

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5006772号
(P5006772)

(45) 発行日 平成24年8月22日(2012.8.22)

(24) 登録日 平成24年6月1日(2012.6.1)

(51) Int.Cl. F I
G 1 O L 19/00 (2006.01) G 1 O L 19/00 2 2 O F

請求項の数 11 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2007-314032 (P2007-314032)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成19年12月4日 (2007.12.4)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2009-139503 (P2009-139503A)		東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(43) 公開日	平成21年6月25日 (2009.6.25)	(74) 代理人	100121706
審査請求日	平成22年8月18日 (2010.8.18)		弁理士 中尾 直樹
		(74) 代理人	100128705
			弁理士 中村 幸雄
		(74) 代理人	100147773
			弁理士 義村 宗洋
		(74) 代理人	100066153
			弁理士 草野 卓
		(72) 発明者	守谷 健弘
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 符号化方法、この方法を用いた装置、プログラム、記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

線形PCM信号により構成される元の信号列の大小関係を示す番号系列（以下、「第2信号列」という）を符号化する符号化方法であって、

前記第2信号列に含まれる各信号と前記元の信号列に含まれる各信号との中間的な信号による信号列を生成する処理である分析用対応変換の候補によって分析用信号列を求め、前記分析用信号列から線形予測係数を求める線形予測ステップと、

前記線形予測係数を量子化して量子化線形予測係数を求める量子化ステップと、

前記第2信号列と前記量子化線形予測係数を用いて、第2予測値列を求める予測値算出ステップと、

前記第2信号列と前記第2予測値列との差を求め、予測残差列を求める減算ステップと

、
前記量子化線形予測係数を符号化し、予測係数符号を求める係数符号化ステップと、
前記予測残差列を符号化し、予測残差符号を求める残差符号化ステップと
を有し、

複数種類の前記分析用対応変換の候補のそれぞれについて前記各ステップの処理を行い、
符号量または符号量の推定値が最小になる前記予測係数符号と予測残差符号を出力することを特徴とする符号化方法。

【請求項2】

線形PCM信号により構成される元の信号列の大小関係を示す番号系列（以下、「第2信

号列」という)を符号化する符号化方法であって、

前記第2信号列に含まれる各信号と前記元の信号列に含まれる各信号との中間的な信号による信号列を生成する処理である分析用対応変換の候補を、あらかじめ定めた複数の分析用対応変換の候補の中からあらかじめ定めた手順で1つずつ出力する分析用対応変換候補出力ステップと、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記元の信号列とから生成した分析用信号列から線形予測係数を求める線形予測ステップと、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記線形予測係数を量子化して量子化線形予測係数を求める量子化ステップと、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記量子化線形予測係数を用いて、第2予測値列を求める予測値算出ステップと、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記第2予測値列との差を求め、予測残差列を求める減算ステップと、

あらかじめ定めた条件を満たすまで実行された繰返しの間に前記減算ステップが出力した前記予測残差列の中から、符号量の推定値が最小となる予測残差列を出力する最適選定ステップと、

前記量子化線形予測係数を符号化し、予測係数符号を求める係数符号化ステップと、

前記最適選定ステップが出力した予測残差列を符号化し、予測残差符号を求める残差符号化ステップと、を有する符号化方法。

【請求項3】

線形PCM信号により構成される元の信号列の大小関係を示す番号系列(以下、「第2信号列」という)を符号化する符号化方法であって、

前記第2信号列に含まれる各信号と前記元の信号列に含まれる各信号との中間的な信号による信号列を生成する処理である分析用対応変換の候補を、あらかじめ定めた複数の分析用対応変換の候補の中からあらかじめ定めた手順で1つずつ出力する分析用対応変換候補出力ステップと、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記元の信号列とから生成した分析用信号列から線形予測係数を求める線形予測ステップと、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記線形予測係数を量子化して量子化線形予測係数を求める量子化ステップと、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記量子化線形予測係数を符号化し、予測係数符号を求める係数符号化ステップと、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記量子化線形予測係数を用いて、第2予測値列を求める予測値算出ステップと、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記第2予測値列との差を求め、予測残差列を求める減算ステップと、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記予測残差列を符号化し、予測残差符号を求める残差符号化ステップと、

あらかじめ定めた条件を満たすまで実行された繰返しの間に求めた前記予測係数符号と前記予測残差符号の中から、前記予測係数符号と前記予測残差符号を合わせた符号量を最小にする予測残差符号を出力する最適選定ステップと

を有する符号化方法。

【請求項4】

請求項1から3のいずれかに記載の符号化方法であって、

前記中間的な信号による信号列は、前記第2信号列に含まれる各信号と前記元の信号列に含まれる各信号との重み付け加算により得られる信号による信号列である、

符号化方法。

【請求項5】

請求項1から4のいずれかに記載の符号化方法であって、

前記予測値算出ステップは、

10

20

30

40

50

前記第2信号列に含まれる各信号を、前記元の信号列に含まれる各信号と線形な関係の算出用信号に変換して得られる算出用信号列を得る算出用線形対応サブステップと、
前記算出用信号列と前記量子化線形予測係数を用いて予測値列を求める算出サブステップと、

前記予測値列の各信号に対して、前記算出用線形対応サブステップの逆の処理をして得られる第2予測値により構成される第2予測値列を求める第2予測サブステップとを有する符号化方法。

【請求項6】

請求項1から4のいずれかに記載の符号化方法であって、

前記予測値算出ステップは、

前記第2信号列に含まれる各信号を、前記第2信号列に含まれる各信号と前記元の信号列に含まれる各信号との中間的な信号である算出用信号に変換して得られる算出用信号列を得る算出用線形対応サブステップと、

前記算出用信号列と前記量子化線形予測係数を用いて予測値列を求める算出サブステップと、

前記予測値列の各信号に対して、前記算出用線形対応サブステップの逆の処理をして得られる第2予測値により構成される第2予測値列を求める第2予測サブステップと

を有する符号化方法。

【請求項7】

線形PCM信号により構成される元の信号列の大小関係を示す番号系列（以下、「第2信号列」という）を符号化する符号化装置であって、

前記第2信号列に含まれる各信号と前記元の信号列に含まれる各信号との中間的な信号による信号列を生成する処理である分析用対応変換の候補によって分析用信号列を求め、前記分析用信号列から線形予測係数を求める線形予測部と、

前記線形予測係数を量子化して量子化線形予測係数を求める量子化部と、

前記第2信号列と前記量子化線形予測係数を用いて、第2予測値列を求める予測値算出部と、

前記第2信号列と前記第2予測値列との差を求め、予測残差列を求める減算部と、

前記量子化線形予測係数を符号化し、予測係数符号を求める係数符号化部と、

前記予測残差列を符号化し、予測残差符号を求める残差符号化部と

を備え、

複数種類の前記分析用対応変換の候補のそれぞれについて前記各部の処理を行い、符号量または符号量の推定値が最小になる前記予測係数符号と予測残差符号を出力することを特徴とする符号化装置。

【請求項8】

線形PCM信号により構成される元の信号列の大小関係を示す番号系列（以下、「第2信号列」という）を符号化する符号化装置であって、

前記第2信号列に含まれる各信号と前記元の信号列に含まれる各信号との中間的な信号による信号列を生成する処理である分析用対応変換の候補を、あらかじめ定めた複数の分析用対応変換の候補の中からあらかじめ定めた手順で1つずつ出力する分析用対応変換候補出力部と、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記元の信号列とから生成した分析用信号列から線形予測係数を求める線形予測部と、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記線形予測係数を量子化して量子化線形予測係数を求める量子化部と、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記量子化線形予測係数を用いて、第2予測値列を求める予測値算出部と、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記第2予測値列との差を求め、予測残差列を求める減算部と、

あらかじめ定めた条件を満たすまで実行された繰返しの間に前記減算部が出力した前記

10

20

30

40

50

予測残差列の中から、符号量の推定値が最小となる予測残差列を出力する最適選定部と、前記量子化線形予測係数を符号化し、予測係数符号を出力する係数符号化部と、前記最適選択部が出力した予測残差列を符号化し、予測残差符号を出力する残差符号化部と、を有する符号化装置。

【請求項 9】

線形PCM信号により構成される元の信号列の大小関係を示す番号系列（以下、「第2信号列」という）を符号化する符号化装置であって、

前記第2信号列に含まれる各信号と前記元の信号列に含まれる各信号との中間的な信号による信号列を生成する処理である分析用対応変換の候補を、あらかじめ定めた複数の分析用対応変換の候補の中からあらかじめ定めた手順で1つずつ出力する分析用対応変換候補出力部と、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記元の信号列とから生成した分析用信号列から線形予測係数を求める線形予測部と、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記線形予測係数を量子化して量子化線形予測係数を求める量子化部と、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記量子化線形予測係数を符号化し、予測係数符号を出力する係数符号化部と、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記量子化線形予測係数を用いて、第2予測値列を求める予測値算出部と、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記第2信号列と前記第2予測値列との差を求め、予測残差列を求める減算部と、

前記分析用対応変換の候補ごとに、前記予測残差列を符号化し、予測残差符号を出力する残差符号化部と、

あらかじめ定めた条件を満たすまで実行された繰返しの間に求めた前記予測係数符号と前記予測残差符号の中から、前記予測係数符号と前記予測残差符号を合わせた符号量を最小にする予測残差符号を出力する最適選定部とを有する符号化装置。

【請求項 10】

請求項1から6のいずれかに記載の符号化方法の各ステップをコンピュータに実行させる符号化プログラム。

【請求項 11】

請求項10記載の符号化プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、対数近似圧伸PCMなどの圧伸された信号列の符号化方法、この方法を用いた装置、プログラム、記録媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

音声、画像などの情報を圧縮する方法として歪の無い可逆の符号化が知られている。波形をそのまま線形PCM信号として記録した場合には各種の圧縮符号化が考案されている（非特許文献1）。

【0003】

一方、電話の長距離伝送やVoIP用の音声伝送には、振幅をそのままの数値とする線形PCMではなく、振幅を対数に近似させた対数近似圧伸PCM（非特許文献2）などが使われている。

【非特許文献1】MatHans, "Lossless Compression of Digital Audio", IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, July 2001, pp.21-32.

【非特許文献2】ITU-T Recommendation G.711, "Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies".

【発明の開示】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

一般の電話に代わってV o I Pシステムが普及してくると、V o I P用の音声伝送のために求められる伝送容量は増大する。たとえば、非特許文献2のITU-T G.711の場合であれば、1回線に対して64 k b i t / s × 2の伝送容量が必要だが、回線数が増えれば求められる伝送容量も増大する。したがって、対数近似圧伸PCMなどの圧伸された信号列を圧縮符号化する技術（符号量を低減できる技術）が求められる。圧伸とは、元の信号列の大小関係を番号系列で示すことを意味している。また、元の信号列の大小関係を示す番号系列とは、大小関係を維持したまま、あるいは大小関係を反転して、均等間隔に付された数である。図1は、第2信号列の振幅の例を示す図である。横軸は線形PCMの場合の値であり、縦軸は対数近似圧伸PCMの場合の対応する値である。図2は、8ビットのμ則の具体的な形式を示す図である。正負を示す1ビット（極性）、指数を示す3ビット（指数部）、線形符号での増分（傾き）を示す4ビット（線形部）から構成されている。この形式の対数近似圧伸PCMの場合、-127から127までの数値を表現できる。これは、線形PCMの-8158から8158までに相当する（図1）。

10

【0005】

対数近似圧伸PCMなどの圧伸された信号列（以下、「第2信号列」という）を圧縮符号化する技術として、以下のような符号化装置と復号化装置が考えられる。図3に、第2信号列を符号化する符号化装置の機能構成例を示す。また、図4に、この符号化装置の処理フロー例を示す。符号化装置800は、線形予測部810、量子化部820、予測値算出部830、減算部840、係数符号化部850、残差符号化部860を備える。さらに、符号化装置800への入力信号列がフレーム単位に分割されていない場合は、符号化装置800は、フレーム分割部870も備えている。フレーム分割部870は、入力信号列をフレーム単位に分割した第2信号列 $X = \{x(1), x(2), \dots, x(N)\}$ を出力する。なお、Nは1フレームのサンプル数である。

20

【0006】

符号化装置800に、フレーム単位に分割された第2信号列Xが入力されると、線形予測部810は、フレーム単位に分割された第2信号列Xから線形予測係数 $K = \{k(1), k(2), \dots, k(P)\}$ を求める（S810）。なお、Pは予測次数である。量子化部820は、線形予測係数Kを量子化して量子化線形予測係数 $K' = \{k'(1), k'(2), \dots, k'(P)\}$ を求める（S820）。予測値算出部830は、第2信号列Xと量子化線形予測係数K'を用いて、次式のように第2予測値列 $Y = \{y(1), y(2), \dots, y(N)\}$ を求める（S830）。

30

【0007】

【数1】

$$y(n) = \sum_{i=1}^P k'(i)x(n-i)$$

ただし、nは1以上N以下の整数である。減算部840は、第2信号列Xと第2予測値列Yとの差（予測残差列） $E = \{e(1), e(2), \dots, e(N)\}$ を求める（S840）。係数符号化部850は、量子化線形予測係数K'を符号化し、予測係数符号 C_k を出力する（S850）。残差符号化部860は、予測残差列Eを符号化し、予測残差符号 C_e を出力する（S860）。

40

【0008】

図5に、第2信号列に復号化する復号化装置の機能構成例を示す。また、図6に、この復号化装置の処理フロー例を示す。復号化装置900は、残差復号化部910、係数復号化部920、予測値算出部930、加算部940を備える。残差復号化部910は、予測残差符号 C_e と復号化して予測残差列Eを求める（S910）。係数復号化部920は、予測係数符号 C_k を復号化して量子化線形予測係数K'を求める（S920）。予測値算

50

出部 930 は、復号化された第 2 信号列 X と量子化線形予測係数 K' を用いて、次式のよ
うに第 2 予測値列 Y を求める (S930)。

【0009】

【数 2】

$$y(n) = \sum_{i=1}^P k'(i)x(n-i)$$

加算部 940 は、第 2 予測値列 Y と予測残差列 E とを加算して第 2 信号列 X を求める (S
940)。このような構成により、圧伸された信号列を可逆圧縮できる。しかし、G. 7
11 などの圧伸された信号列を、上述のように可逆圧縮しても圧縮効率が十分高いとは言
えない。

10

【0010】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、圧伸された信号列に対して高
い符号化効率を実現し、符号量を削減することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の符号化方法は、元の信号列の大小関係を示す番号系列 (以下、「第 2 信号列」
という) を符号化する符号化方法であって、分析用対応変換候補出力ステップ、線形予測
ステップ、量子化ステップ、予測値算出ステップ、減算ステップ、係数符号化ステップ、
残差符号化ステップ、最適選定ステップを有する。なお、「元の信号列の大小関係を示す
番号系列」とは、大小関係を維持したまま、あるいは大小関係を反転して、均等間隔に付
された数である。例えば、1, 2, 3, ... でもよいし、2, 4, 6, ... のようにしてもよ
い。

20

【0012】

分析用対応変換候補出力ステップは、元の信号列と線形な関係に近づく処理である分
析用対応変換の候補を、あらかじめ定めた手順で出力する。なお、「元の信号列と線形な
関係に近づく処理」には、元の信号列と線形な関係の信号列にする処理は含まない。線
形予測ステップは、分析用対応変換の候補ごとに、第 2 信号列から線形予測係数を求める
。量子化ステップは、分析用対応変換の候補ごとに、線形予測係数を量子化して量子化線
形予測係数を求める。予測値算出ステップは、分析用対応変換の候補ごとに、第 2 信号列
と量子化線形予測係数を用いて、予測値列の振幅を圧縮した第 2 予測値列を求める。減算
ステップは、分析用対応変換の候補ごとに、第 2 信号列と第 2 予測値列との差を求め、予
測残差列を求める。係数符号化ステップは、量子化線形予測係数を符号化し、予測係数符
号を出力する。残差符号化ステップは、予測残差列を符号化し、予測残差符号を出力する
。最適選定ステップは、あらかじめ定めた条件を満たすまで実行された繰返しの間に減算
ステップが出力した前記予測残差列の中から、符号量の推定値が最小となる予測残差列を
出力する。なお、予測残差列の各信号の絶対値の和や、各信号の 2 乗の和などを求めるこ
とにより符号量を推定できる。または、最適選定ステップは、あらかじめ定めた条件を満
たすまで実行された繰返しの間に求めた前記予測係数符号と前記予測残差符号の中から、
予測係数符号と予測残差符号を合わせた符号量を最小にする予測残差符号を出力する。

30

40

【0013】

また、線形予測ステップは、分析用線形対応サブステップと分析係数サブステップとを
有する。分析用線形対応サブステップは、第 2 信号列を、元の信号列と線形な関係に近
づく処理によって分析用信号列に変換する。分析係数サブステップは、分析用信号列を線
形予測分析して線形予測係数を求める。

【0014】

なお、予測値算出ステップは、算出用線形対応サブステップ、算出サブステップ、第 2
予測サブステップを有してもよい。算出用線形対応サブステップは、第 2 信号列を、元
の信号列と線形な関係の算出用信号列に変換する。算出サブステップは、算出用信号列と前

50

記量子化線形予測係数を用いて予測値列を求める。第2予測サブステップは、算出用線形対応サブステップの逆の処理によって、予測値列の振幅を圧縮して第2予測値列を求める。

【0015】

分析用対応変換の候補をあらかじめ定めた手順で決める方法として、例えば、分析用対応変換候補出力ステップは、元の信号列を線形な関係に近づける処理を、あらかじめ定めた複数の分析用対応変換の候補の中から1つずつ選ぶ方法がある。この場合、最適選定ステップのあらかじめ定めた条件を満たすまで実行された繰返しとは、全ての分析用対応変換の候補が選ばれたことである。あるいは、あらかじめ定めた複数の分析用対応変換の候補の中から、符号量が小さくなるように分析用対応変換の候補を調整する方法もある。この場合、最適選定ステップのあらかじめ定めた条件を満たすまで実行された繰返しとは、符号量が所定の値よりも小さくなったことや、所定の回数繰り返したことなどである。つまり、どのような方法を用いるかに関わらず、最終的に符号量が最小になればよい。

10

【0016】

また、分析用対応変換候補出力ステップで出力する分析用対応変換の候補は、第2信号列と、元の信号列と線形な信号列との重みつき加算とすればよい。

【発明の効果】

【0017】

一般的に、線形な信号列は効率よく予測できる。しかし、線形な信号列は、もともと振幅を表すためのビット数が多くなるので符号量も多くなってしまふ。一方、圧伸された信号列をそのまま数値とみなせば、振幅を表すためのビット数を少なくできる。しかし、波形自体が不自然になってしまふので、予測効率が悪くなる。本発明の符号化方法によれば、線形予測係数の算出（線形予測ステップ）に用いる信号列として、第2信号列よりも元の信号列と線形な関係に近い信号列の中で符号化効率のよい信号列を探索して用いるので、予測残差列から求めた符号量の推定値を小さくでき、符号化の効率を高めることができる。また、その結果として符号量を少なくできる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下では、説明の重複を避けるため同じ機能を有する構成部や同じ処理を行う処理ステップには同一の番号を付与し、説明を省略する。

30

【0019】

[第1実施形態]

図7に、第1実施形態の圧伸された信号列（第2信号列）を符号化する符号化装置の機能構成例を示す。また、図8に、この符号化装置の処理フロー例を示す。符号化装置100は、符号化装置800（図3）と線形予測部210、分析用対応変換候補出力部170、最適選定部180が異なる。その他の構成は同じである。

【0020】

分析用対応変換候補出力部170は、第2信号列 $X = \{x(1), x(2), \dots, x(N)\}$ を、元の信号列と線形な関係に近づける処理である分析用対応変換の候補 $F'()$ を、あらかじめ定めた手順で出力する（S170）。分析用対応変換の候補をあらかじめ定めた手順で決める方法として、例えば、元の信号列を線形な関係に近づける処理を、あらかじめ定めた複数の分析用対応変換の候補の中から1つずつ選ぶ方法がある。あるいは、予測残差列から求めた符号量の推定値が減る方向に分析用対応変換の候補 $F'()$ を調整していく方法などがある。なお、予測残差列の各信号の絶対値の和や、各信号の2乗の和などを求めることにより、予測残差列から符号量を推定できる。

40

線形予測部210は、分析用線形対応手段211と分析係数手段212とを有する。分析用線形対応手段211は、第2信号列 X を、元の信号列と線形な関係に近づける処理 $F'()$ によって分析用信号列 $F'(X)$ に変換する（S211）。分析係数手段212は、分析用信号列 $F'(X)$ を線形予測分析して線形予測係数 K を求める（S212）。処理 $F'()$ は線形予測係数 K を求めるために行う処理であり、その結果は線形予測係数 K に

50

反映されるので、復号化装置には必要がないし、可逆である必要もない。したがって、適宜変更してもよい。なお、圧伸とは、元の信号列の大小関係を番号系列で示すことを意味している。また、元の信号列の大小関係を示す番号系列とは、大小関係を維持したまま、あるいは大小関係を反転して、均等間隔に付された数である。非特許文献2 (G . 7 1 1) には、A 則や μ 則の場合の具体例が表で示されている (非特許文献2 の T a b l e 1 a ~ 2 b) 。 A 則の場合も μ 則の場合も、非特許文献2 の表の第6列に「8ビットの形式 (図2 参照) 」、第7列に「元の信号の量子化値」、第8列に「元の信号の大小関係を示す番号」が示されている。「8ビットの形式」は、0と1とを反転させるなどのビット形式を決めるルールに従って定められている。これを、ビット形式を決めるルールに従って数値にしたものが、「元の信号の大小関係を示す番号」である。非特許文献2 の「元の信号の大小関係を示す番号」が、本発明の第2 信号列の1 つのサンプル値に相当する。また、非特許文献2 の「元の信号の量子化値」が、元の信号列と線形な関係の信号列の1 つのサンプル値に相当する。例えば、 μ 則の“ 1 1 1 0 1 1 1 1 ”という8ビットは、元の信号の大小関係を示す番号は1 6 であり、元の信号の量子化値は3 3 である。また、 μ 則の“ 1 0 0 0 1 1 1 1 ”という8ビットは、元の信号の大小関係を示す番号は1 1 2 であり、元の信号の量子化値は4 1 9 1 である。

【 0 0 2 1 】

符号化装置 1 0 0 は、あらかじめ定めた繰返しの条件を満たすかを確認する (S 1 7 5) 。あらかじめ定めた繰返しの条件は、分析用対応変換の候補を選ぶ手順が、あらかじめ定めた分析用対応変換の候補から順次選ぶ場合には、あらかじめ定めた分析用対応変換の候補の全てに対してステップ S 1 7 0 から S 8 4 0 が終了したときとすればよい。また、分析用対応変換の候補を選ぶ手順が、予測残差列から求めた符号量の推定値が減る方向に分析用対応変換の候補 $F' ()$ を調整していく場合には、予測誤差が閾値以下となったときとすればよい。

【 0 0 2 2 】

ステップ S 1 7 5 が条件を満たさない場合には、ステップ S 1 7 0 に戻り、分析用対応変換候補出力部 1 7 0 が、あらかじめ定めた手順で次の分析用対応変換の候補 $F' ()$ を出力する。ステップ S 1 7 5 が条件を満たす場合には、最適選定部 1 8 0 は、繰返し処理の間に減算部 8 4 0 が出力した前記予測残差列 E の中から、符号量の推定値が最小となる予測残差列 E を出力する (S 1 8 0) 。残差符号化部 8 6 0 は、最適選定部 1 8 0 が出力した予測残差列 E を符号化する (S 8 6 0) 。

【 0 0 2 3 】

復号化装置は図5 と同じである。符号化装置 1 0 0 のステップ S 2 1 1 (分析用線形対応サブステップ) で行われる「第2 信号列 X を、元の信号列と線形な関係に近づける処理 (分析用対応変換) $F' ()$ 」とは、圧伸された信号列と元の信号列と線形な関係の信号列との中間的な信号列にする処理であり、元の信号列と線形な関係の信号列にする処理は含まない。具体的には、以下のような処理である。線形な関係とは、元の信号列の1 つのサンプル値の振幅を s とするとき、

$$| 1 - H (s) / H (s) | = 0$$

ただし、 H は任意の実数

を満足する関数 $H ()$ によって変換された信号列を意味している。なお、この式では離散化に伴う誤差は無視している。第2 信号列の1 つのサンプル値の振幅 x と元の信号列の1 つのサンプル値の振幅 s との関係が $x = G (s)$ の場合は、任意の s に対しては

$$| 1 - G (s) / G (s) | = 0$$

を満足しない。「線形な関係に近づける処理 (分析用対応変換) 」とは、この処理を関数 $F ()$ とすると、任意の s に対して、

$$| 1 - F' (x) / F' (x) | < | 1 - G (s) / G (s) |$$

となり、かつ、すべての s に対しては

$$| 1 - F' (x) / F' (x) | = 0$$

は満足しない。たとえば、第2 信号列の1 つのサンプル値の振幅 x と元の信号列の1 つの

10

20

30

40

50

サンプル値の振幅 s との重みつき加算（たとえば、 g を重みとして $x + g s$ ）を行う処理がある。

【 0 0 2 4 】

本実施形態の符号化装置によれば、線形予測係数の算出（線形予測ステップ）に用いる信号列として、第 2 信号列よりも元の信号列と線形な関係に近い信号列の中で符号化効率のよい信号列を探索して用いる。したがって、予測残差列から求めた符号量の推定値を小さくでき、符号化の効率を高めることができる。また、その結果として符号量を少なくできる。

【 0 0 2 5 】

[変形例]

図 9 に、第 1 実施形態変形例の第 2 信号列を符号化する符号化装置の機能構成例を示す。また、図 10 に、この符号化装置の処理フロー例を示す。符号化装置 200 は、符号化装置 100（図 7）と予測値算出部 130 が異なる。その他の構成は同じである。

【 0 0 2 6 】

予測値算出部 130 は、算出用線形対応手段 131、算出手段 132、第 2 予測手段 133 を有する。算出用線形対応手段 131 は、第 2 信号列 $X = \{ x(1), x(2), \dots, x(N) \}$ を、元の信号列と線形な関係に近づける可逆な処理 $F(\cdot)$ によって、算出用信号列 $F(X)$ に変換する（S131）。なお、ステップ S131 では、元の信号列と線形な関係の分析用信号列に変換してもよい。

【 0 0 2 7 】

算出手段 132 は、算出用信号列 $F(X)$ と量子化線形予測係数 K' を用いて、次式のように予測値列 $F(Y) = \{ F(y(1)), F(y(2)), \dots, F(y(N)) \}$ を求める（S132）。

【 0 0 2 8 】

【 数 3 】

$$F(y(n)) = \sum_{i=1}^P k'(i) F(x(n-i))$$

ただし、 n は 1 以上 N 以下の整数である。第 2 予測手段 133 は、ステップ S131 の逆の処理 $F^{-1}(\cdot)$ によって、予測値列 $F(Y)$ の振幅を圧縮して第 2 予測値列 $Y = \{ y(1), y(2), \dots, y(N) \}$ を求める（S133）。図 11 に、圧伸された信号列に復号化する復号化装置の機能構成例を示す。また、図 12 に、この復号化装置の処理フロー例を示す。復号化装置 300 は、復号化装置 900（図 5）と予測値算出部 330 が異なる。その他の構成は同じである。予測値算出部 330 は、復号線形対応手段 331、復号予測手段 332、第 2 復号手段 333 を有する。復号線形対応手段 331 は、復号化された第 2 信号列 X を、元の信号列と線形な関係に近づける可逆な処理 $F(\cdot)$ によって、算出用信号列 $F(X)$ に変換する（S331）。復号予測手段 332 は、算出用信号列 $F(X)$ と量子化線形予測係数 K' を用いて、次式のように予測値列 $F(Y)$ を求める（S332）。

【 0 0 2 9 】

【 数 4 】

$$F(y(n)) = \sum_{i=1}^P k'(i) F(x(n-i))$$

第 2 復号手段 333 は、ステップ S331 の逆の処理 $F^{-1}(\cdot)$ によって、予測値列 $F(Y)$ の振幅を圧縮して第 2 予測値列 $F(Y)$ を求める（S333）。

【 0 0 3 0 】

符号化装置 200 のステップ S131（算出用線形対応サブステップ）、復号化装置 3

10

20

30

40

50

00のステップS331(復号線形対応サブステップ)で行われる「第2信号列Xを、元の信号列と線形な関係に近づける処理F()」とは、圧伸された信号列と元の信号列と線形な関係の信号列との中間的な信号列にする処理であり、元の信号列と線形な関係の信号列にする処理は含まない。具体的には、以下のような処理である。線形な関係とは、元の信号列の1つのサンプル値の振幅をsとするときに、

$$|1 - H(s) / G(s)| < 0$$

ただし、H(s)は任意の実数

を満足する関数H()によって変換された信号列を意味している。なお、この式では離散化に伴う誤差は無視している。第2信号列の1つのサンプル値の振幅xと元の信号の振幅sとの関係がx = G(s)の場合は、任意のsに対しては

$$|1 - G(s) / H(s)| < 0$$

を満足しない。「線形な関係に近づける処理」とは、この処理を関数F()とすると、任意のxに対して、

$$|1 - F(x) / G(s)| < |1 - G(s) / H(s)|$$

であり、かつ、すべてのsに対しては

$$|1 - F(x) / G(s)| < 0$$

は満足しない。たとえば、第2信号列の1つのサンプル値の振幅xと元の信号列の1つのサンプル値の振幅sとの重みつき加算(たとえば、gを重みとしてx + g s)を行う処理がある。また、処理F()は符号化装置と復号化装置とで同じにする必要がある。上記の重み付加算の方法であれば、重みgの情報を共有しておけば、符号化装置と復号化装置とで同じ処理が行えるし、逆の処理F⁻¹()も容易に実行できる。

【0031】

本実施形態の符号化装置と復号化装置によれば、圧伸された信号列を線形に近づけた上で予測値列を算出できる。例えば、対数近似は振幅の大きいサンプルの誤差が大きい、線形に近づけることで振幅の大きいサンプルの誤差を小さくできる。このことによって、さらに予測残差を小さくでき、符号化の効率を高めることができる。また、その結果として符号量を少なくできる。

【0032】

[第2実施形態]

図13に、第2実施形態の第2信号列を符号化する符号化装置の機能構成例を示す。また、図14に、この符号化装置の処理フロー例を示す。符号化装置400は、符号化装置100(図7)と分析用対応変換候補出力部470、最適選定部480が異なる。その他の構成は同じである。

【0033】

分析用対応変換候補出力部470は、第2信号列X = {x(1), x(2), ..., x(N)}を、元の信号列と線形な関係に近づける処理である分析用対応変換の候補F'()を、あらかじめ定めた手順で出力する(S470)。分析用対応変換の候補をあらかじめ定めた手順で決める方法として、例えば、元の信号列を線形な関係に近づける処理を、あらかじめ定めた複数の分析用対応変換の候補の中から1つずつ選ぶ方法がある。あるいは、予測係数符号と予測残差符号を合わせた符号量が減る方向に分析用対応変換の候補F'()を調整していく方法などがある。

【0034】

符号化装置400は、あらかじめ定めた繰返しの条件を満たすかを確認する(S475)。あらかじめ定めた繰返しの条件は、分析用対応変換の候補を選ぶ手順が、あらかじめ定めた分析用対応変換の候補から順次選ぶ場合には、あらかじめ定めた分析用対応変換の候補の全てに対してステップS470からS860が終了したときとすればよい。また、分析用対応変換の候補を選ぶ手順が、予測係数符号と予測残差符号を合わせた符号量が減る方向に分析用対応変換の候補F'()を調整していく場合には、符号量が閾値以下となったときとすればよい。

【0035】

10

20

30

40

50

ステップS 4 7 5 が条件を満たさない場合には、ステップS 4 7 0 に戻り、分析用対応変換候補出力部 4 7 0 が、あらかじめ定めた手順で次の分析用対応変換の候補 $F'()$ を出力する。ステップS 4 7 5 が、条件を満たす場合には、最適選定部 4 8 0 は、繰返し処理の間に求めた前記予測係数符号 C_k と前記予測残差符号 C_e の中から、前記予測係数符号 C_k と前記予測残差符号 C_e を合わせた符号量を最小にする予測残差符号 C_e を出力する (S 4 8 0)。なお、ステップS 4 8 0 の処理に予測残差符号 C_e だけでなく予測係数符号 C_k も用いてもよいし、予測残差符号 C_e のみを用いてもよい。

【0036】

復号化装置は、図5と同じである。

【0037】

本変形例の符号化装置によれば、圧伸された信号列を線形に近づけた上で線形予測係数を求めるので、予測残差列から求めた符号量の推定値を小さくでき、符号化の効率を高めることができる。また、その結果として符号量を少なくできる。

【0038】

第2実施形態の符号化装置によれば、第1実施形態と同じように、線形予測係数の算出 (線形予測ステップ) に用いる信号列として、第2信号列よりも元の信号列と線形な関係に近い信号列の中で符号化効率のよい信号列を探索して用いる。したがって、予測残差列から求めた符号量の推定値を小さくでき、符号化の効率を高めることができる。また、その結果として符号量を少なくできる。

【0039】

[変形例]

図15に、第2実施形態変形例の第2信号列を符号化する符号化装置の機能構成例を示す。また、図16に、この符号化装置の処理フロー例を示す。符号化装置500は、符号化装置400 (図13) と予測値算出部130が異なる。その他の構成は同じである。予測値算出部130は、算出用線形対応手段131、算出手段132、第2予測手段133を有する。算出用線形対応手段131は、第2信号列 $X = \{x(1), x(2), \dots, x(N)\}$ を、元の信号列と線形な関係に近づける可逆な処理 $F()$ によって、算出用信号列 $F(X)$ に変換する (S 1 3 1)。

【0040】

算出手段132は、算出用信号列 $F(X)$ と量子化線形予測係数 K' を用いて、次式のように予測値列 $F(Y) = \{F(y(1)), F(y(2)), \dots, F(y(N))\}$ を求める (S 1 3 2)。

【0041】

【数5】

$$F(y(n)) = \sum_{i=1}^P k'(i) F(x(n-i))$$

ただし、 n は1以上 N 以下の整数である。第2予測手段133は、ステップS 1 3 1 の逆の処理 $F^{-1}()$ によって、予測値列 $F(Y)$ の振幅を圧縮して第2予測値列 $Y = \{y(1), y(2), \dots, y(N)\}$ を求める (S 1 3 3)。

【0042】

復号化装置は、第1実施形態変形例 (図11) と同じである。

【0043】

本実施形態の符号化装置と復号化装置によれば、圧伸された信号列を線形に近づけた上で予測値列を算出できる。例えば、対数近似は振幅の大きいサンプルの誤差が大きい、線形に近づけることで振幅の大きいサンプルの誤差を小さくできる。このことによって、さらに予測残差を小さくでき、符号化の効率を高めることができる。また、その結果として符号量を少なくできる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 4 】

第 1 実施形態、第 2 実施形態に示したように、いくつかの方法で符号量を最小にできる。本発明の効果は、どのような方法で符号量を最小にする対応変換を求めるかには関係ない。

【 0 0 4 5 】

[具体例]

図 1 7 に、線形な関係に近づける処理 $F'()$ として第 2 信号列 X と元の信号列と線形な信号列 $S = \{s(1), s(2), \dots, s(N)\}$ との重みつき加算 (g を重みとして $Xg + S$) を行った場合の 8 ビットの μ 則の形式 (図 2) の例を示す。なお、図 1 7 では極性が正の場合のみを示している。また、 μ 則の指数部 (セグメント) と線形部 (レベル) は、一般的な感覚とは “ 1 ” と “ 0 ” とが反転しており、 μ 則では “ 1 1 1 1 1 1 1 1 ” が正の最小の数値を示し、“ 1 0 0 0 0 0 0 0 ” が正の最大の数値を示すことに注意されたい。図中の「元の信号の大小関係を示す番号」の列が、非特許文献 2 (G. 7 1 1) の μ 則の具体例を示す表 (Table 2 a) の第 8 列に相当し、「元の信号の量子化値」の列が第 7 列に相当する。図 1 7 (A) は指数部 (セグメント) が “ 1 1 1 ” の例を示しており、レベルが 1 増えるごとに、元の信号の大小関係を示す番号は g 、元の信号の量子化値は 2 増えている。図 1 7 (B) は指数部 (セグメント) が “ 1 1 0 ” の例を示しており、レベルが 1 増えるごとに、元の信号の大小関係を示す番号は g 、元の信号の量子化値は 4 増えている。図 1 7 (C) は指数部 (セグメント) が “ 0 0 1 ” の例を示しており、レベルが 1 増えるごとに、元の信号の大小関係を示す番号は g 、元の信号の量子化値は 1 2 8 増えている。図 1 7 (D) は指数部 (セグメント) が “ 0 0 0 ” の例を示しており、レベルが 1 増えるごとに、元の信号の大小関係を示す番号は g 、元の信号の量子化値は 2 5 6 増えている。なお、中間数値とは、処理 $F'()$ を行った後の値を指している。第 2 信号列 X と元の信号列と線形な信号列 S との重みつき加算 (g を重みとして $Xg + S$) によって、線形な関係に近づけることができる (重み付加算の結果、線形特性と圧伸特性の中間状態となる)。

【 0 0 4 6 】

分析用対応変換候補出力部 1 7 0、4 7 0 があらかじめ複数の分析用対応変換の候補を定めておく場合であれば、何種類かの重み g を定めておけばよい。これらの重み g を定める方法としては、学習データを用意しておき、学習データに適した重み g を求める方法がある。これらの重み g は、クラスタリングで設計することができる。図 1 8 は、学習データを用いて、2 つの重み g_1 、 g_2 を求める処理フロー例である。

【 0 0 4 7 】

初期値として、重み g_1 、 g_2 を用意しておく。学習データの全フレームに対して、フレームごとに、それぞれの重みを用いた分析用対応変換の候補 $F'()$ を使って符号化し、符号量を比較する (S 1 0 1 0)。重み g_1 の方が、符号量が少なかった全てのフレームに対して、最適な重みとなるように重み g_1 を計算し、新しい重み g_1 とする (S 1 0 2 0)。計算の方法としては、例えば、重み g_1 を微小に増減させて、全体の符号量が減る方向に動かし、収束させる方法がある。重み g_2 の方が、符号量が少なかった全てのフレームに対して、最適な重みとなるように重み g_2 を計算し、新しい重み g_2 とする (S 1 0 3 0)。あらかじめ定めた繰返し条件を満たすかを確認する (S 1 0 4 0)。なお、あらかじめ定めた条件とは、例えば繰返しの回数である。条件を満たさない場合はステップ S 1 0 1 0 に戻り、条件を満たす場合には処理を終了する。この処理で求められた重み g_1 、 g_2 によって特定される分析用対応変換の候補 $F'()$ が、分析用対応変換候補出力部 1 7 0、4 7 0 があらかじめ定めておく分析用対応変換の候補である。

【 0 0 4 8 】

図 1 9 に、コンピュータの機能構成例を示す。本発明の符号化方法、復号化方法は、コンピュータ 2 0 0 0 の記録部 2 0 2 0 に、本発明の各構成部としてコンピュータ 2 0 0 0 を動作させるプログラムを読み込ませ、制御部 2 0 1 0、入力部 2 0 3 0、出力部 2 0 4 0 などを動作させることで、コンピュータに実行させることができる。また、コンピュ

10

20

30

40

50

タに読み込ませる方法としては、プログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録しておき、記録媒体からコンピュータに読み込ませる方法、サーバ等に記録されたプログラムを、電気通信回線等を通じてコンピュータに読み込ませる方法などがある。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】 圧伸された信号列の振幅の例を示す図。

【図2】 8ビットのμ則の具体的な形式を示す図。

【図3】 符号化装置の機能構成例を示す図。

【図4】 符号化装置の処理フロー例を示す図。

【図5】 復号化装置の機能構成例を示す図。

10

【図6】 復号化装置の処理フロー例を示す図。

【図7】 第1実施形態の符号化装置の機能構成例を示す図。

【図8】 第1実施形態の符号化装置の処理フロー例を示す図。

【図9】 第1実施形態変形例の符号化装置の機能構成例を示す図。

【図10】 第1実施形態変形例の符号化装置の処理フロー例を示す図。

【図11】 第1実施形態変形例の復号化装置の機能構成例を示す図。

【図12】 第1実施形態変形例の復号化装置の処理フロー例を示す図。

【図13】 第2実施形態の符号化装置の機能構成例を示す図。

【図14】 第2実施形態の符号化装置の処理フロー例を示す図。

20

【図15】 第2実施形態変形例の符号化装置の機能構成例を示す図。

【図16】 第2実施形態変形例の符号化装置の処理フロー例を示す図。

【図17-1】 線形な関係に近づける処理F'()として第2信号列のサンプル値の振幅 x と元の信号列のサンプル値の振幅 s との重みつき加算を行った場合の指数部が“111”と“110”の例を示す図。

【図17-2】 線形な関係に近づける処理F'()として第2信号列のサンプル値の振幅 x と元の信号列のサンプル値の振幅 s との重みつき加算を行った場合の指数部が“001”と“000”の例を示す図。

【図18】 学習データを用いて、2つの重みを求める処理フロー例を示す図。

【図19】 コンピュータの機能構成例を示す図。

30

【符号の説明】

【0050】

100、200、400、500、800 符号化装置

130、830 予測値算出部

131 算出用線形対応手段

132 算出手段

133 第2予測手段

170、470 分析用対応変換候補出力部

180 最適選定部

210、810 線形予測部

211 分析用線形対応手段

212 分析係数手段

300、900 復号化装置

330、930 予測値算出部

331 復号線形対応手段

332 復号予測手段

333 第2復号手段

480 最適選定部

820 量子化部

40

840 減算部

850 係数符号化部

860 残差符号化部

870 フレーム分割部

910 残差復号化部

920 係数復号化部

940 加算部

【図1】

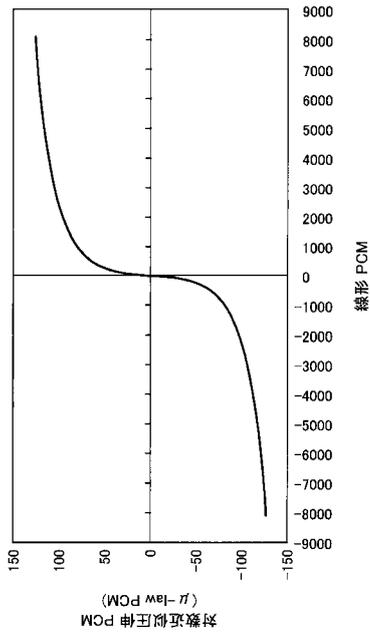


図1

【図2】

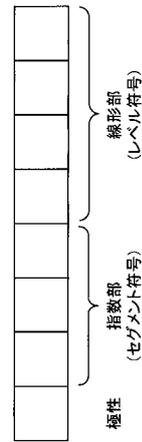


図2

【図3】

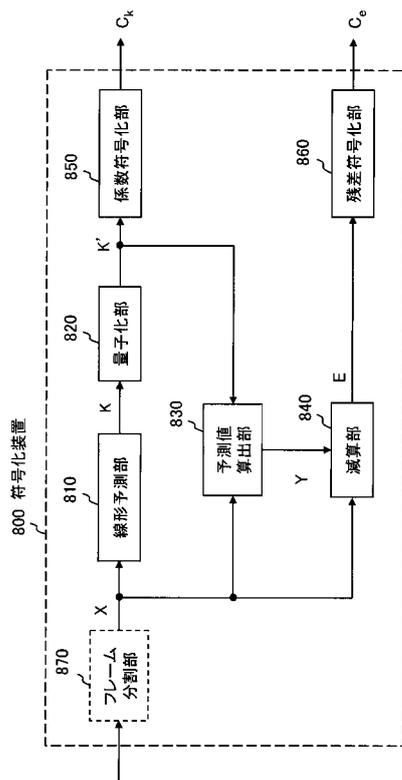


図3

【図4】

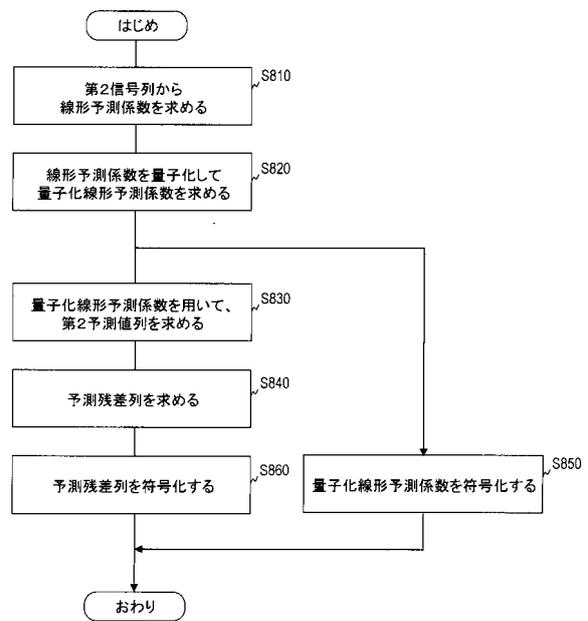


図4

【図5】

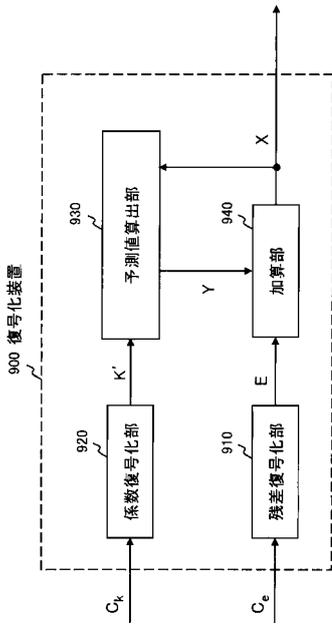


図5

【図6】

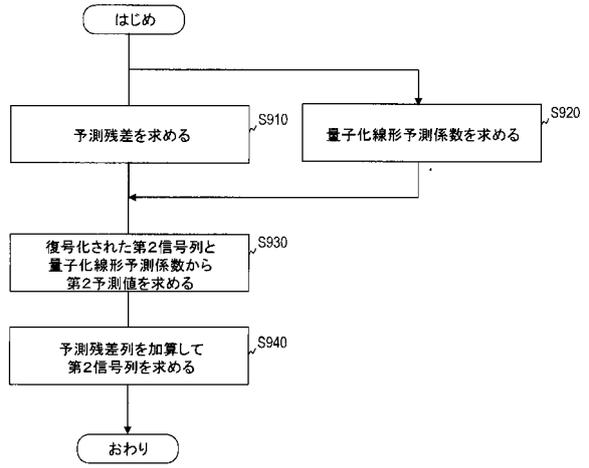


図6

【図7】

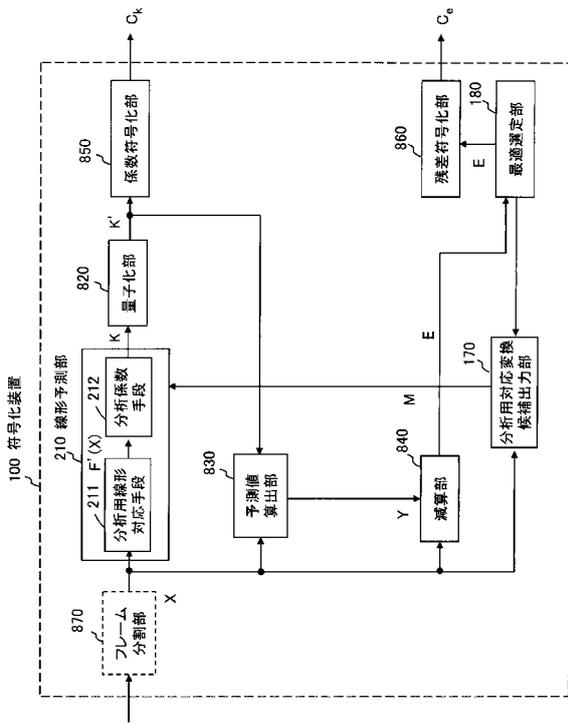


図7

【図8】

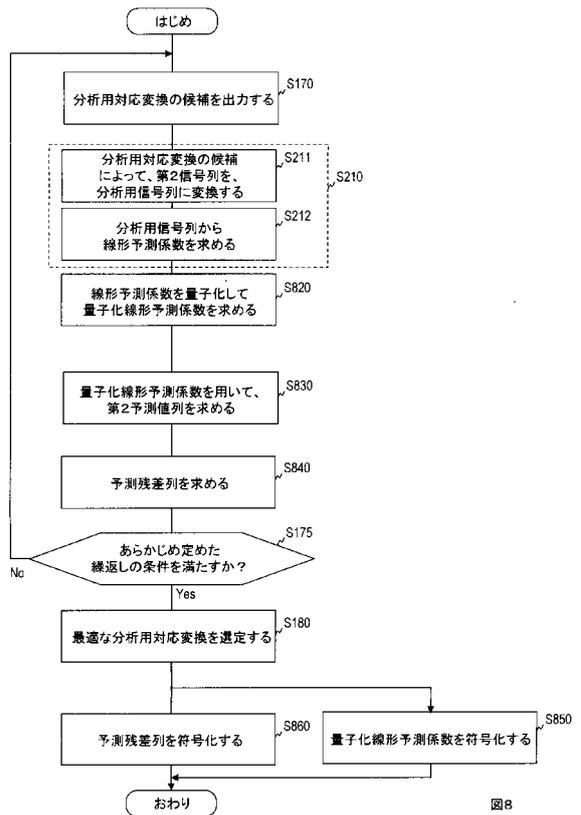


図8

【 図 9 】

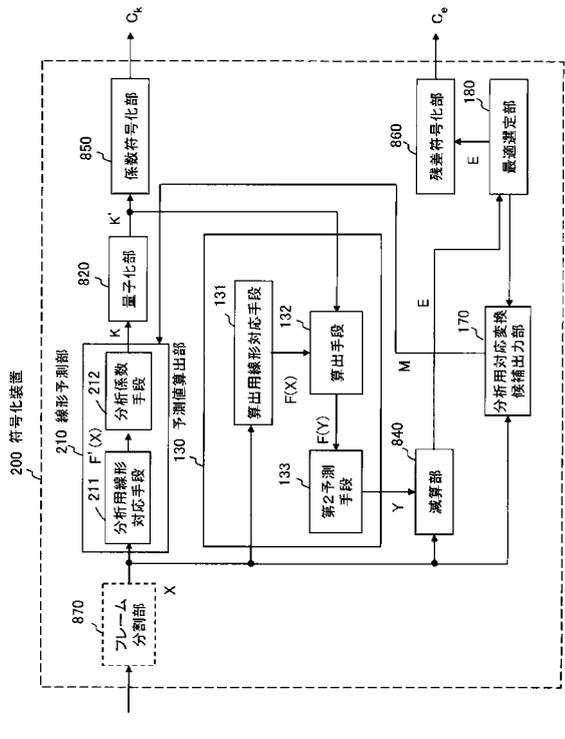


図9

【 図 10 】

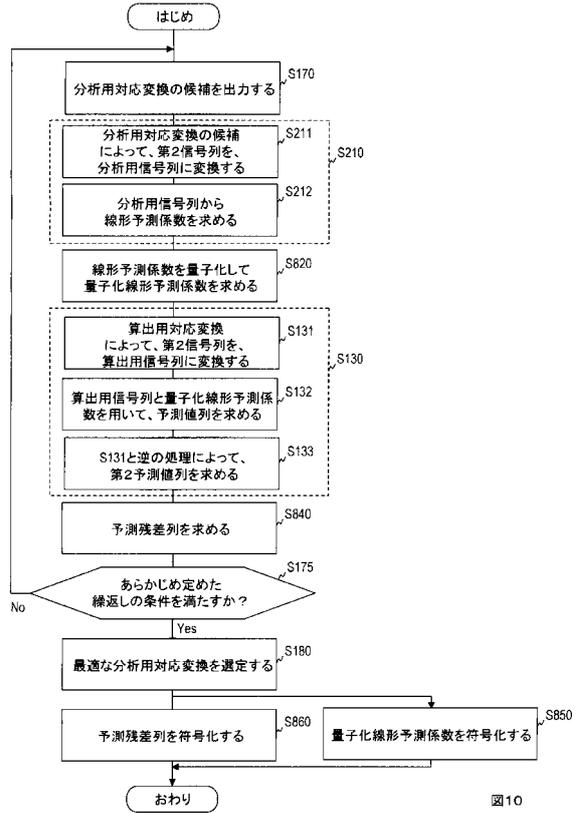


図10

【 図 11 】

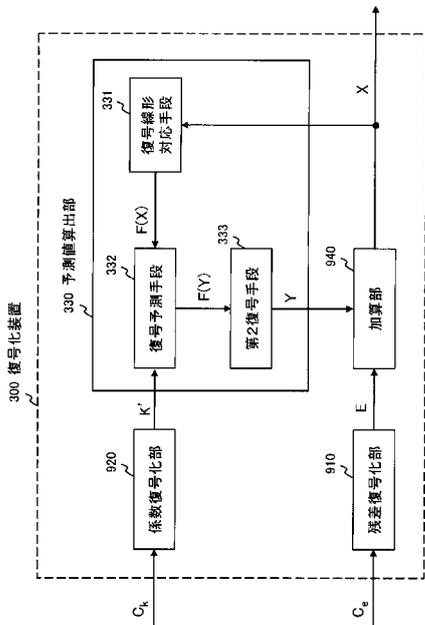


図11

【 図 12 】

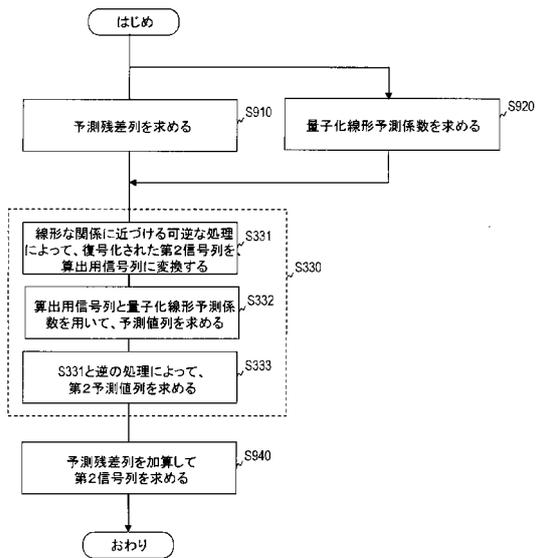


図12

【図13】

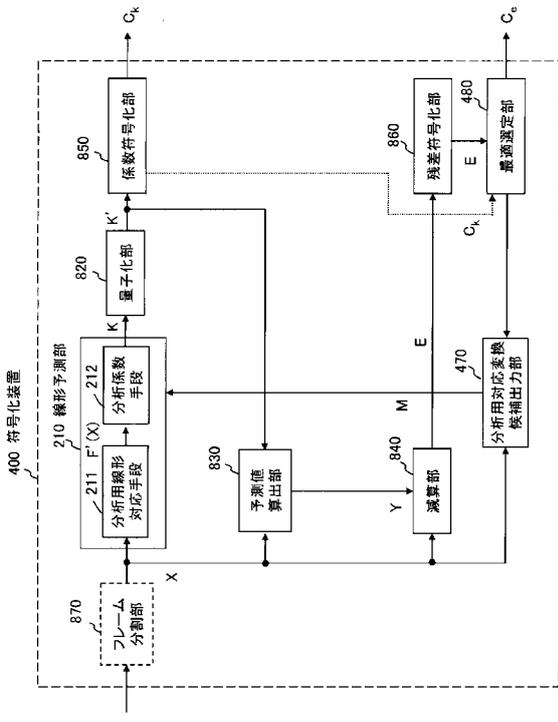


図13

【図14】

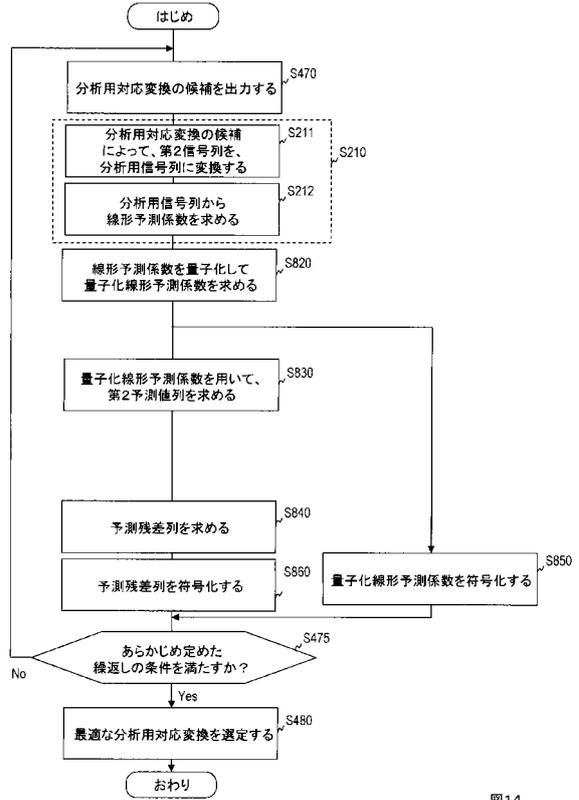


図14

【図15】

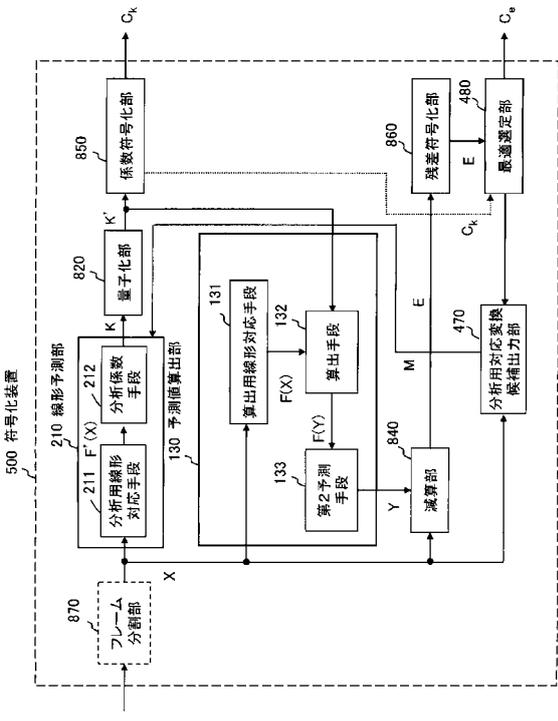


図15

【図16】

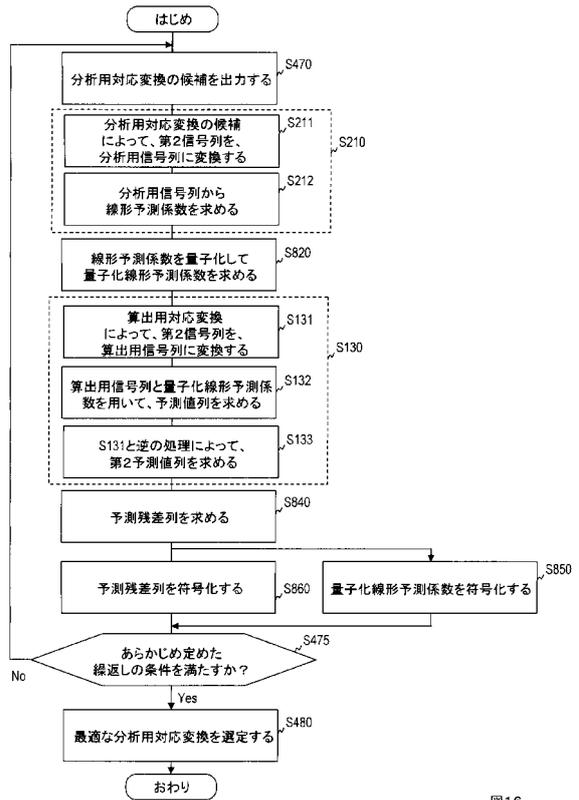


図16

【図 17 - 1】

セグメント	レベル	元の番号の大小関係を示す番号	元の番号の量子化値	元の番号の範囲	中間数値の範囲
111 ステップ2	1111	0	0	0 ~ 1	0 ~ 1g/2
	1110	g	2	1 ~ 3	1+g/2 ~ 3+3g/2
	1101	2g	4	3 ~ 5	3+3g/2 ~ 5+5g/2
	1100	3g	6	5 ~ 7	5+5g/2 ~ 7+7g/2
	1011	4g	8	7 ~ 9	7+7g/2 ~ 9+9g/2

	0001	14g	28	27 ~ 29	27+27g/2 ~ 29+29g/2
	0000	15g	30	29 ~ 31	29+29g/2 ~ 30+31g/2

(A)

セグメント	レベル	元の番号の大小関係を示す番号	元の番号の量子化値	元の番号の範囲	中間数値の範囲
110 ステップ4	1111	16g	33	31 ~ 35	31+31g/2 ~ 35+33g/2
	1110	17g	37	35 ~ 39	35+33g/2 ~ 39+35g/2
	1101	18g	41	39 ~ 43	39+35g/2 ~ 43+37g/2
	1100	19g	45	43 ~ 47	43+37g/2 ~ 47+39g/2
	1011	20g	49	47 ~ 51	47+39g/2 ~ 51+41g/2

	0001	30g	89	87 ~ 91	87+89g/2 ~ 91+91g/2
	0000	31g	93	91 ~ 95	91+91g/2 ~ 95+93g/2

(B)

図17-1

【図 17 - 2】

セグメント	レベル	元の番号の大小関係を示す番号	元の番号の量子化値	元の番号の範囲	中間数値の範囲
001 ステップ128	1111	96g	2079	2013 ~ 2143	2013+191g/2 ~ 2143+193g/2
	1110	97g	2207	2143 ~ 2271	2143+193g/2 ~ 2271+195g/2
	1101	98g	2335	2271 ~ 2399	2271+195g/2 ~ 2399+197g/2
	1100	99g	2463	2399 ~ 2527	2399+197g/2 ~ 2527+199g/2
	1011	100g	2591	2527 ~ 2655	2527+199g/2 ~ 2655+201g/2

	0001	110g	3871	3807 ~ 3835	3807+209g/2 ~ 3835+211g/2
	0000	111g	3999	3935 ~ 4063	3935+221g/2 ~ 4063+223g/2

(C)

セグメント	レベル	元の番号の大小関係を示す番号	元の番号の量子化値	元の番号の範囲	中間数値の範囲
000 ステップ256	1111	112g	4191	4063 ~ 4319	4063+223g/2 ~ 4319+225g/2
	1110	113g	4447	4319 ~ 4575	4319+223g/2 ~ 4575+227g/2
	1101	114g	4703	4575 ~ 4831	4703+195g/2 ~ 4831+229g/2
	1100	115g	4959	4831 ~ 5087	4959+197g/2 ~ 5087+231g/2
	1011	116g	5215	5087 ~ 5343	5087+199g/2 ~ 5343+233g/2

	0001	126g	7775	7547 ~ 7903	7547+251g/2 ~ 7903+253g/2
	0000	127g	8031	7903 ~ 8159	7903+253g/2 ~ 8159+255g/2

(D)

図17-2

【図 18】

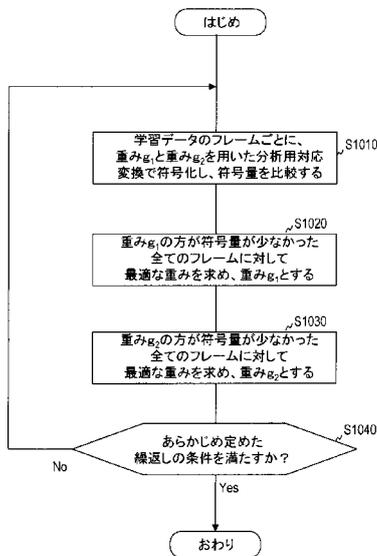


図 18

【図 19】

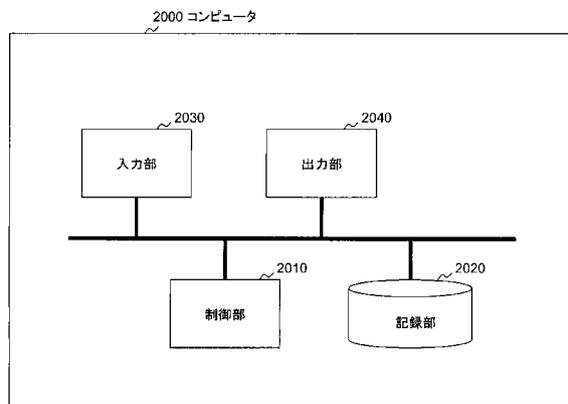


図 19

フロントページの続き

(72)発明者 原田 登

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 鎌本 優

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 田部井 和彦

(56)参考文献 国際公開第2009/072571(WO, A1)

特開平05-303399(JP, A)

特開平11-250579(JP, A)

特表2005-534955(JP, A)

特開2001-034295(JP, A)

F.Ghido, I.Tabus, Accounting for Companding Nonlinearities in Lossless Audio Compression, Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007. IEEE International Conference on , IEEE, 2007年 4月, Volume 1

M.Hans, R.W.Schafer, Lossless compression of digital audio, Signal Processing Magazine , Jul 2001, IEEE, 2001年 7月, Volume 18, Issue 4

Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies, ITU-T Recommendation G.711, 1972年, URL, http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.711-198811-1!!PDF-E&type=items

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G10L 11/00 - 21/06

H03M 3/00 - 3/04

H03M 7/30 - 7/50

IEEE Xplore