 Z_{amari} を用いて式 (37) および式 (3

50

8) を計算し、小数 Z_{amari} の 22 ビット目から上位 N ビットの値をインデックス index2 として求める。さらに、べき乗整数変換部 345 は、そのインデックス index2 を用いて次式 (56) により、べき乗値 ($2^{\wedge} Z_{\text{amari}}$) を求める。

【0429】

具体的には、べき乗整数変換部 345 は、インデックス index2 を変数 i の値としたテーブル値 $\text{twotable}[\text{index2}]$ を、小数のべき乗テーブル保持部 342 の小数のべき乗テーブルから取得して、べき乗値 ($2^{\wedge} Z_{\text{amari}}$) とする。

【0430】

さらに、べき乗整数変換部 345 は、求めたべき乗値 ($2^{\wedge} Z_{\text{amari}}$) と、整数 / 小数分離部 421 からの整数 Z_{int} とから、式 (61) を計算して、演算値 ($P + \alpha$) の整数部分を求める。

10

【0431】

このように、演算処理装置 451 では、小数のべき乗テーブルを利用して、べき乗値 ($2^{\wedge} Z_{\text{amari}}$) を求めるので、図 31 のべき乗整数変換部 422 の場合のような演算装置を必要とせずに、べき乗値を得ることができる。

【0432】

なお、演算処理装置 451 の場合においても、入力値 X が M 進数とされ、底 M の対数および底 M のべき乗が用いられて、演算値 ($P + \alpha$) の整数部分が求められるようにしてもよい。

【0433】

20

また、演算処理装置 451 では、小数のべき乗テーブルを利用して 2 を底とするべき乗の演算を行うと説明したが、小数のべき乗テーブルのテーブル値に、さらに補間処理が施されてべき乗値が求められるようにしてもよい。

【0434】

そのような場合、演算処理装置は、例えば図 35 に示すように構成される。なお、図 35 において、図 31 または図 28 における場合と対応する部分には、同一の符号を付してあり、その説明は、適宜、省略する。

【0435】

演算処理装置 481 は、小数のべき乗テーブル保持部 491、対数演算処理部 141、整数 / 小数分離部 421、補間処理部 104、およびべき乗整数変換部 382 から構成される。また、演算処理装置 481 では、入力値 $X = X' + \alpha^{1/Y}$ およびべき指数 Y が、対数演算処理部 141 に供給される。

30

【0436】

小数のべき乗テーブル保持部 491 は、小数のべき乗テーブルを保持しており、対数 Z の小数 Z_{amari} から求まるインデックス index2 により特定されるテーブル値を、補間処理部 104 に供給する。小数のべき乗テーブル保持部 491 により保持されている小数のべき乗テーブルにおいては、テーブル値が固定小数点化された値となっている。

【0437】

補間処理部 104 は、整数 / 小数分離部 421 から供給された小数 Z_{amari} から求まるインデックス index2 を用いて、インデックス index2 の近傍のテーブル値を、小数のべき乗テーブル保持部 491 から取得する。また、補間処理部 104 は、取得したテーブル値を用いて補間処理を行って 2 を底とし、小数 Z_{amari} をべき指数とするべき乗値を求めてべき乗整数変換部 382 に供給する。

40

【0438】

べき乗整数変換部 382 は、補間処理部 104 からのべき乗値と、整数 / 小数分離部 421 からの整数 Z_{int} とから、演算値 ($P + \alpha$) の整数部分を求めて出力する。

【0439】

次に、図 36 のフローチャートを参照して、演算処理装置 481 によるべき乗演算処理について説明する。

【0440】

50

ステップ S 3 9 1 において、小数のべき乗テーブル保持部 4 9 1 は、小数のべき乗テーブルを生成する。例えば、補間処理部 1 0 4 により補間処理として 2 次の多項式補間が行われる場合、小数のべき乗テーブル保持部 4 9 1 は、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズを $2^N + 2 = \text{SIZE} + 2$ とする。そして、小数のべき乗テーブル保持部 4 9 1 は、次式 (6 4) に示されるテーブル値 $\text{twotable}[i]$ からなる小数のべき乗テーブルを生成する。

【 0 4 4 1 】

【 数 6 4 】

$$\text{twotable}[i] = (\text{int}) \left(2^{(i/\text{SIZE})} \times 2^{23} \right), i=0, \dots, \text{SIZE}+1$$

... (64)

10

【 0 4 4 2 】

ここで、テーブル値 $\text{twotable}[i]$ の変数 i は、小数 Z_{amari} から求まる、テーブル値 $\text{twotable}[i]$ を特定するために用いられるインデックス index2 の値を示しており、変数 $i = 0, \dots, (\text{SIZE} + 1)$ とされる。また、テーブルサイズ $(\text{SIZE} + 2)$ の個数だけテーブル値 $\text{twotable}[i]$ が用意されることになる。

【 0 4 4 3 】

インデックス index2 を、小数 Z_{amari} の上位何ビットかの値とすれば、式 (6 4) における $2^{(i/\text{SIZE})}$ は、小数 Z_{amari} の値をべき指数とし、2 を底とするべき乗値 $2^{Z_{\text{amari}}}$ の近似値となる。さらに、式 (6 4) では、近似値 $2^{(i/\text{SIZE})}$ に 2^{23} が乗算されて整数化され、近似値が固定小数点化されている。つまり、テーブル値 $\text{twotable}[i]$ は、小数点位置が 2 3 ビット目にある固定小数点数 (固定小数点型の 2 進数のデータ) とされる。

20

【 0 4 4 4 】

小数のべき乗テーブル保持部 4 9 1 は、 $(\text{SIZE} + 2)$ 個の各変数の値 i のそれぞれに対するテーブル値 $\text{twotable}[i]$ のそれぞれを求めると、それらの値 i とテーブル値 $\text{twotable}[i]$ とを対応付けて小数のべき乗テーブルを生成し、保持する。

【 0 4 4 5 】

なお、補間処理として、補間処理部 1 0 4 により線形補間が行われる場合には、小数のべき乗テーブルのテーブルサイズは $2^N + 1 = \text{SIZE} + 1$ とされ、式 (6 4) のテーブル値 $\text{twotable}[i]$ からなる小数のべき乗テーブルが生成される。

30

【 0 4 4 6 】

また、小数のべき乗テーブルを生成する処理は、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求める演算の前に 1 度行っておけばよい。つまり、1 度、小数のべき乗テーブルを生成しておけば、その後、整数部分を求める演算を行うときは、既に生成されて保持されている小数のべき乗テーブルを用いればよい。

【 0 4 4 7 】

小数のべき乗テーブルが求められると、その後、ステップ S 3 9 2 およびステップ S 3 9 3 の処理が行われるが、これらの処理は、図 3 2 のステップ S 3 3 1 およびステップ S 3 3 2 の処理と同様であるので、その説明は、省略する。

【 0 4 4 8 】

40

すなわち、対数演算処理部 1 4 1 により、入力値 $X = X' + \alpha^{1/Y}$ と、べき指数 Y とから対数 Z が求められて整数 / 小数分離部 4 2 1 に供給される。また、整数 / 小数分離部 4 2 1 により、式 (5 9) および式 (6 0) から対数 Z の整数 Z_{int} および小数 Z_{amari} が求められる。そして、整数 Z_{int} が整数 / 小数分離部 4 2 1 から、べき乗整数変換部 3 8 2 に供給され、小数 Z_{amari} が整数 / 小数分離部 4 2 1 から、補間処理部 1 0 4 に供給される。

【 0 4 4 9 】

ステップ S 3 9 4 において、補間処理部 1 0 4 は、整数 / 小数分離部 4 2 1 からの小数 Z_{amari} を用いて補間処理を行い、小数 Z_{amari} をべき指数とする底 2 のべき乗値の補間値を求める。

50

【0450】

すなわち、補間処理部104は、式(37)および式(38)を計算することにより、インデックス $index2$ を求める。また、補間処理部104は、式(39)を計算することにより、小数 Z_{amari} の $(22 - N)$ ビット目から0ビット目までの部分の値である下位値 X_{h2} を求める。

【0451】

このようにして、インデックス $index2$ および下位値 X_{h2} が求められると、補間処理部104は、さらに、インデックス $index2$ により特定される、小数のべき乗テーブル保持部491の小数のべき乗テーブルのテーブル値と、下位値 X_{h2} とから補間処理を行う。

【0452】

例えば、補間処理として線形補間を行う場合、補間処理部104は、式(40)および式(41)を計算してテーブル値 V_{20} およびテーブル値 V_{21} を求める。つまり、補間処理部104は、小数のべき乗テーブル保持部491からテーブル値 V_{20} およびテーブル値 V_{21} を取得する。さらに、補間処理部104は、これらの取得したテーブル値と、下位値 X_{h2} とから、式(42)乃至式(44)を計算して線形補間を行い、べき乗値の補間値 $(2^{Z_{amari}})$ を求める。

【0453】

また、例えば、補間処理として2次の多項式補間を行う場合、補間処理部104は、式(40)および式(41)と、式(45)とを計算することにより、テーブル値 V_{20} 乃至テーブル値 V_{22} を求める。さらに、補間処理部104は、これらの求められたテーブル値と、下位値 X_{h2} とから、式(46)乃至式(49)を計算することにより2次の多項式補間を行い、べき乗値の補間値 $(2^{Z_{amari}})$ を求める。

【0454】

なお、補間処理部104は、補間処理を行わない場合には、式(40)により得られるテーブル値 V_{20} を、べき乗値の補間値 $(2^{Z_{amari}})$ とする。

【0455】

このようにして求められたべき乗値の補間値 $(2^{Z_{amari}})$ は、最終的なべき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ とされて、補間処理部104からべき乗整数変換部382に供給される。

【0456】

ステップS395において、べき乗整数変換部382は、補間処理部104からのべき乗値と、整数/小数分離部421からの整数 Z_{int} とから、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めて出力し、べき乗演算処理は終了する。

【0457】

すなわち、べき乗整数変換部382は、補間処理部104からのべき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ と、整数/小数分離部421からの整数 Z_{int} とから、式(61)を計算して、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求める。

【0458】

なお、演算処理装置481の場合においても、入力値 X が M 進数とされ、底 M の対数および底 M のべき乗が用いられて、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分が求められるようにしてもよい。また、補間処理部104による補間処理は、線形補間や2次の多項式補間に限らず、3次以上の多項式補間やスプライン補間とされてもよい。

【0459】

以上のように、図31の演算処理装置411、図33の演算処理装置451、および図35の演算処理装置481によれば、入力値 $X = X' + \alpha^{1/Y}$ として演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めるようにしたので、より簡単かつ迅速に演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分の値を求めることができる。

【0460】

すなわち、一旦、演算値 P を求めてから、さらに演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求める必要がなく、べき乗値 $(2^{Z_{amari}})$ および整数 Z_{int} から、直接、演算値 $(P + \alpha)$ の整数部分を求めることができる。これにより、図5の整数変換部108に相当する処理ブ

10

20

30

40

50

ロックが不要となり、演算処理装置の小型化も図ることができる。

【0461】

また、演算処理装置411、演算処理装置451、および演算処理装置481のそれぞれにおける対数演算処理部141を、必要な演算精度と処理量とを考慮して、図14、図16、または図18の何れかの構成とすることができる。これにより、演算処理装置が、求められる演算精度に対して必要な、最小限の構成要素からなるように構成することができる。

【0462】

さらに、図5の仮数の対数テーブル保持部102のテーブル値と、図33の小数のべき乗テーブル保持部342のテーブル値、または図35の小数のべき乗テーブル保持部491のテーブル値とに、それぞれ補間処理を加えた場合と、加えない場合との組み合わせに対して、図30に示した絶対誤差平均Uが得られる。したがって、補間処理により、演算値($P + \alpha$)の整数部分を求める演算の精度を向上させることができることが分かる。

【0463】

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

【0464】

図37は、上述した一連の処理をプログラムにより実行するコンピュータのハードウェアの構成例を示すブロック図である。

【0465】

コンピュータにおいて、CPU(Central Processing Unit)601、ROM(Read Only Memory)602、RAM(Random Access Memory)603は、バス604により相互に接続されている。

【0466】

バス604には、さらに、入出力インターフェース605が接続されている。入出力インターフェース605には、キーボード、マウス、マイクロホンなどよりなる入力部606、ディスプレイ、スピーカなどよりなる出力部607、ハードディスクや不揮発性のメモリなどよりなる記録部608、ネットワークインターフェースなどよりなる通信部609、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、或いは半導体メモリなどのリムーバブルメディア611を駆動するドライブ610が接続されている。

【0467】

以上のように構成されるコンピュータでは、CPU601が、例えば、記録部608に記録されているプログラムを、入出力インターフェース605及びバス604を介して、RAM603にロードして実行することにより、上述した一連の処理が行われる。

【0468】

コンピュータ(CPU601)が実行するプログラムは、例えば、磁気ディスク(フレキシブルディスクを含む)、光ディスク(CD-ROM(Compact Disc-Read Only Memory)、DVD(Digital Versatile Disc)等)、光磁気ディスク、もしくは半導体メモリなどよりなるパッケージメディアであるリムーバブルメディア611に記録して、あるいは、ローカルエリアネットワーク、インターネット、デジタル衛星放送といった、有線または無線の伝送媒体を介して提供される。

【0469】

そして、プログラムは、リムーバブルメディア611をドライブ610に装着することにより、入出力インターフェース605を介して、記録部608にインストールすることができる。また、プログラムは、有線または無線の伝送媒体を介して、通信部609で受信し、記録部608にインストールすることができる。その他、プログラムは、ROM60

10

20

30

40

50

2や記録部608に、あらかじめインストールしておくことができる。

【0470】

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

【0471】

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

【図面の簡単な説明】

【0472】

10

【図1】従来の符号化装置の構成を示す図である。

【図2】単精度浮動小数点数を示す浮動小数点型のデータの構成を示す図である。

【図3】従来の量子化装置の構成を示す図である。

【図4】従来の量子化装置による量子化処理を説明するフローチャートである。

【図5】本発明を適用した演算処理装置の一実施の形態の構成例を示す図である。

【図6】べき乗演算処理を説明するフローチャートである。

【図7】浮動小数点型のデータにおいて、べき乗値を得るために用いられる部分を説明する図である。

【図8】線形補間を説明する図である。

【図9】2次の多項式補間を説明する図である。

20

【図10】相対誤差平均を示す図である。

【図11】相対誤差平均を示す図である。

【図12】演算処理装置の他の構成例を示す図である。

【図13】べき乗演算処理を説明するフローチャートである。

【図14】対数演算処理部の構成例を示す図である。

【図15】対数演算処理を説明するフローチャートである。

【図16】対数演算処理部の他の構成例を示す図である。

【図17】対数演算処理を説明するフローチャートである。

【図18】対数演算処理部の他の構成例を示す図である。

【図19】対数演算処理を説明するフローチャートである。

30

【図20】べき乗演算処理部の構成例を示す図である。

【図21】演算値算出処理を説明するフローチャートである。

【図22】べき乗演算処理部の他の構成例を示す図である。

【図23】演算値算出処理を説明するフローチャートである。

【図24】べき乗演算処理部の他の構成例を示す図である。

【図25】演算値算出処理を説明するフローチャートである。

【図26】演算処理装置の他の構成例を示す図である。

【図27】べき乗演算処理を説明するフローチャートである。

【図28】演算処理装置の他の構成例を示す図である。

【図29】べき乗演算処理を説明するフローチャートである。

40

【図30】絶対値誤差平均を示す図である。

【図31】演算処理装置の他の構成例を示す図である。

【図32】べき乗演算処理を説明するフローチャートである。

【図33】演算処理装置の他の構成例を示す図である。

【図34】べき乗演算処理を説明するフローチャートである。

【図35】演算処理装置の他の構成例を示す図である。

【図36】べき乗演算処理を説明するフローチャートである。

【図37】コンピュータの構成例を示す図である。

【符号の説明】

【0473】

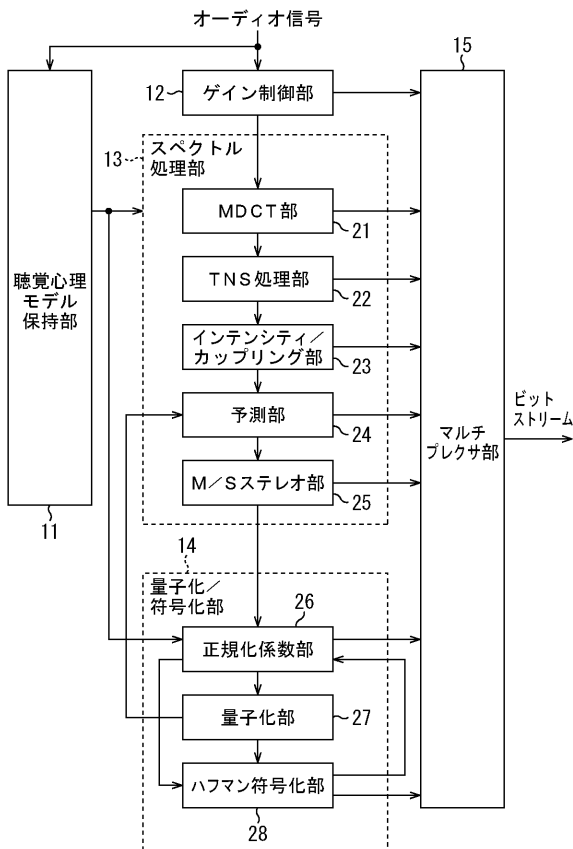
50

9 1 演算処理装置, 1 0 1 仮数 / 指数分離部, 1 0 2 仮数の対数テーブル保持部, 1 0 3 小数のべき乗テーブル保持部, 1 0 4 補間処理部, 1 0 5 対数演算部, 1 0 6 整数 / 小数分離部, 1 0 7 べき乗演算部, 1 0 8 整数変換部, 1 3 1 演算処理装置, 1 4 1 対数演算処理部, 1 4 2 べき乗演算処理部, 1 7 1 対数演算部, 2 0 1 対数演算部, 2 3 1 対数演算部, 2 6 1 整数 / 小数分離部, 2 6 2 べき乗演算部, 3 0 1 べき乗演算部, 3 3 1 演算処理装置, 3 4 1 仮数の対数テーブル保持部, 3 4 2 小数のべき乗テーブル保持部, 3 4 3 対数演算部, 3 4 4 整数 / 小数分離部, 3 4 5 べき乗整数変換部, 3 7 1 演算処理装置, 3 8 1 整数 / 小数分離部, 3 8 2 べき乗整数変換部, 4 1 1 演算処理装置, 4 2 1 整数 / 小数分離部, 4 2 2 べき乗整数変換部, 4 5 1 演算処理装置, 4 8 1 演算処理装置, 4 9 1 小数のべき乗テーブル保持部

10

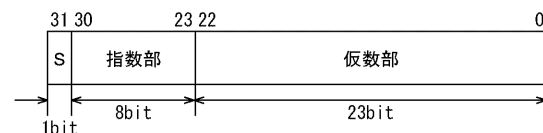
【図 1】

図1



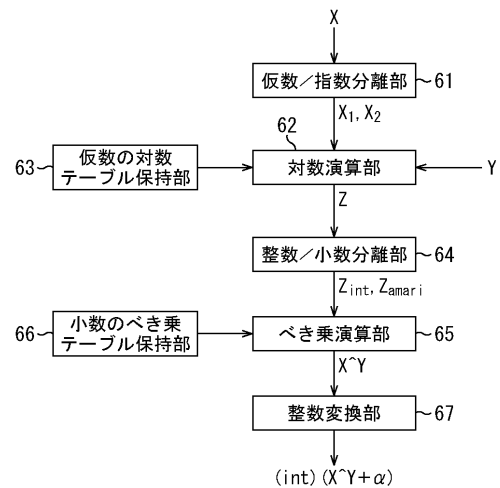
【図 2】

図2



【図 3】

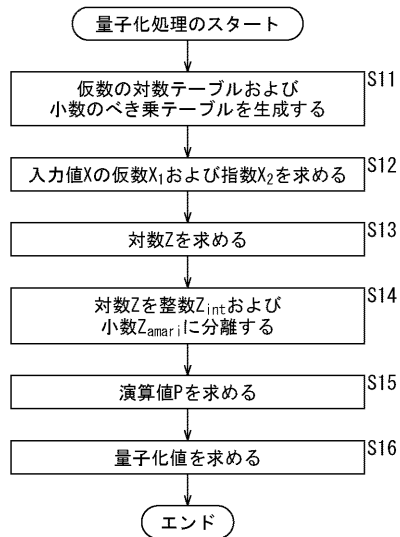
図3



51 量子化装置

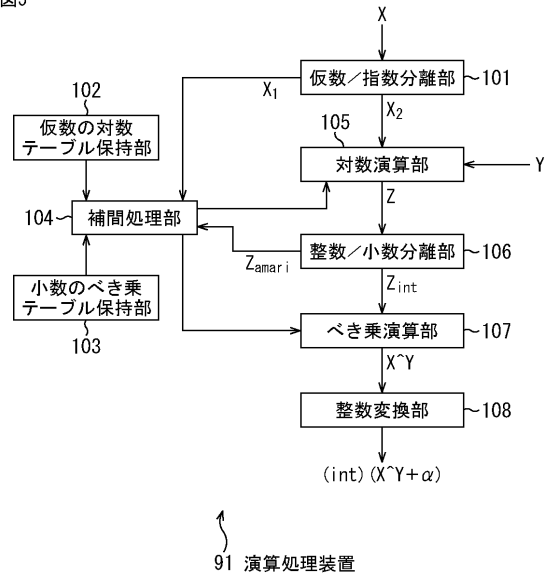
【図 4】

図4



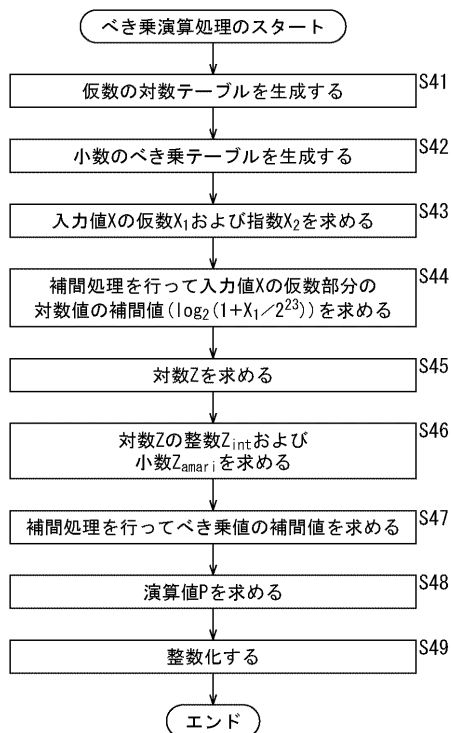
【図 5】

図5



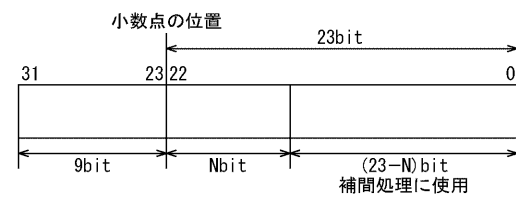
【図 6】

図6



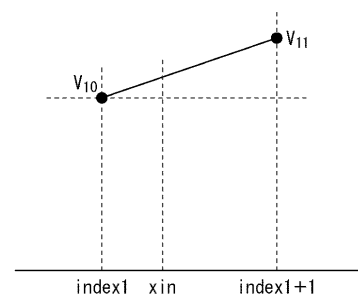
【図 7】

図7



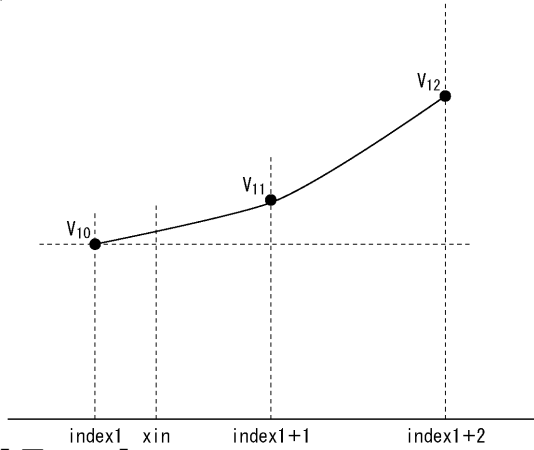
【図 8】

図8



【図 9】

図9



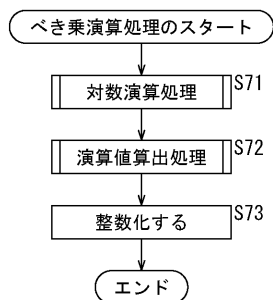
【図 10】

図10

	対数:補間なし	対数:線形補間	対数:2次補間
べき乗:補間なし	5.44×10^{-3}	1.35×10^{-3}	1.35×10^{-3}
べき乗:線形補間	4.10×10^{-3}	1.71×10^{-6}	6.23×10^{-7}
べき乗:2次補間	4.10×10^{-3}	2.18×10^{-6}	1.99×10^{-7}

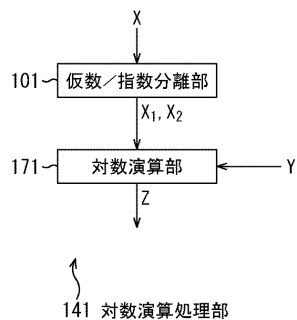
【図 13】

図13



【図 14】

図14



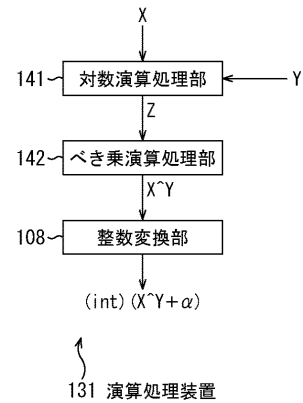
【図 11】

図11

テーブルサイズ	補間なし	線形補間	2次補間
256個	5.44×10^{-3}	1.71×10^{-6}	1.99×10^{-7}
128個	1.12×10^{-2}	6.82×10^{-6}	2.08×10^{-7}
64個	2.23×10^{-2}	2.73×10^{-5}	5.21×10^{-7}
32個	4.44×10^{-2}	1.09×10^{-4}	3.86×10^{-6}
16個	8.82×10^{-2}	4.37×10^{-4}	3.03×10^{-5}
8個	1.70×10^{-1}	1.74×10^{-3}	2.31×10^{-4}
4個	3.00×10^{-1}	6.91×10^{-3}	1.70×10^{-3}
2個	4.73×10^{-1}	2.56×10^{-2}	1.15×10^{-2}

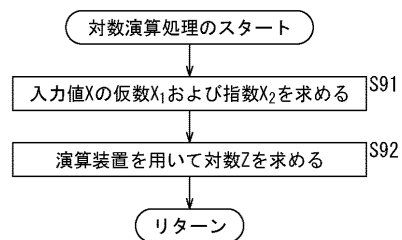
【図 12】

図12



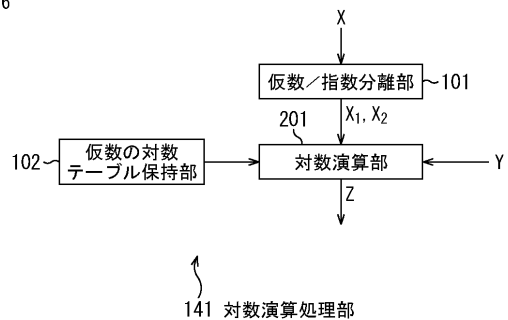
【図 15】

図15



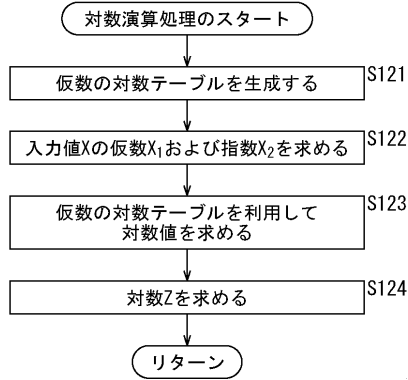
【図 16】

図16



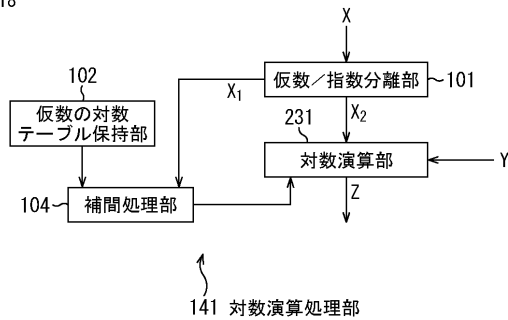
【図 17】

図17



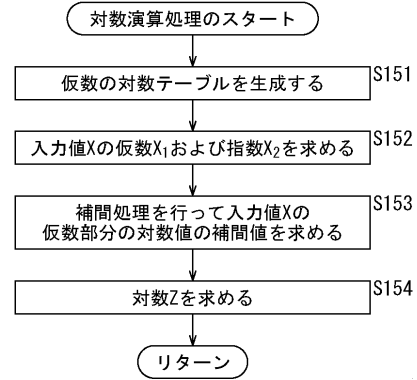
【図 18】

図18



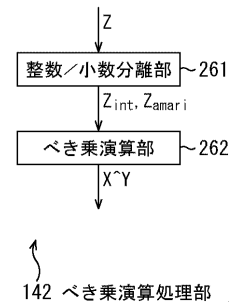
【図 19】

図19



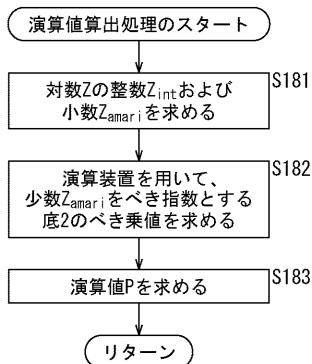
【図 20】

図20



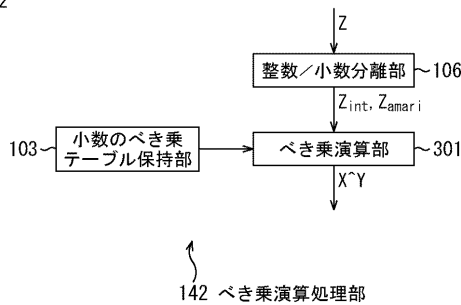
【図 21】

図21



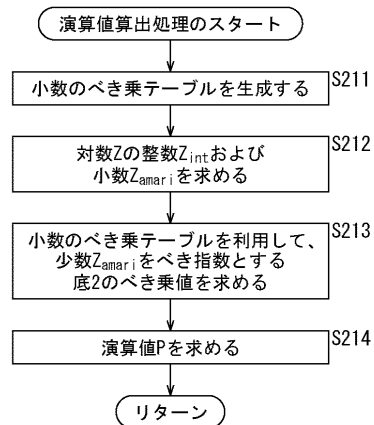
【図 22】

図22



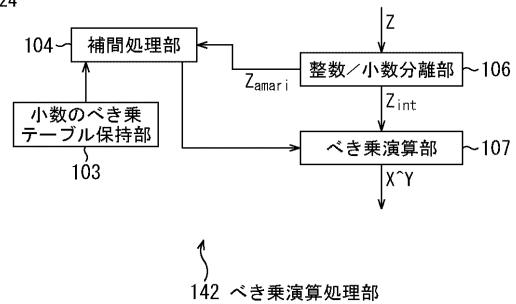
【図 23】

図23



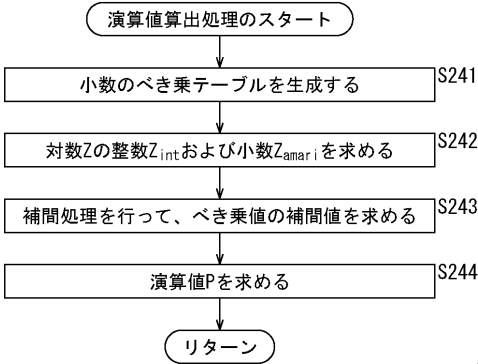
【図 24】

図24



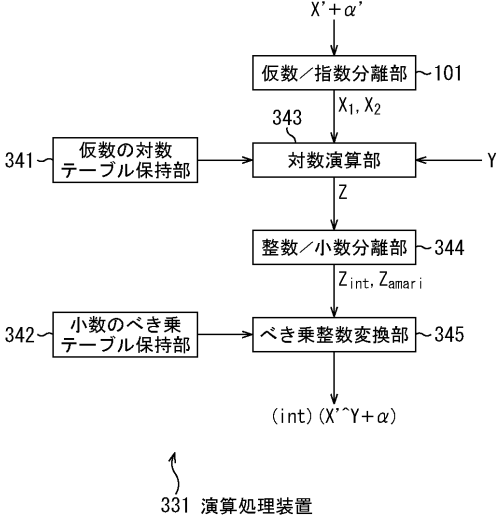
【 図 2 5 】

図25



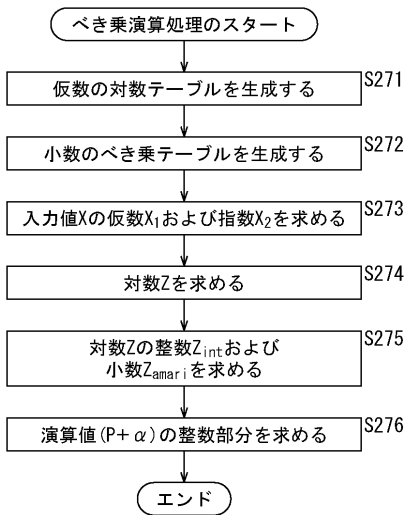
【 図 2 6 】

図26



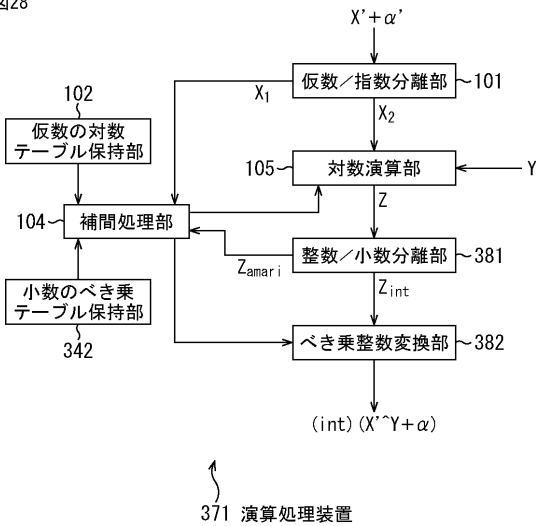
【 図 2 7 】

図27



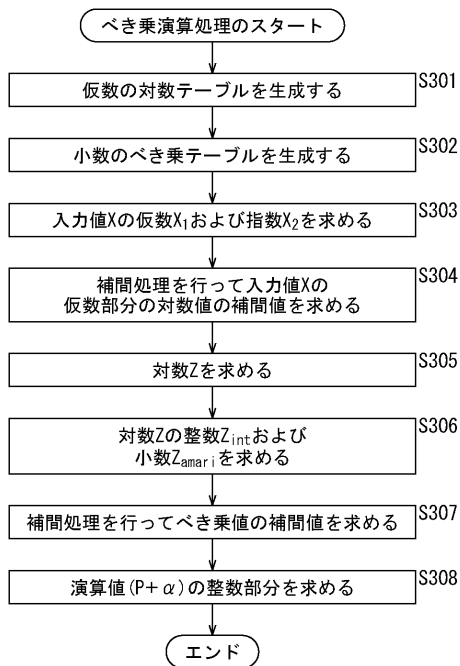
【 図 2 8 】

図28



【図 29】

図29



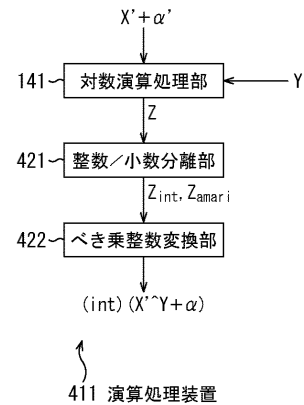
【図 30】

図30

	対数:補間なし	対数:線形補間	対数:2次補間
べき乗:補間なし	1.77×10^1	3.98×10^0	3.98×10^0
べき乗:線形補間	1.38×10^1	8.06×10^{-3}	2.44×10^{-3}
べき乗:2次補間	1.38×10^1	9.77×10^{-3}	2.44×10^{-3}

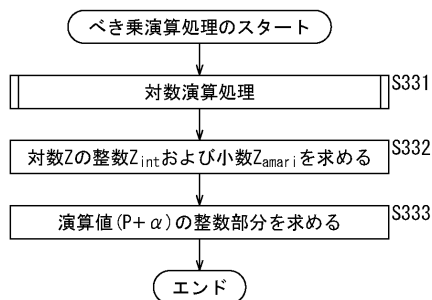
【図 31】

図31



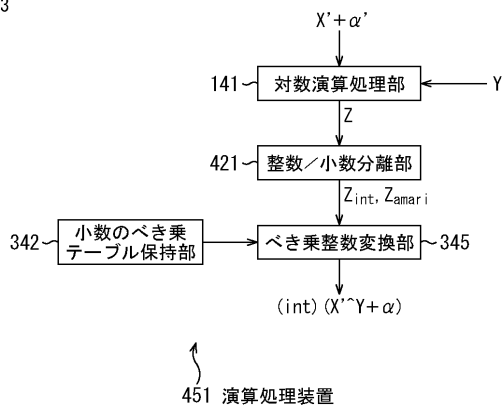
【図 32】

図32



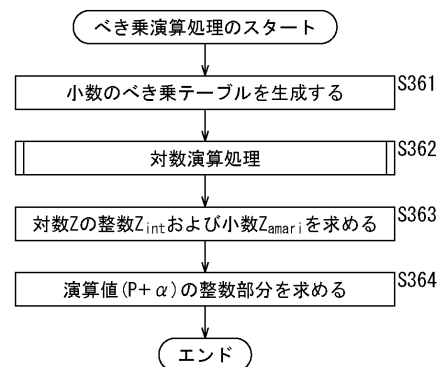
【図 33】

図33



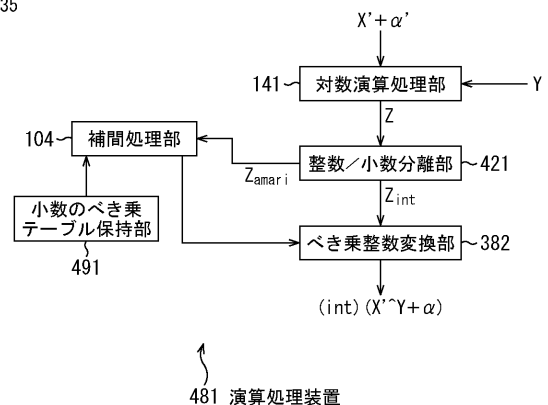
【図 34】

図34



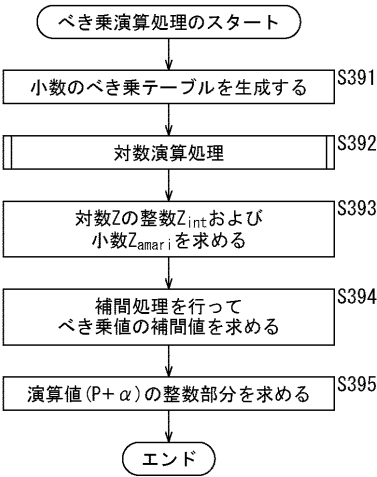
【図 35】

図35



【図 36】

図36



【図 37】

図37

