

(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2020-77969

(P2020-77969A)

(43) 公開日 令和2年5月21日(2020.5.21)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H03M 7/40 (2006.01)	H03M 7/40	5 J O 6 4
G10L 19/00 (2013.01)	G10L 19/00 220Z	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 53 頁)

(21) 出願番号	特願2018-209841 (P2018-209841)	(71) 出願人	000004226
(22) 出願日	平成30年11月7日 (2018. 11. 7)		日本電信電話株式会社
特許法第30条第2項適用申請有り ウェブサイトの掲載日 2018年1月30日 ウェブサイトのアドレス https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp https://ieeexplore.ieee.org/document/8272498 https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8272498		(74) 代理人	100121706
			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
		(72) 発明者	杉浦 亮介
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	守谷 健弘
			東京都千代田区大手町一丁目5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】 符号化装置、復号装置、符号列のデータ構造、符号化方法、復号方法、符号化プログラム、復号プログラム

(57) 【要約】

【課題】 零値ではない小さな値も含み、その分布が小さな値に大きく偏っている整数値の系列であっても、少ない平均ビット数で符号化することができる符号化復号技術を提供する。

【解決手段】 入力された非負の整数値 x_n 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ による系列（以下、「整数系列」という）について、 L を2以上の整数とし、整数系列に含まれる整数値0の L 個の連続に対応する符号として、ビット値が"x"である1ビットの符号を得、整数系列に含まれる、0個から $L-1$ 個連続する整数値0と、1個の0以外の整数値 x_i と、による組、に対応する符号として、1ビット目から K ビット目までに少なくとも1つのビット値"x"と少なくとも1つのビット値"y"を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が"y"である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号を得る整数符号化部を含む。

【選択図】 図2

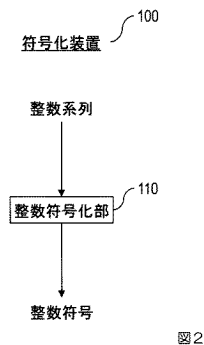


図2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入力された非負の整数値 x_i 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ による系列（以下、「整数系列」という）について、

L を2以上の整数とし、 2^k が L を上回る最小の自然数を K とし、 2^k から L を引いた自然数を p とし、 L から 2^{k-1} を引いた自然数を q とし、

ビット値" x "はビット値" 1 "でありビット値" y "はビット値" 0 "である、または、ビット値" x "はビット値" 0 "でありビット値" y "はビット値" 1 "である、として、

前記整数系列に含まれる整数値 0 の L 個の連続に対応する符号として、ビット値が" x "である1ビットの符号（以下、「符号A」という）を得、

前記整数系列に含まれる、 0 個から $L-1$ 個連続する整数値 0 と、1個の 0 以外の整数値 x_i と、による組、に対応する符号として、1ビット目から K ビット目までに少なくとも1つのビット値" x "と少なくとも1つのビット値" y "を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が" y "である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号B」という）を得る整数符号化部

を含み、

整数系列における整数値 0 の 0 個から $L-1$ 個の L 通りの連続個数のそれぞれは、

（a）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、

該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が" x "であり、2ビット目から $K+1$ ビット目までのビット値が" y "である、1通りの部分符号と、

（b）符号Bが $K \times x_i$ ビットであるときの、

該符号Bの1ビット目から K ビット目までの K ビットで構成され、1ビット目のビット値が" y "であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が" x "である、 $p-1$ 通り（すなわち、 $2^k - L - 1$ 通り）の部分符号と、

（c）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、

該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が" y "であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が" x "であり、かつ、1ビット目から K ビット目までの K ビットの組が前記（b）の $p-1$ 通り（すなわち、 $2^k - L - 1$ 通り）とは異なり、 $K+1$ ビット目のビット値が" x "または" y "である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L - 2^k$ 通り）の部分符号と、

の L 通りの部分符号のうちの何れかと一対一に対応する符号化装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の符号化装置であって、

前記整数系列は、入力された非負の整数値による系列に含まれる所定サンプル毎の整数値による系列であり、

前記整数系列ごとに、

前記整数系列に含まれる整数値に基づいてゴロムパラメータ s を求める処理と、

前記整数系列に含まれる整数値に基づいてライスパラメータ r を求める処理と、

前記整数系列について指数分布 $p(x_i, 1 - 2^{-1/L})$ に対する尤度、尤度の推定値、対数尤度、対数尤度の推定値のいずれかが最大となる符号化パラメータ L を求める処理と、の少なくとも何れかと、

ゴロムパラメータ s とライスパラメータ r と符号化パラメータ L の少なくとも何れかを符号化してパラメータ符号を得る処理と、

を行うパラメータ決定部を更に含み、

前記整数符号化部は、前記整数系列ごとに、

前記パラメータ決定部が得た符号化パラメータ L 、

または、 s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/L})$ と L で表現される指数分布 $p(x, 1 - 2^{-1/L})$ とが同一または近似の関係となるように、前記パラメータ決定部が得た前記ゴロムパラメータ

タ s から得た符号化パラメータ L 、

または、 2^i である s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-i})$ と L で表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-i})$ とが同一または近似の関係となるように、前記パラメータ決定部が得た前記ライスパラメータ r から得た符号化パラメータ L 、

を上記 L として用いる

符号化装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の符号化装置であって、

前記整数符号化部は、前記整数系列に対応する前記符号化パラメータ L が 1 以下である場合、または、前記整数系列に対応する前記ゴロムパラメータ s が 1 以上である場合、または、前記整数系列に対応する前記ライスパラメータ r が非負である場合、には、前記整数系列をゴロム符号化またはゴロムライス符号化して符号列を得る

符号化装置。

【請求項 4】

入力された符号列について、

L を 2 以上の整数とし、 2^K が L を上回る最小の自然数を K とし、 2^K から L を引いた自然数を p とし、 L から 2^{K-1} を引いた自然数を q とし、

ビット値 " x " はビット値 " 1 " でありビット値 " y " はビット値 " 0 " である、または、ビット値 " x " はビット値 " 0 " でありビット値 " y " はビット値 " 1 " である、として、

前記入力された符号列に含まれる、ビット値が " x " である 1 ビットの符号（以下、「符号 A」という）から、整数値 0 の L 個の連続を得、

前記入力された符号列に含まれる、1 ビット目から K ビット目までに少なくとも 1 つのビット値 " x " と少なくとも 1 つのビット値 " y " を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が " y " である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号 B」という）から、0 個から $L - 1$ 個連続する整数値 0 と、1 個の 0 以外の整数値 x_i と、による組を得ることにより整数値 x_i 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ による系列を得る整数復号部

を含み、

（a）符号 B が $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、

該符号 B の 1 ビット目から $K + 1$ ビット目までの $K + 1$ ビットで構成され、1 ビット目のビット値が " x " であり、2 ビット目から $K + 1$ ビット目までのビット値が " y " である、1 通りの部分符号と、

（b）符号 B が $K \times x_i$ ビットであるときの、

該符号 B の 1 ビット目から K ビット目までの K ビットで構成され、1 ビット目のビット値が " y " であり、2 ビット目から K ビット目までの $K - 1$ ビット中の少なくとも 1 ビットのビット値が " x " である、 $p - 1$ 通り（すなわち、 $2^K - L - 1$ 通り）の部分符号と、

（c）符号 B が $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、

該符号 B の 1 ビット目から $K + 1$ ビット目までの $K + 1$ ビットで構成され、1 ビット目のビット値が " y " であり、2 ビット目から K ビット目までの $K - 1$ ビット中の少なくとも 1 ビットのビット値が " x " であり、かつ、1 ビット目から K ビット目までの K ビットの組が前記（b）の $p - 1$ 通り（すなわち、 $2^K - L - 1$ 通り）とは異なり、 $K + 1$ ビット目のビット値が " x " または " y " である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L - 2^K$ 通り）の部分符号と、

の L 通りの部分符号のそれぞれは、

前記整数復号部により得られる整数値による系列における整数値 0 の 0 個から $L - 1$ 個の L 通りの連続個数のうちの何れかと一対一に対応する

復号装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の復号装置であって、

前記整数復号部は、前記入力された符号列の最初から順に、

前記入力された符号列を、連続する K ビット（以下、「 K ビット列」という）ずつ読みこむことと、

10

20

30

40

50

前記読み込まれたKビット列が"y"を含むものであるとき、該"y"を含むKビット列の直前のビットが、前記符号Aまたは前記符号Bの終端のビットであると識別することと、を行うことで、

前記入力された符号列に含まれる前記符号Aと前記符号Bを特定する復号装置。

【請求項6】

請求項4または5に記載の復号装置であって、

所定単位ごとのパラメータ符号と前記符号列とが入力され、

所定単位ごとに、前記パラメータ符号を復号してゴロムパラメータsとライスパラメータrと符号化パラメータLの少なくとも何れかを取得するパラメータ復号部を更に含み、

10

前記整数復号部は、所定単位ごとに、

前記パラメータ復号部が得た符号化パラメータL、

または、sで表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/s})$ とLで表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ とが同一または近似の関係となるように、前記パラメータ復号部が得た前記ゴロムパラメータsから得た符号化パラメータL、

または、 2^r であるsで表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/s})$ とLで表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ とが同一または近似の関係となるように、前記パラメータ復号部が得た前記ライスパラメータrから得た符号化パラメータL、

を上記Lとして用いる

復号装置。

20

【請求項7】

請求項6に記載の復号装置であって、

前記整数復号部は、前記符号化パラメータLが1以下である場合、または、前記ゴロムパラメータsが1以上である場合、または、前記ライスパラメータrが非負である場合、には、前記符号列をゴロム復号またはゴロムライス復号して整数値による系列を得る

復号装置。

【請求項8】

非負値である整数値 x_i 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ の系列（以下、「整数系列」という）を表す符号列のデータ構造であって、

Lを2以上の整数とし、 2^L がLを上回る最小の自然数をKとし、 2^L からLを引いた自然数をpとし、Lから 2^{L-1} を引いた自然数をqとし、

30

ビット値"x"はビット値"1"でありビット値"y"はビット値"0"である、または、ビット値"x"はビット値"0"でありビット値"y"はビット値"1"である、として、

前記符号列は、前記整数系列から前記符号列を得る符号化装置、または／および、前記符号列から前記整数系列を得る復号装置、で用いられるものであり、

前記整数系列に含まれる整数値0のL個の連続に対応する符号として、ビット値が"x"である1ビットの符号（以下、「符号A」という）と、

前記整数系列に含まれる、0個からL-1個連続する整数値0と、1個の0以外の整数値 x_i と、による組、に対応する符号として、1ビット目からKビット目までに少なくとも1つのビット値"x"と少なくとも1つのビット値"y"を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が"y"である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号B」という）とを含み、

40

整数系列における整数値0の0個からL-1個のL通りの連続個数のそれぞれは、

（a）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、

該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が"x"であり、2ビット目から $K+1$ ビット目までのビット値が"y"である、1通りの部分符号と、

（b）符号Bが $K \times x_i$ ビットであるときの、

該符号Bの1ビット目からKビット目までのKビットで構成され、1ビット目のビット値が"y"であり、2ビット目からKビット目までのK-1ビット中の少なくとも1ビットのビット

50

値が "x" である、 $p-1$ 通り（すなわち、 $2^{\mathbb{L}}-L-1$ 通り）の部分符号と、

（c）符号 B が $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、

該符号 B の 1 ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1 ビット目のビット値が "y" であり、2 ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも 1 ビットのビット値が "x" であり、かつ、1 ビット目から K ビット目までの K ビットの組が前記（b）の $p-1$ 通り（すなわち、 $2^{\mathbb{L}}-L-1$ 通り）とは異なり、 $K+1$ ビット目のビット値が "x" または "y" である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L-2^{\mathbb{L}}$ 通り）の部分符号と、

の L 通りの部分符号のうちの何れかと一対一に対応する
符号列のデータ構造。

【請求項 9】

符号化装置が、入力された非負の整数値 x_i 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ による系列（以下、「整数系列」という）について、

L を 2 以上の整数とし、 $2^{\mathbb{L}}$ が L を上回る最小の自然数を K とし、 $2^{\mathbb{L}}$ から L を引いた自然数を p とし、 L から $2^{\mathbb{L}-1}$ を引いた自然数を q とし、

ビット値 "x" はビット値 "1" でありビット値 "y" はビット値 "0" である、または、ビット値 "x" はビット値 "0" でありビット値 "y" はビット値 "1" である、として、

前記整数系列に含まれる整数値 0 の L 個の連続に対応する符号として、ビット値が "x" である 1 ビットの符号（以下、「符号 A」という）を得、

前記整数系列に含まれる、0 個から $L-1$ 個連続する整数値 0 と、1 個の 0 以外の整数値 x_i と、による組、に対応する符号として、1 ビット目から K ビット目までに少なくとも 1 つのビット値 "x" と少なくとも 1 つのビット値 "y" を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が "y" である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号 B」という）を得る整数符号化ステップ

を実行する符号化方法であって、

整数系列における整数値 0 の 0 個から $L-1$ 個の L 通りの連続個数のそれぞれは、

（a）符号 B が $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、

該符号 B の 1 ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1 ビット目のビット値が "x" であり、2 ビット目から $K+1$ ビット目までのビット値が "y" である、1 通りの部分符号と、

（b）符号 B が $K \times x_i$ ビットであるときの、

該符号 B の 1 ビット目から K ビット目までの K ビットで構成され、1 ビット目のビット値が "y" であり、2 ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも 1 ビットのビット値が "x" である、 $p-1$ 通り（すなわち、 $2^{\mathbb{L}}-L-1$ 通り）の部分符号と、

（c）符号 B が $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、

該符号 B の 1 ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1 ビット目のビット値が "y" であり、2 ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも 1 ビットのビット値が "x" であり、かつ、1 ビット目から K ビット目までの K ビットの組が前記（b）の $p-1$ 通り（すなわち、 $2^{\mathbb{L}}-L-1$ 通り）とは異なり、 $K+1$ ビット目のビット値が "x" または "y" である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L-2^{\mathbb{L}}$ 通り）の部分符号と、

の L 通りの部分符号のうちの何れかと一対一に対応する
符号化方法。

【請求項 10】

復号装置が、入力された符号列について、

L を 2 以上の整数とし、 $2^{\mathbb{L}}$ が L を上回る最小の自然数を K とし、 $2^{\mathbb{L}}$ から L を引いた自然数を p とし、 L から $2^{\mathbb{L}-1}$ を引いた自然数を q とし、

ビット値 "x" はビット値 "1" でありビット値 "y" はビット値 "0" である、または、ビット値 "x" はビット値 "0" でありビット値 "y" はビット値 "1" である、として、

前記入力された符号列に含まれる、ビット値が "x" である 1 ビットの符号（以下、「符号 A」という）から、整数値 0 の L 個の連続を得、

前記入力された符号列に含まれる、1 ビット目から K ビット目までに少なくとも 1 つのビ

10

20

30

40

50

ット値 "x" と少なくとも1つのビット値 "y" を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が "y" である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号 B」という）から、0個から $L-1$ 個連続する整数値0と、1個の0以外の整数値 x_i と、による組を得ることにより整数値 x_i 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ による系列を得る整数復号ステップ

を実行する復号方法であって、

（a）符号 B が $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、

該符号 B の1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が "x" であり、2ビット目から $K+1$ ビット目までのビット値が "y" である、1通りの部分符号と、

（b）符号 B が $K \times x_i$ ビットであるときの、

該符号 B の1ビット目から K ビット目までの K ビットで構成され、1ビット目のビット値が "y" であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が "x" である、 $p-1$ 通り（すなわち、 $2^i - L - 1$ 通り）の部分符号と、

（c）符号 B が $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、

該符号 B の1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が "y" であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が "x" であり、かつ、1ビット目から K ビット目までの K ビットの組が前記（b）の $p-1$ 通り（すなわち、 $2^i - L - 1$ 通り）とは異なり、 $K+1$ ビット目のビット値が "x" または "y" である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L - 2^i$ 通り）の部分符号と、

の L 通りの部分符号のそれぞれは、

前記整数復号ステップにより得られる整数値による系列における整数値0の0個から $L-1$ 個の L 通りの連続個数のうちの何れかと一対一に対応する

復号方法。

【請求項 1 1】

請求項 1 ないし 3 の何れか 1 項に記載の符号化装置としてコンピュータを機能させるための符号化プログラム。

【請求項 1 2】

請求項 4 ないし 7 の何れか 1 項に記載の復号装置としてコンピュータを機能させるための復号プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、音声や音響の時系列デジタル信号のサンプル系列などの整数値から成るサンプル系列を符号化、復号する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

圧縮を目的としてサンプル系列を符号化する技術として、サンプル値を量子化することにより得た有限精度の値（以下、これを整数値と呼ぶ）を可逆符号化することにより、サンプル系列の記述に用いるビット長を削減する技術がある。この技術においては、どの整数値に対してどの長さの符号を割り当てるかが、圧縮の性能に直結する。この事実は、画像信号のサンプル列を符号化復号する画像符号化や音響信号のサンプル列を符号化復号する音響符号化などの、サンプル系列の符号化や復号の工学的応用先においても例外ではない。

【0003】

一般的に可変長の可逆符号化においては、復号可能性の制約により、整数値に割り当てる符号の構成に制約がある。具体的には、ある整数値に対して短い符号を割り当てるとすると、復号可能な符号にするには他の整数値に対して長い符号を割り当てなければならない、という制約である。従って、圧縮性能を高くするためには、符号の構成（各整数値への符号の割り当て）は整数値の系列中の値の分布に適したものとする必要がある。具体的には、出現確率が高い整数値に対して短い符号を割り当て、出現確率が低い整数値に対し

10

20

30

40

50

ては長い符号を割り当てることで、整数値の系列の圧縮後のビット長の期待値を小さくすることができる。

【0004】

上記のような可逆符号化において最も単純な可変長符号の一つとして用いられてきたのがGolomb符号（ゴロム符号）である。Golomb符号は、整数値の系列が指数分布に属する場合、つまり整数値の出現確率が値の大きさに対して指数的に低くなっている場合において、最小な期待ビット長（最小のビット長）を達成することが知られている。

【0005】

このGolomb符号は非常に単純な構成であることから広く用いられている。Golomb符号は、例えば、音響信号をAD変換してPCMにした整数値の系列やその系列をフーリエ変換して周波数スペクトルに変換した系列などに含まれる各サンプル値を量子化値で除算して得た整数値の絶対値の系列を符号化するとき用いられる。或いは、Golomb符号は、上記整数値の系列の各サンプル値 x を下記の式(1)により求まる x' にそれぞれ置き換えた非負整数値からなる系列を符号化するとき用いられる。

【0006】

【数1】

$$x' = \begin{cases} 2|x| - 1 & (\text{if } x > 0) \\ 2|x| & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad \dots(1)$$

【0007】

従って、以下では非負整数値を符号化・復号する場合について説明するが、式(1)などにより整数値全体を非負整数値に一对一に変換できるという上記の事実から、符号化処理の前段で式(1)などにより整数値全体を非負整数値に変換したり、復号処理の後段で式(1)の逆変換などにより非負整数値を整数値全体に変換したりすることで、整数値全体の符号化・復号にも適応可能である。

【0008】

Golomb符号化は、Golombパラメータ（ゴロムパラメータ） s の値に応じて、図1の表のように、非負整数値の入力 x に対する符号が、入力 x の値が s 増える度に1ビット増加するものとし、下記の式(2)の指数分布（片側ラプラス分布）に従う非負整数値の系列に対して近似的に最適な期待ビット長を与えるように符号化できるものである。

【0009】

【数2】

$$p\left(x, 2^{-\frac{1}{s}}\right) = \left(1 - 2^{-\frac{1}{s}}\right) \cdot 2^{-\frac{x}{s}} \quad \dots(2)$$

【0010】

ただし、Golombパラメータ s は自然数である。つまり、Golombパラメータ s を小さな自然数とすれば、値の偏りの大きい系列を少ない平均ビット数で符号化でき、 s を大きな自然数とすれば、値の偏りの小さい系列を少ない平均ビット数で符号化できる。なお、 s が2のべき乗数であるGolomb符号は、特にGolomb-Rice符号（ゴロムライス符号）と呼ばれている。Golomb-Rice符号は、具体的には、非負の整数値であるRiceパラメータ（ライスパラメータ）を r とすると、Golombパラメータ $s=2^r$ を用いたときのGolomb符号である。

【0011】

しかし、入力される非負整数値の系列の現実の分布では、式(2)における s として0より大きな任意の実数値を取りうるのに対して、Golomb符号はGolombパラメータ s を1未満にすることができない。また、 $s=2^r$ となる r についていえば、入力される非負整数値の系列の現実の分布では r は任意の実数値を取りうるのに対して、Golomb-Rice符号はRiceパラメータ r を負値にすることができない。従って、例えば分布 $p(x, 2^{-\frac{1}{s}})$ に従う値の系列など、系列の値の偏りが分布 $p(x, 2^{-\frac{1}{s}})$ よりも大きくなるにつれ、Golombパラメータ s やRiceパラ

10

20

30

40

50

メータ r をどのように設定しても圧縮の効率は低下していく。

【0012】

例えば、音響信号をAD変換してPCMにするときには、大音量まで記録できるように表現可能な数値の範囲を設定しているため、多くの信号の系列に含まれる値は表現可能な数値の範囲の絶対値が小さな値のところに偏る傾向にある。特に、音声信号は発話の無い時間区間があるため、零値や背景雑音だけの非常に小さな値に偏る。また、このような信号の系列に含まれる各値を量子化値で除算して得た整数値の系列は、量子化により、元の系列よりも更に零値を含む小さな値に偏っている。

【0013】

零値に偏った整数値の系列を符号化する先行技術としては非特許文献1の技術がある。非特許文献1の技術は、入力された整数値の系列に含まれる零値は、零値が連続する個数を予め決めた固定ビット数で符号化して、入力された整数値の系列に含まれる零値以外の値は、その値から1を減算して得た値（値-1）をGolomb-Rice符号化するものである。

10

【0014】

また、零値を含む小さな値に偏った整数値の系列を符号化する先行技術としては非特許文献2の技術がある。非特許文献2の技術は、2つの整数値による組と1つの整数値を全単射なように予め紐付けておき、整数値の系列に含まれる2つの整数値による組を1つの整数値に変換し、変換後の整数値の系列をGolomb-Rice符号化するものである。

【先行技術文献】

【非特許文献】

20

【0015】

【非特許文献1】H. S. Malvar, "Adaptive Run-Length / Golomb-Rice Encoding of Quantized Generalized Gaussian Sources with Unknown Statistics", in Proc. Data Compression Conference (DCC) 06, IEEE Computer Society, pp.23-32, Mar. 2006.

【非特許文献2】高村誠之, 八島由幸, "分布写像に基づくガウス性情報源の効率的符号化", 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.9, pp.1357-1362, 2007.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

非特許文献1の技術によれば、零値については少ない平均ビット数で符号化することができる。しかし、非特許文献1の技術では零値以外についてはGolomb-Rice符号化とほぼ同じ符号化を行うので、非特許文献1の技術には、零値ではない小さな値が分布 $p(x, 2^{\lceil x \rceil})$ よりも大きく偏っている場合には、圧縮の性能が低下するという課題がある。

30

【0017】

また、非特許文献1の技術は数学的に表現される分布に対応した符号化方法ではない。従って、非特許文献1の技術には、整数値の系列における値の分布を知ったところで、零値の連続する個数を表現するために用いるビット数としてどれを選択して符号化すれば少ない平均ビット数で符号化できるのかわからないという課題もある。

【0018】

一方、非特許文献2の技術によれば、分布 $p(x, 2^{\lceil x \rceil})$ よりも値の偏っている整数値の系列を少ない平均ビット数で符号化することができる。しかし、非特許文献2の技術は、1つの整数値に対する平均ビット数を0.5ビットより小さくできず、理論上最適な平均ビット数が0.5ビット未満となるような偏りの大きい整数値の系列に対しては、圧縮の性能が低下するという課題がある。

40

【0019】

そこで本発明では、零値ではない小さな値も含み、その分布が小さな値に大きく偏っている整数値の系列であっても、少ない平均ビット数で符号化することができる符号化復号技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0020】

50

本発明の一態様は、入力された非負の整数値 x_i 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ による系列（以下、「整数系列」という）について、 L を2以上の整数とし、 $2^{\lceil L \rceil}$ が L を上回る最小の自然数を K とし、 $2^{\lceil L \rceil}$ から L を引いた自然数を p とし、 L から $2^{\lceil L \rceil}$ を引いた自然数を q とし、ビット値" x "はビット値" 1 "でありビット値" y "はビット値" 0 "である、または、ビット値" x "はビット値" 0 "でありビット値" y "はビット値" 1 "である、として、前記整数系列に含まれる整数値 0 の L 個の連続に対応する符号として、ビット値が" x "である1ビットの符号（以下、「符号A」という）を得、前記整数系列に含まれる、 0 個から $L-1$ 個連続する整数値 0 と、1個の 0 以外の整数値 x_i と、による組、に対応する符号として、1ビット目から K ビット目までに少なくとも1つのビット値" x "と少なくとも1つのビット値" y "を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が" y "である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号B」という）を得る整数符号化部を含み、整数系列における整数値 0 の 0 個から $L-1$ 個の L 通りの連続個数のそれぞれは、（a）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が" x "であり、2ビット目から $K+1$ ビット目までのビット値が" y "である、1通りの部分符号と、（b）符号Bが $K \times x_i$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から K ビット目までの K ビットで構成され、1ビット目のビット値が" y "であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が" x "である、 $p-1$ 通り（すなわち、 $2^{\lceil L \rceil} - L - 1$ 通り）の部分符号と、（c）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が" y "であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が" x "であり、かつ、1ビット目から K ビット目までの K ビットの組が前記（b）の $p-1$ 通り（すなわち、 $2^{\lceil L \rceil} - L - 1$ 通り）とは異なり、 $K+1$ ビット目のビット値が" x "または" y "である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L - 2^{\lceil L \rceil}$ 通り）の部分符号と、の L 通りの部分符号のうちの何れかと一対一に対応する。

【0021】

本発明の一態様は、入力された符号列について、 L を2以上の整数とし、 $2^{\lceil L \rceil}$ が L を上回る最小の自然数を K とし、 $2^{\lceil L \rceil}$ から L を引いた自然数を p とし、 L から $2^{\lceil L \rceil}$ を引いた自然数を q とし、ビット値" x "はビット値" 1 "でありビット値" y "はビット値" 0 "である、または、ビット値" x "はビット値" 0 "でありビット値" y "はビット値" 1 "である、として、前記入力された符号列に含まれる、ビット値が" x "である1ビットの符号（以下、「符号A」という）から、整数値 0 の L 個の連続を得、前記入力された符号列に含まれる、1ビット目から K ビット目までに少なくとも1つのビット値" x "と少なくとも1つのビット値" y "を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が" y "である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号B」という）から、 0 個から $L-1$ 個連続する整数値 0 と、1個の 0 以外の整数値 x_i と、による組を得ることにより整数値 x_i 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ による系列を得る整数復号部を含み、（a）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が" x "であり、2ビット目から $K+1$ ビット目までのビット値が" y "である、1通りの部分符号と、（b）符号Bが $K \times x_i$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から K ビット目までの K ビットで構成され、1ビット目のビット値が" y "であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が" x "である、 $p-1$ 通り（すなわち、 $2^{\lceil L \rceil} - L - 1$ 通り）の部分符号と、（c）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が" y "であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が" x "であり、かつ、1ビット目から K ビット目までの K ビットの組が前記（b）の $p-1$ 通り（すなわち、 $2^{\lceil L \rceil} - L - 1$ 通り）とは異なり、 $K+1$ ビット目のビット値が" x "または" y "である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L - 2^{\lceil L \rceil}$ 通り）の部分符号と、の L 通りの部分符号のそれぞれは、前記整数復号部により得られた整数値による系列における整数値 0 の 0 個から $L-1$ 個の L 通りの連続個数のうちの何れかと一対一に対応する。

【0022】

10

20

30

40

50

本発明の一態様は、非負値である整数値 x_i 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ の系列（以下、「整数系列」という）を表す符号列のデータ構造であって、 L を2以上の整数とし、 2^k が L を上回る最小の自然数を K とし、 2^k から L を引いた自然数を p とし、 L から 2^{k-1} を引いた自然数を q とし、ビット値" x "はビット値" 1 "でありビット値" y "はビット値" 0 "である、または、ビット値" x "はビット値" 0 "でありビット値" y "はビット値" 1 "である、として、前記符号列は、前記整数系列から前記符号列を得る符号化装置、または／および、前記符号列から前記整数系列を得る復号装置、で用いられるものであり、前記整数系列に含まれる整数値 0 の L 個の連続に対応する符号として、ビット値が" x "である1ビットの符号（以下、「符号A」という）と、前記整数系列に含まれる、 0 個から $L-1$ 個連続する整数値 0 と、1個の 0 以外の整数値 x_i と、による組、に対応する符号として、1ビット目から K ビット目までに少なくとも1つのビット値" x "と少なくとも1つのビット値" y "を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が" y "である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号B」という）とを含み、整数系列における整数値 0 の 0 個から $L-1$ 個の L 通りの連続個数のそれぞれは、（a）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が" x "であり、2ビット目から $K+1$ ビット目までのビット値が" y "である、1通りの部分符号と、（b）符号Bが $K \times x_i$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から K ビット目までの K ビットで構成され、1ビット目のビット値が" y "であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が" x "である、 $p-1$ 通り（すなわち、 $2^k - L - 1$ 通り）の部分符号と、（c）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が" y "であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が" x "であり、かつ、1ビット目から K ビット目までの K ビットの組が前記（b）の $p-1$ 通り（すなわち、 $2^k - L - 1$ 通り）とは異なり、 $K+1$ ビット目のビット値が" x "または" y "である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L - 2^k$ 通り）の部分符号と、の L 通りの部分符号のうちの何れかと一対一に対応する。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、零値ではない小さな値も含んで小さな値に大きく偏っている整数値の系列や、非特許文献2の技術では対応しきれないくらいに値の偏った整数値の系列であっても、少ない平均ビット数で符号化することができる。また、そのような符号を復号することができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】非負整数値の入力 x に対するGolomb符号を示す図である。

【図2】符号化装置100の構成の一例を示すブロック図である。

【図3】符号化装置100の動作の一例を示すフローチャートである。

【図4】 $K=2$ のときの符号木の一例を示す図である。

【図5】 $K=3$ のときの符号木の一例を示す図である。

【図6】 K を一般化したときの符号木の一例を示す図である。

【図7】復号装置150の構成の一例を示すブロック図である。

【図8】復号装置150の動作の一例を示すフローチャートである。

【図9】 $K=2$ のときの対応表の一例を示す図である。

【図10】 $K=3$ のときの対応表の一例を示す図である。

【図11】 $L=2$ または $L=3$ のときの符号木の一例を示す図である。

【図12】 $L=4$ または $L=5$ のときの符号木の一例を示す図である。

【図13】 L を一般化したときの符号木の一例を示す図である。

【図14】 $L=3$ のときの対応表の一例を示す図である。

【図15】 $L=5$ のときの対応表の一例を示す図である。

【図16】符号化装置400の構成の一例を示すブロック図である。

【図 17】符号化装置 400 の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 18】復号装置 450 の構成の一例を示すブロック図である。

【図 19】復号装置 450 の動作の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。なお、同じ機能を有する構成部には同じ番号を付し、重複説明を省略する。

【0026】

<第一実施形態>

《符号化装置》

10

図 2 及び図 3 を参照して、第一実施形態の符号化装置 100 が実行する符号化方法の処理手続きを説明する。第一実施形態の符号化装置 100 は、図 2 に示す通り、整数符号化部 110 を含む。第一実施形態の符号化装置 100 が図 3 に示す各ステップの処理を実行することにより、第一実施形態の符号化方法が実現される。

【0027】

第一実施形態の符号化装置 100 には、非負の整数値の系列が入力される。この非負の整数値の系列としては、例えば、マイクロホンで収音した音声や音楽などをデジタル信号に変換して得た信号やカメラで撮像した画像や映像をデジタル信号に変換して得た信号などの信号の一部あるいは全部を既存の技術により量子化して有限精度の値にして得た整数値の絶対値による系列、または、整数値を x として式(1)により得た x' による系列を

20

入力してもよい。

【0028】

第一実施形態の符号化装置 100 は、予め定めた複数の符号木を予め定めた規則に則って用い、非負の整数値の系列を可変長符号化することで、Golomb符号化やGolomb-Rice符号化が想定している指数分布よりも偏りの大きな分布の非負の整数値の系列に対して、Golomb符号化やGolomb-Rice符号化よりも短いビット長となる符号化処理を実現するものである。ここで符号木とは、入力された非負の整数値に対してどの符号を割り当てるかの予め定めた規則を表すグラフのことを指す。以下では、符号化装置 100 に入力された非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0029】

30

[整数符号化部 110]

整数符号化部 110 には、符号化装置 100 に入力された整数値の系列のうちの、 N サンプル (N は自然数) ずつの整数値による系列が入力される。入力された整数値による系列を整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ とする。整数符号化部 110 は、整数符号化部 110 内に予め記憶したまたは図示しない手段により入力された 2 以上の自然数である符号化パラメータ K に基づき、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を以下の符号木を用いた符号化処理で符号化して符号を得、得た符号を整数符号として出力する (S110)。以下では、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ の各整数が x_n (n は系列中のサンプル番号であり、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$) であるとして説明を行う。

【0030】

40

[[符号化処理に用いる符号木]]

まず、整数符号化部 110 における符号化処理に用いる符号木を例示する。

【0031】

整数符号化部 110 には、図 4 から図 6 に例示するような 2^{K-1} 個 (2 の $K-1$ 乗個) の符号木が予め記憶されている。図 4 は $K=2$ のときの符号木の例であり、 $T(0)$ と $T(1)$ のそれぞれが符号木である。図 5 は $K=3$ のときの符号木の例であり、 $T(0)$ から $T(3)$ のそれぞれが符号木である。図 6 は K を一般化したときの符号木の例であり、 $T(0)$ から $T(2^{K-1}-1)$ のそれぞれが符号木である。以下では、 T に付された括弧内の番号を符号木番号と呼ぶ。

【0032】

[[符号木における入力された整数値と当該整数値に対応する符号との関係]]

50

次に、各符号木における入力された整数値と当該整数値に対応する符号との関係を説明する。

【0033】

各符号木のノードの右側にある三角で囲まれている整数値は入力された整数値に対応している。また、各符号木のエッジの左側にあるビット値 '0' 及び '1' は入力された整数値に割り当てる符号の規則に対応している。この規則は、符号木の上端のノードから入力された整数値に対応するノードまでのエッジの左側にあるビット値を並べたものを入力された整数値に割り当てる符号として得る規則である。

【0034】

2^{k-1} 個の符号木のうちの1つの符号木は、図4から図6の $T(0)$ に対応するものであり、入力された整数値 x_i に対応する符号として、ビット数が $K \times x_i + 1$ ビットであり、最初の1ビット目のビット値が '1' であり、2ビット目から $K \times x_i + 1$ ビット目までのビット値が '0' である符号を得る規則に対応する符号木である。なお、この符号木によれば、入力された整数値 x_i が0である場合には、符号のビット数 $K \times x_i + 1$ は1ビットであるため、ビット値が '1' である1ビットの符号を得ることになる。

10

【0035】

2^{k-1} 個の符号木のうちの上記以外の $2^{k-1} - 1$ 個の符号木は、図4から図6の $T(1)$ から $T(2^{k-1} - 1)$ までに対応するものであり、入力された整数値 x_i に対応する符号として、ビット数が $K \times x_i$ ビットであり、最初の1ビット目のビット値が '0' であり、2ビット目から K ビット目までの $K - 1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が '1' であり、 $K + 1$ ビット目から $K \times x_i$ ビット目までの $K \times (x_i - 1)$ ビットのビット値が '0' である、すなわち、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットのビット値が '0' である符号を得る規則に対応する符号木である。ここで、2ビット目から K ビット目までの $K - 1$ ビットは $2^{k-1} - 1$ 個の符号木のそれぞれに一つ一つに対応するビット群である。なお、これら符号木によれば、入力された整数値 x_i が0である場合には、符号のビット数 $K \times x_i$ は0ビットであるため、符号を得ないことになる。

20

【0036】

例えば、図4の $K = 2$ の場合における入力された整数値と当該整数値に対応する符号の規則は、入力された整数値0を符号木 $T(0)$ で符号化する場合には、入力された整数値0に対応する符号として '1' を得、入力された整数値1を符号木 $T(0)$ で符号化する場合には、入力された整数値1に対応する符号として '100' を得、入力された整数値2を符号木 $T(0)$ で符号化する場合には、入力された整数値2に対応する符号として '10000' を得、入力された整数値0を符号木 $T(1)$ で符号化する場合には、入力された整数値0に対応する符号を得ず、入力された整数値1を符号木 $T(1)$ で符号化する場合には、入力された整数値1に対応する符号として '01' を得、入力された整数値2を符号木 $T(1)$ で符号化する場合には、入力された整数値2に対応する符号として '0100' を得る、という規則である。

30

【0037】

[[複数の符号木を用いる規則]]

次に、複数の符号木を用いる規則について説明する。整数符号化部110には、複数の符号木を用いる規則も予め記憶されている。以下では、複数の符号木を用いる規則のことを符号木の遷移の規則ともいう。

40

【0038】

図4から図6の各符号木のノードの右側にある整数値を囲む三角の向きは、複数の符号木を用いる規則に対応している。

【0039】

右向きの三角は、入力された整数値の次の整数値を符号化する際には、右隣の符号木（符号木番号が1つ大きい符号木）を用いる規則を表す。なお、その際、最も右にある符号木（符号木番号が最も大きい符号木）の右隣は最も左にある符号木（符号木番号が最も小さい符号木）であるとする。なお、この規則はあくまでも一例であって、 2^{k-1} 個の符号木を巡回的に用いる規則であればどのような規則であってもよい。すなわち、各符号木について、右向きの三角のときに次の整数値の符号化には異なる符号木を用いる規則であって

50

、全ての符号木について、右向きの三角のときに次の整数値の符号化に用いる符号木が重複しない規則であれば、どのような規則であってもよい。

【0040】

下向き三角は、入力された整数値の次の整数値を符号化する際には、符号木T(1)を用いる規則を表す。なお、この規則もあくまでも一例であって、下向き三角のときには、図4から図6のT(0)に対応する符号木において右向き三角のときに次の整数値の符号化に用いる符号木を、次の整数値の符号化に用いる符号木とする規則としてもよい。

【0041】

例えば、図4のK=2の場合の符号木を用いた符号化の規則は、入力された整数値0を符号木T(1)で符号化する場合には、入力された整数値0に対応する符号は得ずに次の整数値を符号化する際に用いる符号木をT(0)とする規則であり、入力された整数値2を符号木T(0)で符号化する場合には、入力された整数値2に対応する符号として '10000' を得て、次の整数値を符号化する際に用いる符号木をT(1)とする規則である。

【0042】

複数の符号木のうちの何れの符号木を符号化処理の最初に用いてもよいが、何れの符号木を符号化処理の最初に用いるかの規則も、複数の符号木を用いる規則として予め定めて記憶しておく。例えば、図4のK=2の場合において、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を整数値 x_1 から順に符号化する場合には、整数値 x_1 をT(0)で符号化する規則としてもよいし、整数値 x_1 をT(1)で符号化する規則としてもよいが、T(0)とT(1)の何れを整数値 x_1 の符号化に用いるかは予め定めて記憶しておく。

【0043】

[[符号木を用いた符号化処理]]

整数符号化部110は、上述した複数の符号木を用いて、複数の符号木を用いる上述した規則に従って、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に含まれる各整数値を予め定めた順に符号化して符号を得、得た符号を整数符号として出力する。例えば、予め定めた順が系列中のサンプル番号順であり、最初に用いる符号木がT(0)である場合に整数符号化部110が行う符号化手順は下記の通りである。

(符号化手順)

1. サンプル番号n,符号木番号の初期値をそれぞれ1,0とする。
2. $n=N$ となるまで以下の(i)~(iv)を繰り返す。
 - (i) 符号木番号が0なら符号 '1' を得る。
 - (ii) 整数値 $x_n=0$ なら、符号木番号に1を加算したものを新たな符号木番号とする。この際、1を加算して符号木番号が 2^{K-1} となった場合には0を新たな符号木番号とする。
 - (iii) 整数値 $x_n \neq 0$ なら、1ビットの '0' と符号木に一対一に対応する対応するK-1ビットとによるKビットの符号を得、さらに、 $K \times (x_n - 1)$ ビットの符号 '0' を得て、1を新たな符号木番号とする。
 - (iv) n に1を加算したものを新たなnとする。
3. 1~2により得た符号のうちの最初に得た符号 '1' を取り除く。
(あるいは始めの1回の2.(i)操作を行わない。)
4. 1~3により得た符号の最後に符号 '1' (終端符号) を加える。
5. 1~4により得た符号を整数符号として出力する。

【0044】

なお、符号化手順のうちの3を行うのは必須ではない。最初に用いる符号木がT(0)である場合には、 x_1 の値がどのような値であっても、1~2により得た符号のうちの最初に得た符号は '1' である。従って、最初に得た符号 '1' を取り除いたものを整数符号として符号化装置100が出力しても、復号装置150が入力された整数符号の最初に符号 '1' を加えれば、符号化装置100の整数符号化部110が行った符号化処理に対応する復号処理を復号装置150が行うことが可能である。このことから、符号化手順の3では最初に得た符号 '1' を取り除いている。しかし、必ずしも符号化手順の3を行う必要はなく、1~2により得た符号のうちの最初に得た符号 '1' を取り除かないでもよい。この場合に

は、対応する復号装置 150 が、入力された整数符号の最初に符号 '1' を加える処理を行わないようにすればよく、符号化手順のうちの3は行わないでもよい。

【0045】

また、符号化装置 100 から復号装置 150 への整数符号の伝え方によっては、符号化手順のうちの4は行わないでもよい。復号装置 150 における復号の手順は後述するが、整数符号化部 110 が行った符号化処理に対応する復号処理を復号装置 150 が行うためには、復号装置 150 が整数符号の終端を特定できる必要がある。符号化装置 100 から復号装置 150 への整数符号の伝える構成として、例えば、符号化装置 100 内または符号化装置 100 の後段において整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ について得た整数符号を周知の packets 化の手法を用いて packets に格納して復号装置 150 に伝える構成を採用することができる。この場合には、復号側では、復号装置 150 内または復号装置 150 の前段において packets から整数符号を取り出す構成を採用することになるので、復号装置 150 が整数符号の終端を特定できる。従って、このような場合には、符号化手順のうちの4は行わないでもよい。符号化装置 100 から復号装置 150 への整数符号の伝える構成としては、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ について得た整数符号の後ろに別の符号を連結させたものを上述した packets に格納して復号装置 150 に伝える構成や、上述した packets 化を行わずに整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ について得た整数符号の後ろに別の符号を連結させて復号装置 150 に伝える構成などを採用することもある。これらの構成において、符号化手順のうちの4を行わなかったとすると、後ろに連結させた符号が '0000' であるときなどには、N 番目の整数値に対応する符号がどこまでであり、後ろに連結させた符号がどこからであるか、を復号装置 150 が判別できなくなってしまう。そこで、これらの構成においては、予め定めた同じ N の値を符号化装置 100 と復号装置 150 に記憶しておくことなどによって、整数符号が N 個の整数値に対応するものであることを復号装置 150 が把握可能なようにするとともに、符号化手順のうちの4も行って、整数符号の終端を復号装置 150 が特定できるようする必要がある。

【0046】

なお、上述した説明の符号 '0' は 2 値のビット値のうちの何れか一方のビット値、上述した説明の符号 '1' は 2 値のビット値のうちの他方のビット値、の例である。すなわち、当然のことながら、上述した説明の符号 '0' に代えて符号 '1' を用い、符号 '1' に代えて符号 '0' を用いてもよい。

【0047】

[[符号化処理の例]]

符号化処理の例として、 $K=2$ で最初に用いる符号木が $T(0)$ である場合の、入力された整数系列 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 が 0, 0, 2, 0, 0 である場合の符号化処理を説明する。まず、1 番目の整数値 $x_1=0$ は $T(0)$ で符号化するので符号 '1' を得、符号木番号 0 に 1 を加算したものを新たな符号木番号とするので、次の整数値 $x_2=0$ の符号化に用いる符号木を $T(1)$ とする。2 番目の整数値 $x_2=0$ は $T(1)$ で符号化するので符号は得ず、符号木番号 1 に 1 を加算したものを符号木番号とするが、1 を加算した符号木番号が 2^{K-1} となったので 0 を新たな符号木番号とし、次の整数値 $x_3=2$ の符号化に用いる符号木を $T(0)$ とする。3 番目の整数値 $x_3=2$ は $T(0)$ で符号化するので符号 '10000' を得、新たな符号木番号を 1 とする規則であるので、次の整数値 $x_4=0$ の符号化に用いる符号木を $T(1)$ とする。4 番目の整数値 $x_4=0$ は $T(1)$ で符号化するので符号は得ず、符号木番号 1 に 1 を加算したものを符号木番号とするが、1 を加算した符号木番号が 2^{K-1} となったので 0 を新たな符号木番号とし、次の整数値 $x_5=0$ の符号化に用いる符号木を $T(0)$ とする。最後の整数値 $x_5=0$ は $T(0)$ で符号化するので符号 '1' を得る。ここまでで得られた符号は '1100001' であるが、上述した符号化手順の3を行い上述した符号化手順の4を行わない場合には、最初に得た符号 '1' を省略し、最終的な整数符号 '100001' を得る。

【0048】

《復号装置》

図 7 及び図 8 を参照して、第一実施形態の復号装置 150 が実行する復号方法の処理手

続きを説明する。第一実施形態の復号装置 150 は、図 7 に示す通り、整数復号部 160 を含む。第一実施形態の復号装置 150 が図 8 に示す各ステップの処理を実行することにより、第一実施形態の復号方法が実現される。

【0049】

第一実施形態の復号装置 150 には、第一実施形態の符号化装置 100 が出力した整数符号が入力される。第一実施形態の復号装置 150 は、入力された整数符号を、第一実施形態の符号化装置 100 に対応する予め定めた複数の符号木を第一実施形態の符号化装置 100 に対応する予め定めた規則に則って用いた復号処理で復号して非負の整数値の系列を得ることで、第一実施形態の符号化装置 100 に入力された非負の整数値の系列そのものを復元するものである。以下では、上述した符号化装置 100 の説明と同様に、非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

10

【0050】

[整数復号部 160]

整数復号部 160 には、復号装置 150 に入力された整数符号が入力される。整数復号部 160 は、符号化装置 100 の整数符号化部 110 が用いた符号化パラメータ K と同じ値であり、整数復号部 160 内に予め記憶したまたは図示しない手段により入力された 2 以上の自然数である符号化パラメータ K に基づき、入力された整数符号を以下の符号木を用いた復号処理で復号して整数値の系列を得、得た整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を出力する (S160)。以下では、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ の各整数が x_i (n は系列中のサンプル番号であり、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$) であるとして説明を行う。

20

【0051】

復号処理に用いる符号木は、第一実施形態の符号化装置 100 の整数符号化部 110 が用いる符号木と同じであり、整数復号部 160 には、図 4 から図 6 に例示するような 2^{K-1} 個 (2 の $K-1$ 乗個) の符号木が予め記憶されている。復号処理における符号木における入力された符号と当該符号に対応する整数値との関係及び複数の符号木を用いる規則は、第一実施形態の符号化装置 100 の整数符号化部 110 の符号化処理における規則に対応するものであり、第一実施形態の符号化装置 100 の整数符号化部 110 の符号化処理における規則の「入力された整数値に割り当てる符号」を「入力された符号」と読み替え、「入力された整数値」を「入力された符号に割り当てる整数値」と読み替えた規則であり、整数復号部 160 に予め記憶されている。なお、復号処理において何れの符号木を最初に用いるかの規則も、第一実施形態の符号化装置 100 の整数符号化部 110 が用いた規則と同じ規則であり、整数復号部 160 に予め記憶しておく。

30

【0052】

整数復号部 160 は、上述した複数の符号木を用いて、複数の符号木を用いる上述した規則に従って、入力された整数符号に対応する整数値による列を得て、得られた整数値による列の各整数を予め定めた順としたものを、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ として得て出力する。例えば、予め定めた順が系列中のサンプル番号順であり、最初に用いる符号木が $T(0)$ である場合に整数復号部 160 が行う復号手順は、例えば、下記の復号手順 1 や復号手順 2 の通りである。

【0053】

(復号手順 1-1) 符号化手順 4 による終端符号の追加を行っていない場合、すなわち、整数符号の終端を復号装置 150 が特定可能な場合

40

1. 符号化手順 3 で符号 '1' を取り除いた場合は、整数符号の最初に符号 '1' を追加する。

2. 符号木番号の初期値を 0 とする。

3. 読み込んでない整数符号がなくなるまで以下 (i) ~ (ii) を繰り返し、読み込んでない整数符号がなくなったら 4 に進む。

(i) 入力された整数符号を順に、符号木番号に対応する符号木に読み込んだ符号に対応する符号がある間 (すなわち、符号木番号に対応する符号木に読み込んだ符号に対応する符号がなくなる 1 つ前のビットまで)、読み込む。

50

(ii) 符号木番号に対応する符号木から、読み込んだ符号に対応する符号に対応する整数値を得て、当該符号木の整数値についての符号木の遷移の規則に従って新たな符号木番号を得る。

4. 3の(ii)で得た整数値による系列を整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ として出力する。

【0054】

(復号手順1-2) 符号化手順4による終端符号の追加を行った場合、すなわち、整数符号の終端を復号装置150が特定できない場合

1. 符号化手順3で符号'1'を取り除いた場合は、入力された符号列(整数符号と後続する別符号による符号列)の最初に符号'1'を追加する。

2. サンプル番号 n , 符号木番号の初期値をそれぞれ1, 0とする。

10

3. $n=N$ となるまで以下(i)~(ii)を繰り返す。

(i) 入力された符号列を順に、符号木番号に対応する符号木に読み込んだ符号に対応する符号がある間(すなわち、符号木番号に対応する符号木に読み込んだ符号に対応する符号がなくなる1つ前のビットまで)、読み込む。

(ii) 符号木番号に対応する符号木から、読み込んだ符号に対応する符号に対応する整数値を得て、当該符号木の整数値についての符号木の遷移の規則に従って新たな符号木番号を得て、 n に1を加算したものを新たな n とする。

4. 3の(ii)で得た整数値による系列を整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ として出力する。

【0055】

(復号手順2)

20

1. 符号化手順4で終端符号の追加を行っていない場合は、入力された符号列の最後に終端符号'1'を追加する。また、符号化手順3で符号'1'を取り除かなかった場合は、入力された符号列の最初に符号'1'を取り除く。

2. サンプル番号 n , 符号木番号の初期値をそれぞれ1, 0とする。

3. $n \geq N$ となるまで以下(i)~(v)を繰り返す。

(i) K ビット全てが符号'0'である間、入力された符号列を順に K ビットずつ読み、その間読んだ符号'0'の個数を K で割った数を Z とする。

(ii) 符号木番号が0なら、整数値 Z を得る。

(iii) 符号木番号が0でないなら、整数値 $(Z+1)$ を得る。

(iv) 入力された符号列の次の1ビットが符号'1'なら、その1ビットを読み、 $(2^{K-1}-1)$ 個の整数値0を得、0を新たな符号木番号にして、 n に 2^{K-1} を加算したものを新たな n とする。

30

(v) 入力された符号列の次の1ビットが符号'0'なら、その1ビットを含む K ビットを読み、その K ビットのうちの最初の1ビットを除いた残りの $K-1$ ビットが対応する符号木の番号を新たな符号木番号とし、(新たな符号木番号-1)個の整数値0を得、 n に新たな符号木番号を加算したものを新たな n とする。

4. 得られた整数値が N 個よりも多い場合、 $N+1$ 個目の整数値以降は取り除く。

【0056】

[[復号処理の例]]

復号処理の例として、 $K=2$ で最初に用いる符号木が $T(0)$ である場合の、上述した符号化処理の例で得た整数符号'100001'を上記した復号手順1-1で復号する場合の復号処理を説明する。まず、整数符号'100001'の先頭に符号'1'を追加して整数符号を'1100001'とする。次に、整数符号'1100001'の最初の1ビットである'1'は符号木 $T(0)$ に対応する符号があるものの、最初の2ビットである'11'は符号木 $T(0)$ に対応する符号がないことから、整数符号の最初の1ビットである'1'を読み込み、'1'に対応する整数値0を得て、次に用いる符号木を $T(1)$ とする。次に、整数符号の残りの'100001'の最初の1ビットである'1'は符号木 $T(1)$ に対応する符号がないことから、最初の1ビットも読み込まず、0ビットに対応する整数値0を得て、次に用いる符号木を $T(0)$ とする。次に、整数符号の残りの'100001'の最初の1ビットである'1'から最初の5ビットである'10000'までは対応する符号が符号木 $T(0)$ にあるものの、整数符号の残りの'100001'の最初の6ビットである'100001'は対応する符号が符号木 $T(0)$ にないことから、整数符号の残りの

40

50

'100001'の最初の5ビットである'10000'を読み込み、'10000'に対応する整数値2を得て、次に用いる符号木をT(1)とする。次に、整数符号の残りの'1'は対応する符号が符号木T(1)にないことから、最初の1ビットも読み込まず、0ビットに対応する整数値0を得て、次に用いる符号木をT(0)とする。次に、整数符号の残りの'1'は対応する符号が符号木T(0)にあり、この'1'以降には読み込んでない整数符号がないことから、'1'に対応する整数値0を得て、これらの処理により得た整数値0, 0, 2, 0, 0による系列を整数系列 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 として出力する。

【0057】

本実施形態の発明によれば、零値ではない小さな値も含んで小さな値に大きく偏っている整数値の系列や、非特許文献2の技術では対応しきれないくらいに値の偏った整数値の系列であっても、少ない平均ビット数で符号化することができる。また、そのような符号を復号することができる。

【0058】

<第一実施形態の発明の原理の説明>

ここで本発明の原理を説明する。

【0059】

第一実施形態の符号化装置100によれば、全ての非負整数値に対して符号を割り当てる事が可能であり、当該符号を第一実施形態の復号装置150が復号することにより非負整数値そのものを復元可能とするものである。図4から図6に示した通り、非負整数値 x_i に対応する符号は $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットである。このことから、第一実施形態で用いた本発明の符号は、下記の式(3)で示す偏りの大きな指数分布（片側ラプラス分布）に従う非負整数値の系列に対して近似的に最適な期待ビット長を与える符号であり、小さな値に大きく偏った非負整数値の系列に対する平均ビット数をGolomb符号やGolomb-Rice符号よりも少なくすることができる符号である。

【0060】

【数3】

$$p(x, 2^{-K}) = (1 - 2^{-K}) \cdot 2^{-Kx} \quad \dots (3)$$

【0061】

式(2)で示したGolomb符号が最適な分布 $p(x, 2^{-1/s})$ と、式(3)で示した本発明の符号が最適な分布 $p(x, 2^{-K})$ と、の対応関係から、本発明の符号化パラメータ K の逆数はGolombパラメータ s に対応していることがわかる。また、本発明の符号化パラメータ K が正の整数値であることから、符号化パラメータ K の逆数は1未満の値となるので、符号化パラメータ K は0より大きく1より小さい値に拡張したGolombパラメータに対応するパラメータとして解釈することができる。また、Riceパラメータ r はGolombパラメータ s の対数値に相当するので、上記同様に符号化パラメータ K は負値に拡張したRiceパラメータに対応するパラメータとしても解釈することができる。つまり、非負整数値の系列に最適なGolombパラメータやRiceパラメータの推定を行うことにより、非負整数値の系列に割り当てる本発明の符号における最適なパラメータ K を推定することができるということである。

【0062】

第一実施形態の符号化装置100と復号装置150で用いた本発明の符号木における整数値と当該整数値に対応する符号との関係、及び、複数の符号木を用いる規則、は、非負整数値 x_i に対応する符号を $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットとすることだけではなく、復号可能な符号とすることも考慮して設計したものである。具体的には、整数値0の 2^{K-1} 個の連続に対しては1ビットの符号である'1'を割り当て、整数値0の0個から $2^{K-1} - 1$ 個の連続とそれに後続する1つの非負整数値 $x_i \neq 0$ に対しては、最初の K ビットの中に少なくとも1ビットのビット値'1'が含まれ、かつ、 $K+1$ ビット目以降のビット値が'0'である符号を割り当てるという制約を設けている。この制約を設けていることにより、複数の整数値からなる整数系列に対応する整数符号を復号装置150で読み込む際に、 K ビット中にビット値'1'が含まれる部分に、整数符号中のある符号と1つ後の符号との境界が含

まれることが分かるようにしている。なお、上述した制約を満たすため、整数値0の0個から $2^{k-1}-1$ 個の連続とそれに後続する1つの非負整数値 x_i に対する符号のビット数は $K \times x_i$ ビットだけではなく、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットとしている。

【0063】

<第二実施形態>

第一実施形態では、予め定めた符号木を用いて本発明の符号化と復号を実現する形態を説明したが、予め定めた符号木に代えて、予め定めた対応表を用いることでも、第一実施形態と等価な符号化処理と復号処理を実現することが可能である。この予め定めた対応表を用いる形態を第二実施形態として説明する。

【0064】

≪符号化装置≫

図2及び図3を参照して、第二実施形態の符号化装置100が実行する符号化方法の処理手続きを説明する。第二実施形態の符号化装置100は、図2に示す通り、整数符号化部110を含む。第二実施形態の符号化装置100が図3に示す各ステップの処理を実行することにより、第二実施形態の符号化方法が実現される。

【0065】

第二実施形態の符号化装置100には、第一実施形態と同様に、非負の整数値の系列が入力される。第二実施形態の符号化装置100は、予め定めた対応表に従って、非負の整数値の系列を可変長符号化することで、Golomb符号化やGolomb-Rice符号化が想定している指数分布よりも偏りの大きな分布の非負の整数値の系列に対して、Golomb符号化やGolomb-Rice符号化よりも短いビット長となる符号化処理を実現するものである。以下では、符号化装置100に入力された非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0066】

〔整数符号化部110〕

整数符号化部110には、符号化装置100に入力された整数値の系列のうちの、Nサンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ が入力される。第二実施形態の整数符号化部110は、2以上の自然数である符号化パラメータ K に対応して予め作成して整数符号化部110内に記憶された対応表に基づいて、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を符号化して符号を得、得た符号を整数符号として出力する(S110)。

【0067】

〔符号化処理に用いる対応表〕

予め記憶された対応表は、零値の連続(0個以上の連続)と1つの非零値との組合せによる整数値の部分系列と、当該部分系列に対応する符号と、の対応関係の規則を格納したものである。 $K=2$ と $K=3$ における対応表の例を、それぞれ図9と図10に挙げる。対応表に格納された規則は、 2^{k-1} 個連続した零値による部分系列にはビット値が'1'である1ビットの符号が割り当てられ、それ以外の部分系列、すなわち、0個から $2^{k-1}-1$ 個連続した零値とそれに後続する1つの非零値 x_i による部分系列には、それぞれの零値の連続と非零値 x_i の組合せに対して $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号が割り当てられる規則である。

【0068】

例示した対応表では、0個から $2^{k-1}-1$ 個連続した零値とそれに後続する1つの非零値 x_i による部分系列のそれぞれには、始めの K ビット内に少なくとも1ビットの'1'が存在し、残りの $K \times (x_i - 1)$ ビットまたは $K \times (x_i - 1) + 1$ ビットは全て'0'である符号が割り当てられる規則である。より詳しくは、この規則では、0個から $2^{k-1}-1$ 個連続した零値と1つの非零値による部分系列には、1ビット目のビット値が'1'であり、2ビット目から K ビット目までのビット値が全て'0'であり、 $K+1$ ビット目から $K \times x_i + 1$ ビット目までのビット値が全て'0'である $K \times x_i + 1$ ビットの符号、または、1ビット目のビット値が'0'であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が'1'であり、 $K+1$ ビット目から $K \times x_i$ ビット目までのビット値が全て'0'である $K \times x_i$ ビットの符号、が割り当てられる。更に詳しくは、この規則では、 $K \times x_i + 1$ ビットの符号のうちの1ビ

10

20

30

40

50

ット目のビット値が '1' であり2ビット目から $K+1$ ビット目までが '0' である1ビット目から $K+1$ ビット目までの部分符号1通りと、 $K \times x_i$ ビットの符号のうちの1ビット目のビット値が '0' であり2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が '1' である1ビット目から K ビット目までの部分符号 $2^{k-1}-1$ 通りと、による 2^{k-1} 通りの部分符号と、0個から $2^{k-1}-1$ 個の零値の連続数 2^{k-1} 通りと、が一対一に対応している。

【0069】

[[対応表を用いた符号化処理]]

整数符号化部110は、上述した対応表を用いて、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に含まれる各整数値を予め定めた順に符号化して符号を得、得た符号を整数符号として出力する。例えば、予め定めた順が系列中のサンプル番号順である場合に整数符号化部110が行う符号化手順は下記の通りである。

10

(符号化手順)

1. サンプル番号 n を1とする。
2. $n=N$ となるまで、以下の(i)~(ii)を繰り返す。
 - (i) x_i 以降の 2^{k-1} 個の整数値の中に非零値がある場合には、 x_i 以降の最初の非零値までの部分系列に対応する符号を符号表から得て、 x_i 以降の最初の非零値までのサンプル数を n に加算したものを新たな n とする。
 - (ii) x_i 以降の 2^{k-1} 個の整数値が全て零値である場合には、 x_i 以降の 2^{k-1} 個の整数値の部分系列に対応する符号を符号表から得て、 2^{k-1} を n に加算したものを新たな n とする。
3. 2により得た符号の最後に符号 '1' (終端符号) を加える。
4. 3により得た符号を整数符号として出力する。

20

【0070】

なお、第一実施形態と同様に、符号化装置100から復号装置150への整数符号の伝え方によっては、終端符号を加える処理(符号化手順のうちの3)は行わないでもよい。

【0071】

なお、第二実施形態の符号化装置100の整数符号化部110における図9と図10を用いた符号化処理により得られる符号は、それぞれ、第一実施形態の符号化装置100の整数符号化部110における図4と図5の符号木を用いる符号化処理において、最初に用いる符号木を $T(1)$ にした場合に得られる符号に一致する。また、第二実施形態の符号化装置100の整数符号化部110にて、図9と図10のそれぞれを用いて符号化する際に、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ の先頭に $(2^{k-1}-1)$ 個の零値を追加してから符号化を行い、得られた整数符号の最初にある符号 '1' を取り除くようにすれば、第一実施形態の符号化装置100の整数符号化部110における図4と図5のそれぞれの符号木を用いる符号化処理において、最初に用いる符号木を $T(0)$ にした場合に得られる符号に一致する。このように、第二実施形態の符号化装置100の整数符号化部110における対応表を用いた符号化処理は、第一実施形態の符号化装置100の整数符号化部110における符号木を用いた符号化処理と等価なものである。

30

【0072】

《復号装置》

40

図7及び図8を参照して、第二実施形態の復号装置150が実行する復号方法の処理手続きを説明する。第二実施形態の復号装置150は、図7に示す通り、整数復号部160を含む。第二実施形態の復号装置150が図8に示す各ステップの処理を実行することにより、第二実施形態の復号方法が実現される。

【0073】

第二実施形態の復号装置150には、第一実施形態の復号装置150と同様、第二実施形態の符号化装置100が出力した整数符号が入力される。第二実施形態の復号装置150は、入力された整数符号を、第二実施形態の符号化装置100の整数符号化部110に記憶された対応表と同じ対応表を用いた復号処理で復号して非負の整数値の系列を得ることで、第二実施形態の符号化装置100に入力された非負の整数値の系列そのものを復元

50

するものである。以下では、上述した符号化装置の説明と同様に、非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0074】

[整数復号部160]

整数復号部160には、復号装置150に入力された整数符号が入力される。整数復号部160は、予め作成して整数復号部160内に記憶された対応表であり、符号化パラメータ K に対応する予め作成された対応表であり、符号化装置100の整数符号化部110内に予め記憶され整数符号化部110で用いられたのと同じ対応表に基づいて、入力された整数符号を復号して整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力する(S160)。

【0075】

より具体的には、整数復号部160は、入力された整数符号のうちのまだ読み込んでいない符号部分を最初から対応表に対応する符号がある部分まで読み込み、読み込んだ符号に対応する整数の部分系列を対応表から得る処理を、入力された整数符号の最初から最後まで繰り返し行うことで得た整数の部分系列を纏めた系列を整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ として出力する。この復号処理により、第一実施形態の復号装置150の整数復号部160における図4と図5のそれぞれの符号木を用いる復号処理において、最初に用いる符号木を $T(1)$ にした場合と同じ整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得ることができる。

【0076】

なお、符号化装置100の整数符号化部110にて、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ の先頭に $(2^{k-1}-1)$ 個の零値を追加してから符号化を行い、得られた整数符号の最初にある符号'1'を取り除く処理を行った場合は、整数復号部160は、入力された整数符号の先頭に符号'1'を追加してから上記対応表に基づいて上述した復号処理で各部分系列を得、はじめに得られた $(2^{k-1}-1)$ 個の零値を省略した後、部分系列を纏めた整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を出力すればよい。この復号処理により、第一実施形態の復号装置150の整数復号部160における図4と図5のそれぞれの符号木を用いる復号処理において、最初に用いる符号木を $T(0)$ にした場合と同じ整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得ることができる。このように、第二実施形態の復号装置150の整数復号部160における対応表を用いた復号処理は、第一実施形態の復号装置150の整数復号部160における符号木を用いた復号処理と等価なものである。

【0077】

以上から分かるように、第一実施形態の符号化装置100によって符号木を用いた符号化処理で得た整数符号を、第二実施形態の復号装置150によって当該符号化処理と対応する対応表を用いた復号処理で復号して整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得たり、第二実施形態の符号化装置100によって対応表を用いた符号化処理で得た整数符号を、第一実施形態の復号装置150によって当該符号化処理と対応する符号木を用いた復号処理で復号して整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得たりしてもよい。

【0078】

本実施形態の発明によれば、零値ではない小さな値も含んで小さな値に大きく偏っている整数値の系列や、非特許文献2の技術では対応しきれないくらいに値の偏った整数値の系列であっても、少ない平均ビット数で符号化することができる。また、そのような符号を復号することができる。

【0079】

<第三実施形態>

第一実施形態および第二実施形態の符号の規則は、整数値0の 2^{k-1} 個の連続に対しては1ビットの符号である'1'を対応させ、整数値0の0個から $2^{k-1}-1$ 個の連続とそれに後続する1つの非負整数値 $x_i \neq 0$ に対しては、 $K \times x_i + 1$ ビットの符号のうちの1ビット目のビット値が'1'であり2ビット目から $K+1$ ビット目までが'0'である1ビット目から $K+1$ ビット目までの部分符号1通りと、 $K \times x_i$ ビットの符号のうちの1ビット目のビット値が'0'であり2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が'1'である1ビット目から K ビット目までの部分符号 $2^{k-1}-1$ 通りと、による 2^{k-1} 通りの部分符

10

20

30

40

50

号と、0個から $2^{K-1}-1$ 個の整数値0の連続数 2^{K-1} 通りと、を一对一に対応させた規則である。ここで、整数値0の連続個数に着目すると、第一実施形態および第二実施形態の符号は、2以上の自然数である符号化パラメータ K それぞれに対して、整数値0の連続個数が0個から 2^{K-1} 個までを表現できる。すなわち、第一実施形態および第二実施形態の符号では、整数値0の最大連続個数が2の整数乗である。

【0080】

第一実施形態および第二実施形態の符号では、 $p(x, 2^{K-1})$ のような、ある非負値 K' を用いた指数分布に従う入力 x の系列が与えられた際、 K' が整数値であれば、符号化パラメータ K を $K=K'$ とし、表現できる整数値0の最大連続個数が2の K' 乗個とすることにより近似的に最適な圧縮効率を実現できる。しかし、上記の K' が整数値でなく、符号化パラメータ K と $(K+1)$ の間の値をとる場合は、符号化パラメータ K を $K=K'$ としたときよりも多くの整数値0の連続個数を表現できたほうが圧縮の効率が高い。一方でこの場合、符号化パラメータ K に1加算して、表現できる整数値0の最大連続個数を倍にするほどには整数値0の出現頻度が高くなく、かえって非零値を表現するためのビット数が増加しすぎてしまい、圧縮効率の低下をもたらしてしまう。

【0081】

そこで本実施形態では、整数値0の最大連続個数が2の整数乗でない場合でも圧縮効率が高くなるように第一実施形態を変更した形態について説明する。

【0082】

《符号化装置》

図2及び図3を参照して、第三実施形態の符号化装置100が実行する符号化方法の処理手続きを説明する。第三実施形態の符号化装置100は、図2に示す通り、整数符号化部110を含む。第三実施形態の符号化装置100が図3に示す各ステップの処理を実行することにより、第三実施形態の符号化方法が実現される。

【0083】

第三実施形態の符号化装置100には、第一実施形態および第二実施形態と同様に、非負の整数値の系列が入力される。

【0084】

第三実施形態の符号化装置100は、第一実施形態の符号化装置100と同様に、予め定めた複数の符号木を予め定めた規則に則って用い、非負の整数値の系列を可変長符号化することで、Golomb符号化やGolomb-Rice符号化が想定している指数分布よりも偏りの大きな分布の非負の整数値の系列に対して、Golomb符号化やGolomb-Rice符号化よりも短いビット長となる符号化処理を実現するものである。以下では、符号化装置100に入力された非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0085】

[整数符号化部110]

整数符号化部110には、符号化装置100に入力された整数値の系列のうちの、 N サンプル(N は自然数)ずつの整数値による系列が入力される。入力された整数値による系列を整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ とする。整数符号化部110は、整数符号化部110内に予め記憶したまたは図示しない手段により入力された2以上の自然数である符号化パラメータ L に基づき、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を以下の符号木を用いた符号化処理で符号化して符号を得、得た符号を整数符号として出力する(S110)。以下では、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ の各整数が x_n (n は系列中のサンプル番号であり、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$)であるとして説明を行う。

【0086】

また、以下では、 2^K が L を上回る最小の自然数である K と、 2^K から L を引いた自然数である p と、 L から 2^{K-1} を引いた自然数である q と、を用いて説明を行う。 K と p と q は、 L を用いて表記可能な値であり、説明を簡単化するために便宜的に用いるものであるが、整数符号化部110が実際に用いてもよい。整数符号化部110が K や p や q を用いる場合には、 K や p や q の値は、整数符号化部110が符号化パラメータ L を用いて計算して求めてもよいし

10

20

30

40

50

、符号化パラメータ L とともに図示しない手段により入力されるようにしてもよいし、符号化パラメータ L を整数符号化部 110 内に予め記憶しておく場合には、 K や p や q の値も整数符号化部 110 内に予め記憶しておいてもよい。

【0087】

[[符号化処理に用いる符号木]]

まず、整数符号化部 110 における符号化処理に用いる符号木を例示する。

【0088】

整数符号化部 110 には、図 11 から図 13 に例示するような L 個の符号木が予め記憶されている。図 11 (A)は $L=2$ のときの符号木の例であり、 $T(0)$ と $T(1)$ のそれぞれが符号木であり、図 11 (B)は $L=3$ のときの符号木の例であり、 $T(0)$ から $T(2)$ のそれぞれが符号木である。図 12 (A)は $L=4$ のときの符号木の例であり、 $T(0)$ から $T(3)$ のそれぞれが符号木であり、図 12 (B)は $L=5$ のときの符号木の例であり、 $T(0)$ から $T(4)$ のそれぞれが符号木である。図 13 は L を一般化したときの符号木の例であり、 $T(0)$ から $T(L-1)$ のそれぞれが符号木である。

10

【0089】

[[符号木における入力された整数値と当該整数値に対応する符号との関係]]

次に、各符号木における入力された整数値と当該整数値に対応する符号との関係を説明する。

【0090】

各符号木のノードの右側にある三角で囲まれている整数値は入力された整数値に対応している。また、各符号木のエッジの左側にあるビット値 '0' 及び '1' は入力された整数値に割り当てる符号の規則に対応している。この規則は、符号木の上端のノードから入力された整数値に対応するノードまでのエッジの左側にあるビット値を並べたものを入力された整数値に割り当てる符号として得る規則である。

20

【0091】

L 個の符号木のうちの1つの符号木は、図 11 から図 13 の $T(0)$ に対応するものであり、入力された整数値 x_i に対応する符号として、ビット数が $K \times x_i + 1$ ビットであり、最初の1ビット目のビット値が '1' であり、2ビット目から $K \times x_i + 1$ ビット目までのビット値が '0' である符号を得る規則に対応する符号木である。なお、この符号木によれば、入力された整数値 x_i が0である場合には、符号のビット数 $K \times x_i + 1$ は1ビットであるため、ビット値が '1' である1ビットの符号を得ることになる。すなわち、本実施形態の $T(0)$ は第一実施形態の $T(0)$ と同じである。

30

【0092】

L 個の符号木のうちの上記以外の $L-1$ 個の符号木は、図 11 から図 13 の $T(1)$ から $T(L-1)$ までに対応するものである。これらの符号木については、以下で第一実施形態と対比しながら説明する。

【0093】

図 4 から図 6 に示した第一実施形態の $T(1)$ から $T(2^{k-1}-1)$ までの $2^{k-1}-1$ 個の符号木は、入力された非零値 x_i に対応する符号として、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビットが、 $T(1)$ から $T(2^{k-1}-1)$ までの $2^{k-1}-1$ 個の符号木のそれぞれに一対一に対応するビット群であり、入力された非零値 x_i の直前までに入力された零値の連続数 $2^{k-1}-1$ 通りに一対一に対応するビット群である符号を得る規則に対応する符号木である。上述した通り、復号可能な符号とするために、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビットは少なくとも1ビットのビット値が '1' である必要があるため、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビットで表現可能な零値の連続数は最大 $2^{k-1}-1$ 通りである。例えば、 $K=2$ であれば、2ビット目の1ビットで表現可能な零値の連続数は最大1通りである。また、例えば、 $K=3$ であれば、2ビット目から3ビット目までの2ビットで表現可能な零値の連続数は最大3通りである。

40

【0094】

符号化パラメータ L が2である場合には、 $T(0)$ 以外の $L-1$ 個の符号木で表現すべき零値の連続数は1通りであることから、図 11 (A)に示すように、本実施形態の $T(1)$ として、図 4

50

に示した第一実施形態の符号木T(1)と同じ符号木を用いればよい。

【0095】

一方、符号化パラメータLが3である場合には、T(0)以外のL-1個の符号木で表現すべき零値の連続数は2通りであるので、2ビット目の1ビットだけでは表現すべき零値の連続数が1通り足りなくなってしまう。そこで、本実施形態では、符号化パラメータLが3である場合には、図11において二点鎖線で囲んであるように、符号化パラメータLが2である場合の符号木T(1)の3ビット目以降を1ビットずらして4ビット目以降とし、図11において一点鎖線で囲んであるように、符号化パラメータLが2である場合の符号木T(1)の2ビット目の次に3ビット目として1ビットを追加した構成である2つの符号木T(1)とT(2)を用いる。符号木(1)とT(2)では、図11(B)において破線で囲んであるように、3ビット目として追加した1ビットは、互いに異なるビット値とする。

10

【0096】

また、符号化パラメータLが4である場合には、T(0)以外のL-1個の符号木で表現すべき零値の連続数は3通りであることから、図12(A)に示すように、本実施形態のT(1)からT(3)として、それぞれ、図4に示した第一実施形態の符号木T(1)からT(3)と同じ符号木を用いればよい。

【0097】

一方、符号化パラメータLが5である場合には、T(0)以外のL-1個の符号木で表現すべき零値の連続数は4通りであるので、2ビット目から3ビット目までの2ビットだけでは表現すべき零値の連続数が1通り足りなくなってしまう。そこで、本実施形態では、符号化パラメータLが5である場合には、図12において二点鎖線で囲んであるように、符号化パラメータLが4である場合の符号木T(3)の4ビット目以降を1ビットずらして5ビット目以降とし、図12において一点鎖線で囲んであるように、符号化パラメータLが4である場合の符号木T(3)の3ビット目の次に4ビット目として1ビットを追加した構成である2つの符号木T(3)とT(4)を用いる。符号木T(3)とT(4)では、図12(B)において破線で囲んであるように、4ビット目として追加した1ビットは、互いに異なるビット値とする。

20

【0098】

以下、符号化パラメータLを一般化して説明する。T(0)以外のL-1個の符号木の2ビット目からKビット目までのK-1ビットで表現可能な零値の連続数は最大 $2^{K-1}-1$ 通りである。符号化パラメータLが 2^{K-1} である場合には、T(0)以外のL-1個の符号木で表現すべき零値の連続数は $L-1=2^{K-1}-1$ 通りであるので、本実施形態のT(1)からT(L-1)として、それぞれ、図6に示した第一実施形態の符号木T(1)からT($2^{K-1}-1$)と同じ符号木を用いればよい。

30

【0099】

一方、符号化パラメータLが 2^{K-1} より大きな値である場合には、T(0)以外のL-1個の符号木で表現すべき零値の連続数はL-1通りであり、2ビット目からKビット目までのK-1ビットで表現可能な零値の連続数の最大 $2^{K-1}-1$ 通りを $(L-1)-(2^{K-1}-1)=L-2^{K-1}=q$ 通り上回ってしまうことから、2ビット目からKビット目までのK-1ビットだけでは表現すべき零値の連続数がq通り足りなくなってしまう。そこで、本実施形態では、図13の下段に示すように、図6に示した第一実施形態の符号木T(1)からT($2^{K-1}-1$)のうちの $q=L-2^{K-1}$ 個の符号木それぞれについて、K+1ビット目以降を1ビットずらしてK+2ビット目以降とし、K+1ビット目としてビット値が'0'である1ビットを追加した符号木と、K+1ビット目としてビット値が'1'である1ビットを追加した符号木と、の2個の符号木に置き換えた、 $2q=2 \times (L-2^{K-1})=2L-2^K$ 個の符号木を用いる。なお、本実施形態では、図13の上段に示すように、T(1)からT($2^{K-1}-1$)のうちの残りの符号木である $(2^{K-1}-1)-q=2^{K-1}-1-(L-2^{K-1})=2^K-L-1=p-1$ 個の符号木は、図6に示した第一実施形態の符号木そのものを用いる。ただし、本実施形態では、符号化パラメータLの値次第では $p-1=0$ となるので、置き換え後の符号木のみを用いて、置き換えを行わなかった図6に示した第一実施形態の符号木そのものは用いない場合もある。なお、符号化パラメータLが 2^{K-1} である場合は、 $q=0$ となることから符号木の置き換えを行わずに、置き換えを行わなかった図6に示した第一実施形態の符号木そのもののみを用いたともいえる。

40

50

【0100】

すなわち、本実施形態のL個の符号木のうちのT(1)からT(L-1)のL-1個の符号木は、入力された整数値 x_i が0である場合には符号を得ず、入力された整数値 x_i が0でない場合には、ビット数が $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットであり、最初の1ビット目のビット値が'0'であり、2ビット目からKビット目までのK-1ビット中の少なくとも1ビットのビット値が'1'であり、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットのビット値が'0'である符号を得るものである。より具体的には、T(1)からT(L-1)のL-1個の符号木のうちのp-1個の符号木は、入力された整数値 x_i が0でない場合にビット数が $K \times x_i$ ビットの符号を得るものであり、T(1)からT(L-1)のL-1個の符号木のうちの2q個の符号木は、入力された整数値 x_i が0でない場合にビット数が $K \times x_i + 1$ ビットの符号を得るものである。

10

【0101】

また、入力された整数値 x_i が0でない場合のビット数が $K \times x_i$ ビットの符号の2ビット目からKビット目までのK-1ビットと、入力された整数値 x_i が0でない場合のビット数が $K \times x_i + 1$ ビットの符号の2ビット目からK+1ビット目までのKビットと、はT(1)からT(L-1)のL-1個の符号木のそれぞれに一对一に対応する。より具体的には、入力された整数値 x_i が0でない場合の少なくとも1ビットのビット値が'1'である2ビット目からKビット目までのK-1ビットで表現可能な 2^{K-1} 通りのうちのp-1通りが、入力された整数値 x_i が0でない場合にビット数が $K \times x_i$ ビットの符号を得るp-1個の符号木のそれぞれに一对一に対応し、入力された整数値 x_i が0でない場合の少なくとも1ビットのビット値が'1'である2ビット目からKビット目までのK-1ビットで表現可能な 2^{K-1} 通りのうちの上記のp-1通り以外のq通りと、このq通りである場合のK+1ビット目のビット値と、の組である2q通りが、入力された整数値 x_i が0でない場合にビット数が $K \times x_i + 1$ ビットの符号を得る2q個の符号木それぞれに一对一に対応する。さらに具体的には、2ビット目からKビット目までのK-1ビットの上記のq通りは、入力された整数値 x_i が0でない場合にビット数が $K \times x_i + 1$ ビットの符号を得る2q個の符号木のうちの2個ずつのq組それぞれに一对一に対応し、K+1ビット目のビット値が2個ずつの符号木の組のうちの何れであるかに対応する。例えば、図13の例であれば、入力された整数値 x_i が0でない場合の少なくとも1ビットのビット値が'1'である2ビット目からKビット目までのK-1ビットで表現可能な 2^{K-1} 通りのうちのp-1通りが、T(1)からT(p-1)のp-1個の符号木のそれぞれに一对一に対応するKビットであり、入力された整数値 x_i が0でない場合の少なくとも1ビットのビット値が'1'である2ビット目からKビット目までのK-1ビットで表現可能な 2^{K-1} 通りのうちの上記のp-1通り以外のq通りと、このq通りである場合のK+1ビット目のビット値と、の組である2q通りが、T(p)からT(L-1)の2q個の符号木それぞれに一对一に対応するK+1ビットである。

20

30

【0102】

[[複数の符号木を用いる規則]]

次に、複数の符号木を用いる規則について説明する。整数符号化部110には、複数の符号木を用いる規則も予め記憶されている。

【0103】

図11から図13の各符号木のノードの右側にある整数値を囲む三角の向きは、複数の符号木を用いる規則に対応している。

40

【0104】

右向きの三角は、入力された整数値の次の整数値を符号化する際には、右隣の符号木（符号木番号が1つ大きい符号木）を用いる規則を表す。なお、その際、最も右にある符号木（符号木番号が最も大きい符号木）の右隣は最も左にある符号木（符号木番号が最も小さい符号木）であるとする。なお、この規則はあくまでも一例であって、L個の符号木を巡回的に用いる規則であればどのような規則であってもよい。すなわち、各符号木について、右向きの三角のときに次の整数値の符号化には異なる符号木を用いる規則であって、全ての符号木について、右向きの三角のときに次の整数値の符号化に用いる符号木が重複しない規則であれば、どのような規則であってもよい。ただし、ビット数が少ない符号を得る符号木（図13の例であれば、T(1)からT(p-1)）を先に用いる規則であるほうがよい

50

。

【0105】

下向き三角は、入力された整数値の次の整数値を符号化するには、符号木T(1)を用いる規則を表す。なお、この規則もあくまでも一例であって、下向き三角のときには、各下向き三角について予め定めた何れか1つの符号木を次の整数値の符号化に用いる符号木とする規則であれば、どのような規則であってもよい。例えば、下向き三角のときに、全て下向き三角について予め定めた何れか1つの同じ符号木を次の整数値の符号化に用いる符号木とする規則としてもよい。また、平均ビット数を短くするためには、下向き三角のときに、図11から図13のT(0)に対応する符号木以外の符号木を、次の整数値の符号化に用いる符号木とする規則とするのがよく、T(0)に対応する符号木以外の符号木のうちのビット数が少ない符号を得る符号木（図13の例であれば、T(1)からT(p-1)の何れか）を、次の整数値の符号化に用いる符号木とする規則とするとさらによい。

10

【0106】

なお、平均ビット数を最も短くするためには、全ての符号木について、下向き三角のときに、図11から図13のT(0)に対応する符号木において右向き三角のときに次の整数値の符号化に用いる符号木を、次の整数値の符号化に用いる符号木とする規則とするのがよい。

【0107】

複数の符号木のうちの何れの符号木を符号化処理の最初に用いてもよいが、何れの符号木を符号化処理の最初に用いるかの規則も、複数の符号木を用いる規則として予め定めて記憶しておく。例えば、図11のL=3の場合において、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を整数値 x_1 から順に符号化する場合には、整数値 x_1 をT(0)で符号化する規則としてもよいし、整数値 x_1 をT(1)で符号化する規則としてもよいし、整数値 x_1 をT(2)で符号化する規則としてもよいが、T(0)からT(2)までの何れを整数値 x_1 の符号化に用いるかは予め定めて記憶しておく。

20

【0108】

[[符号木を用いた符号化処理]]

整数符号化部110は、上述した複数の符号木を用いて、複数の符号木を用いる上述した規則に従って、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に含まれる各整数値を予め定めた順に符号化して符号を得、得た符号を整数符号として出力する。例えば、予め定めた順が系列中のサンプル番号順であり、最初に用いる符号木がT(0)である場合に整数符号化部110が行う符号化手順は下記の通りである。

30

(符号化手順)

1. サンプル番号n,符号木番号の初期値をそれぞれ1,0とする。
2. $n=N$ となるまで以下の(i)~(iv)を繰り返す。
 - (i) 符号木番号が0なら符号'1'を得る。
 - (ii) 整数値 $x_n=0$ なら、符号木番号に1を加算したものを新たな符号木番号とする。この際、1を加算して符号木番号がLとなった場合には0を新たな符号木番号とする。
 - (iii) 整数値 $x_n \neq 0$ で且つ符号木番号がp未満なら、1ビットの'0'と符号木に一对一に対応するK-1ビットとによるKビットの符号を得、さらに、 $K \times (x_n - 1)$ ビットの符号'0'を得て、1を新たな符号木番号とする。
 - (iv) 整数値 $x_n \neq 0$ で且つ符号木番号がp以上なら、1ビットの'0'と符号木に一对一に対応するKビットとによるK+1ビットの符号を得、さらに、 $K \times (x_n - 1)$ ビットの符号'0'を得て、1を新たな符号木番号とする。
 - (v) nに1を加算したものを新たなnとする。
3. 1~2により得た符号のうちの最初に得た符号'1'を取り除く。
(あるいは始めの1回の2.(i)操作を行わない。)
4. 1~3により得た符号の最後に符号'1'（終端符号）を加える。
5. 1~4により得た符号を整数符号として出力する。

40

【0109】

50

なお、第一実施形態と同様に、符号化手順のうちの3を行うのは必須ではない。

【0110】

また、第一実施形態と同様に、符号化装置100から復号装置150への整数符号の伝え方によっては、符号化手順のうちの4は行わないでもよい。

【0111】

なお、上述した説明の符号'0'は2値のビット値のうちの何れか一方のビット値、上述した説明の符号'1'は2値のビット値のうちの他方のビット値、の例である。すなわち、当然のことながら、上述した説明の符号'0'に代えて符号'1'を用い、符号'1'に代えて符号'0'を用いてもよい。

【0112】

《復号装置》

図7及び図8を参照して、第三実施形態の復号装置150が実行する復号方法の処理手続きを説明する。第三実施形態の復号装置150は、図7に示す通り、整数復号部160を含む。第三実施形態の復号装置150が図8に示す各ステップの処理を実行することにより、第三実施形態の復号方法が実現される。

【0113】

第三実施形態の復号装置150には、第三実施形態の符号化装置100が出力した整数符号が入力される。第三実施形態の復号装置150は、入力された整数符号を、第三実施形態の符号化装置100に対応する予め定めた複数の符号木を第三実施形態の符号化装置100に対応する予め定めた規則に則って用いた復号処理で復号して非負の整数値の系列を得ることで、第三実施形態の符号化装置100に入力された非負の整数値の系列そのものを復元するものである。以下では、上述した符号化装置100の説明と同様に、非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0114】

[整数復号部160]

整数復号部160には、復号装置150に入力された整数符号が入力される。整数復号部160は、符号化装置100の整数符号化部110が用いた符号化パラメータLと同じ値であり、整数復号部160内に予め記憶したまたは図示しない手段により入力された2以上の自然数である符号化パラメータLに基づき、入力された整数符号を以下の符号木を用いた復号処理で復号して整数値の系列を得、得た整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を出力する（S160）。以下では、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ の各整数が x_n (nは系列中のサンプル番号であり、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$)であるとして説明を行う。

【0115】

また、以下では、 2^L がLを上回る最小の自然数であるKと、 2^L からLを引いた自然数であるpと、Lから 2^{K-1} を引いた自然数であるqと、を用いて説明を行う。Kとpとqは、Lを用いて表記可能な値であり、説明を簡単化するために便宜的に用いるものであるが、整数復号部160が実際に用いてもよい。整数復号部160がKやpやqを用いる場合には、Kやpやqの値は、整数復号部160が符号化パラメータLを用いて計算して求めてもよいし、符号化パラメータLとともに図示しない手段により入力されるようにしてもよいし、符号化パラメータLを整数復号部160内に予め記憶しておく場合には、Kやpやqの値も整数復号部160内に予め記憶しておいてもよい。

【0116】

復号処理に用いる符号木は、第三実施形態の符号化装置100の整数符号化部110が用いる符号木と同じであり、整数復号部160には、図11から図13に例示するようなL個の符号木が予め記憶されている。復号処理における符号木における入力された符号と当該符号に対応する整数値との関係及び複数の符号木を用いる規則は、第三実施形態の符号化装置100の整数符号化部110の符号化処理における規則に対応するものであり、第三実施形態の符号化装置100の整数符号化部110の符号化処理における規則の「入力された整数値に割り当てる符号」を「入力された符号」と読み替え、「入力された整数値」を「入力された符号に割り当てる整数値」と読み替えた規則であり、整数復号部16

10

20

30

40

50

0に予め記憶されている。なお、復号処理において何れの符号木を最初に用いるかの規則も、第三実施形態の符号化装置100の整数符号化部110が用いた規則と同じ規則であり、整数復号部160に予め記憶しておく。

【0117】

整数復号部160は、上述した複数の符号木を用いて、複数の符号木を用いる上述した規則に従って、入力された整数符号に対応する整数値による列を得て、得られた整数値による列の各整数を予め定めた順としたものを、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ として得て出力する。例えば、予め定めた順が系列中のサンプル番号順であり、最初に用いる符号木が $T(0)$ である場合に整数復号部160が行う復号手順は、例えば、下記の復号手順1や復号手順2の通りである。

【0118】

(復号手順1-1) 符号化手順4による終端符号の追加を行っていない場合、すなわち、整数符号の終端を復号装置150が特定可能な場合

1. 符号化手順3で符号'1'を取り除いた場合は、整数符号の最初に符号'1'を追加する。

2. 符号木番号の初期値を0とする。

3. 読み込んでない整数符号がなくなるまで以下(i)~(ii)を繰り返し、読み込んでない整数符号がなくなったら4に進む。

(i) 入力された整数符号を順に、符号木番号に対応する符号木に読み込んだ符号に対応する符号がある間（すなわち、符号木番号に対応する符号木に読み込んだ符号に対応する符号がなくなる1つ前のビットまで）、読み込む。

(ii) 符号木番号に対応する符号木から、読み込んだ符号に対応する符号に対応する整数値を得て、当該符号木の整数値についての符号木の遷移の規則に従って新たな符号木番号を得る。

4. 3の(ii)で得た整数値による系列を整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ として出力する。

【0119】

(復号手順1-2) 符号化手順4による終端符号の追加を行った場合、すなわち、整数符号の終端を復号装置150が特定できない場合

1. 符号化手順3で符号'1'を取り除いた場合は、入力された符号列（整数符号と後続する別符号による符号列）の最初に符号'1'を追加する。

2. サンプル番号 n 、符号木番号の初期値をそれぞれ1, 0とする。

3. $n=N$ となるまで以下(i)~(ii)を繰り返す。

(i) 入力された符号列を順に、符号木番号に対応する符号木に読み込んだ符号に対応する符号がある間（すなわち、符号木番号に対応する符号木に読み込んだ符号に対応する符号がなくなる1つ前のビットまで）、読み込む。

(ii) 符号木番号に対応する符号木から、読み込んだ符号に対応する符号に対応する整数値を得て、当該符号木の整数値についての符号木の遷移の規則に従って新たな符号木番号を得て、 n に1を加算したものを新たな n とする。

4. 3の(ii)で得た整数値による系列を整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ として出力する。

【0120】

(復号手順2)

1. 符号化手順4で終端符号の追加を行っていない場合は、入力された符号列の最後に終端符号'1'を追加する。また、符号化手順3で符号'1'を取り除かなかった場合は、入力された符号列の最初に符号'1'を取り除く。

2. サンプル番号 n 、符号木番号の初期値をそれぞれ1, 0とする。

3. $n \geq N$ となるまで以下(i)~(v)を繰り返す。

(i) K ビット全てが符号'0'である間、入力された符号列を順に K ビットずつ読み、その間読んだ符号'0'の個数を K で割った数を Z とする。

(ii) 符号木番号が0なら、整数値 Z を得る。

(iii) 符号木番号が0でないなら、整数値 $(Z+1)$ を得る。

(iv) 入力された符号列の次の1ビットが符号 '1' なら、その1ビットを読み、(L-1)個の整数値0を得、0を新たな符号木番号にして、nにLを加算したものを新たなnとする。

(v) 入力された符号列の次の1ビットが符号 '0' なら、その1ビットを含むKビットを読み、そのKビットのうちの最初の1ビットを除いた残りのK-1ビットに一对一に対応する符号木がある場合、そのK-1ビットに対応する符号木の番号を新たな符号木番号とし、そのKビットのうちの最初の1ビットを除いた残りのK-1ビットに一对一に対応する符号木がない場合（すなわち、そのK-1ビットが2個の符号木による組に一对一に対応する場合）、次の1ビットを読み、前述のKビットのうちの最初の1ビットを除いた残りのK-1ビットと読み込んだ1ビットによるKビットに一对一に対応する符号木の番号を新たな符号木番号とし、それぞれの場合において(新たな符号木番号-1)個の整数値0を得、nに新たな符号木番号を加算したものを新たなnとする。

10

4. 得られた整数値がN個よりも多い場合、N+1個目の整数値以降は取り除く。

【0 1 2 1】

本実施形態の発明によれば、零値ではない小さな値も含んで小さな値に大きく偏っている整数値の系列や、非特許文献2の技術では対応しきれないくらいに値の偏った整数値の系列であっても、少ない平均ビット数で符号化することができる。また、そのような符号を復号することができる。

【0 1 2 2】

<第三実施形態の発明の原理の説明>

ここで本発明の原理を説明する。

20

【0 1 2 3】

第三実施形態の符号化装置100によれば、全ての非負整数値に対して符号を割り当てることが可能であり、当該符号を第三実施形態の復号装置150が復号することにより非負整数値そのものを復元可能とするものである。図11から図13に示した通り、表現できる整数値0の最大連続個数は2の整数乗に限らないL個である。このことから、第三実施形態で用いた本発明の符号は、第一実施形態や第二実施形態の符号のようにKが整数値に限られることなく、 2^{L-1} が自然数Lとなる全てのKについて、式(3)に示した偏りの大きな指数分布（片側ラプラス分布）に従う非負整数値の系列に対して近似的に最適な期待ビット長を与える符号であり、Kが整数値でない分布に従って小さな値に大きく偏った非負整数値の系列に対する平均ビット数を第一実施形態や第二実施形態の符号よりも少なくすることができる符号である。

30

【0 1 2 4】

なお、上述した式(3)は、第一実施形態や第二実施形態の符号における整数値0の最大連続個数 2^{L-1} を用いて下記の式(4a)と近似することができる。

【0 1 2 5】

【数4】

$$p\left(x, 1-2^{-1/2^{K-1}}\right)=2^{-1/2^{K-1}} \cdot\left(1-2^{-1/2^{K-1}}\right)^x \quad \cdots(4a)$$

【0 1 2 6】

従って、符号で表現できる整数値0の最大連続個数は、圧縮効率が最大となる入力の分布に影響を及ぼす。ここで、符号化パラメータLを用いた第三実施形態で用いた本発明の符号は、下記の式(4b)の分布に従う非負整数値の系列に対して近似的に最適な期待ビット長を与える符号である。

【0 1 2 7】

【数5】

$$p\left(x, 1-2^{-1/L}\right)=2^{-1/L} \cdot\left(1-2^{-1/L}\right)^x \quad \cdots(4b)$$

【0128】

つまり、本発明の符号化パラメータLは、第一実施形態や第二実施形態の符号化パラメータKと同様に、0より大きく1より小さい値に拡張したGolombパラメータや負値に拡張したRiceパラメータとして解釈でき、さらには、整数値0の最大連続個数がどのような値であってもよいように第一実施形態や第二実施形態の符号化パラメータKの取りうる値を拡張したものに对应していることになる。従って、非負整数値の系列に最適なGolombパラメータやRiceパラメータの推定を行うことにより、非負整数値の系列に割り当てる本発明の符号における最適なパラメータLを推定することができるということである。

【0129】

<第四実施形態>

第三実施形態では、予め定めた符号木を用いて本発明の符号化と復号を実現する形態を説明したが、予め定めた符号木に代えて、予め定めた対応表を用いることでも、第三実施形態と等価な符号化処理と復号処理を実現することが可能である。この予め定めた対応表を用いる形態を第四実施形態として説明する。

【0130】

《符号化装置》

図2及び図3を参照して、第四実施形態の符号化装置100が実行する符号化方法の処理手続きを説明する。第四実施形態の符号化装置100は、図2に示す通り、整数符号化部110を含む。第四実施形態の符号化装置100が図3に示す各ステップの処理を実行することにより、第四実施形態の符号化方法が実現される。

【0131】

第四実施形態の符号化装置100には、第一実施形態から第三実施形態と同様に、非負の整数値の系列が入力される。第四実施形態の符号化装置100は、予め定めた対応表に従って、非負の整数値の系列を可変長符号化することで、Golomb符号化やGolomb-Rice符号化が想定している指数分布よりも偏りの大きな分布の非負の整数値の系列に対して、Golomb符号化やGolomb-Rice符号化よりも短いビット長となる符号化処理を実現するものである。以下では、符号化装置100に入力された非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0132】

[整数符号化部110]

整数符号化部110には、符号化装置100に入力された整数値の系列のうちの、Nサンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ が入力される。第二実施形態の整数符号化部110は、2以上の自然数である符号化パラメータLに対応して予め作成して整数符号化部110内に記憶された対応表に基づいて、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を符号化して符号を得、得た符号を整数符号として出力する(S110)。

【0133】

[[符号化処理に用いる対応表]]

予め記憶された対応表は、零値の連続(0個以上の連続)と1つの非零値との組合せによる整数値の部分系列と、当該部分系列に対応する符号と、の対応関係の規則を格納したものである。L=3とL=5における対応表の例を、それぞれ図14と図15に挙げる。対応表に格納された規則は、L個連続した零値による部分系列にはビット値が'1'である1ビットの符号が割り当てられ、それ以外の部分系列、すなわち、0個からL-1個連続した零値とそれに後続する1つの非零値 x_i による部分系列には、それぞれの零値の連続と非零値 x_i の組合せに対して、1ビット目からKビット目までに少なくとも1つのビット値'1'と少なくとも1つのビット値'0'を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が'0'である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号が割り当てられる規則である。

【0134】

より詳しくは、この規則では、0個からL-1個連続した零値と1つの非零値による部分系列のそれぞれには、0個からL-1個の零値の連続数L通りと一対一に対応する以下の(a)から(c)のL通りの部分符号を含む符号が割り当てられる。

10

20

30

40

50

(a) $K \times x_i + 1$ ビットの符号の1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が '1' であり、2ビット目から $K+1$ ビット目までのビット値が '0' である、1通りの部分符号。

(b) $K \times x_i$ ビットの符号の1ビット目から K ビット目までの K ビットで構成され、1ビット目のビット値が '0' であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が '1' である、 $p-1$ 通り（すなわち、 $2^i - L - 1$ 通り）の部分符号。

(c) $K \times x_i + 1$ ビットの符号の1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が '0' であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が '1' であり、かつ、1ビット目から K ビット目までの K ビットの組が上述した (b) の $p-1$ 通り（すなわち、 $2^i - L - 1$ 通り）とは異なり、 $K+1$ ビット目のビット値が '1' または '0' である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L - 2^i$ 通り）の部分符号。

10

【0135】

[[対応表を用いた符号化処理]]

整数符号化部110は、上述した対応表を用いて、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に含まれる各整数値を予め定めた順に符号化して符号を得、得た符号を整数符号として出力する。例えば、予め定めた順が系列中のサンプル番号順である場合に整数符号化部110が行う符号化手順は下記の通りである。

(符号化手順)

1. サンプル番号 n を1とする。

2. $n=N$ となるまで、以下の(i)~(ii)を繰り返す。

20

(i) x_i 以降の L 個の整数値の中に非零値がある場合には、 x_i 以降の最初の非零値までの部分系列に対応する符号を符号表から得て、 x_i 以降の最初の非零値までのサンプル数を n に加算したものを新たな n とする。

(ii) x_i 以降の L 個の整数値が全て零値である場合には、 x_i 以降の L 個の整数値の部分系列に対応する符号を符号表から得て、 L を n に加算したものを新たな n とする。

3. 2により得た符号の最後に符号 '1' (終端符号) を加える。

4. 3により得た符号を整数符号として出力する。

【0136】

なお、第三実施形態と同様に、符号化装置100から復号装置150への整数符号の伝え方によっては、終端符号を加える処理(符号化手順のうちの3)は行わないでもよい。

30

【0137】

なお、第四実施形態の符号化装置100の整数符号化部110における図14と図15を用いた符号化処理により得られる符号は、それぞれ、第三実施形態の符号化装置100の整数符号化部110における図11(B)と図12(B)の符号木を用いる符号化処理において、最初に用いる符号木を $T(1)$ にした場合に得られる符号に一致する。また、第四実施形態の符号化装置100の整数符号化部110にて、図14と図15のそれぞれを用いて符号化する際に、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ の先頭に $(L-1)$ 個の零値を追加してから符号化を行い、得られた整数符号の最初にある符号 '1' を取り除くようにすれば、第三実施形態の符号化装置100の整数符号化部110における図11(B)と図12(B)のそれぞれの符号木を用いる符号化処理において、最初に用いる符号木を $T(0)$ にした場合に得られる符号に一致する。このように、第四実施形態の符号化装置100の整数符号化部110における対応表を用いた符号化処理は、第三実施形態の符号化装置100の整数符号化部110における符号木を用いた符号化処理と等価なものである。

40

【0138】

《復号装置》

図7及び図8を参照して、第四実施形態の復号装置150が実行する復号方法の処理手続きを説明する。第四実施形態の復号装置150は、図7に示す通り、整数復号部160を含む。第四実施形態の復号装置150が図8に示す各ステップの処理を実行することにより、第四実施形態の復号方法が実現される。

【0139】

50

第四実施形態の復号装置 150 には、第三実施形態の復号装置 150 と同様、第四実施形態の符号化装置 100 が出力した整数符号が入力される。第四実施形態の復号装置 150 は、入力された整数符号を、第四実施形態の符号化装置 100 の整数符号化部 110 に記憶された対応表と同じ対応表を用いた復号処理で復号して非負の整数値の系列を得ることで、第四実施形態の符号化装置 100 に入力された非負の整数値の系列そのものを復元するものである。以下では、上述した符号化装置の説明と同様に、非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0140】

[整数復号部 160]

整数復号部 160 には、復号装置 150 に入力された整数符号が入力される。整数復号部 160 は、予め作成して整数復号部 160 内に記憶された対応表であり、符号化パラメータ L に対応する予め作成された対応表であり、符号化装置 100 の整数符号化部 110 内に予め記憶され整数符号化部 110 で用いられたのと同じ対応表に基づいて、入力された整数符号を復号して整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力する (S160)。

10

【0141】

より具体的には、整数復号部 160 は、入力された整数符号のうちのまだ読み込んでいない符号部分を最初から対応表に対応する符号がある部分まで読み込み、読み込んだ符号に対応する整数の部分系列を対応表から得る処理を、入力された整数符号の最初から最後まで繰り返し行うことで得た整数の部分系列を纏めた系列を整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ として出力する。この復号処理により、第三実施形態の復号装置 150 の整数復号部 160 における図 11 (B) と図 12 (B) のそれぞれの符号木を用いる復号処理において、最初に用いる符号木を T(1) にした場合と同じ整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得ることができる。

20

【0142】

なお、符号化装置 100 の整数符号化部 110 にて、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ の先頭に (L-1) 個の零値を追加してから符号化を行い、得られた整数符号の最初にある符号 '1' を取り除く処理を行った場合は、整数復号部 160 は、入力された整数符号の先頭に符号 '1' を追加してから上記対応表に基づいて上述した復号処理で各部分系列を得、はじめに得られた (L-1) 個の零値を省略した後、部分系列を纏めた整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を出力すればよい。この復号処理により、第三実施形態の復号装置 150 の整数復号部 160 における図 11 (B) と図 12 (B) のそれぞれの符号木を用いる復号処理において、最初に用いる符号木を T(0) にした場合と同じ整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得ることができる。このように、第四実施形態の復号装置 150 の整数復号部 160 における対応表を用いた復号処理は、第三実施形態の復号装置 150 の整数復号部 160 における符号木を用いた復号処理と等価なものである。

30

【0143】

以上から分かるように、第三実施形態の符号化装置 100 によって符号木を用いた符号化処理で得た整数符号を、第四実施形態の復号装置 150 によって当該符号化処理と対応する対応表を用いた復号処理で復号して整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得たり、第四実施形態の符号化装置 100 によって対応表を用いた符号化処理で得た整数符号を、第三実施形態の復号装置 150 によって当該符号化処理と対応する符号木を用いた復号処理で復号して整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得たりしてもよい。

40

【0144】

本実施形態の発明によれば、零値ではない小さな値も含んで小さな値に大きく偏っている整数値の系列や、非特許文献 2 の技術では対応しきれないくらいに値の偏った整数値の系列であっても、少ない平均ビット数で符号化することができる。また、そのような符号を復号することができる。

【0145】

<第五実施形態>

第三実施形態及び第四実施形態では、予め定めた符号木または予め定めた対応表を用いて符号化復号する手続き的側面から本発明の符号化と復号を実現する形態について説明し

50

た。第五実施形態では、これらの手続きにより得られる符号や整数値の系列というデータの側面から本発明の符号化と復号を実現する形態について説明する。

【0146】

本実施形態の説明では、 L を2以上の整数とする。また、 2^L が L を上回る最小の自然数を K 、 2^L から L を引いた自然数を p 、 L から 2^{L-1} を引いた自然数を q とする。さらに、ビット値 " x " はビット値 " 1 " でありビット値 " y " はビット値 " 0 " である、または、ビット値 " x " はビット値 " 0 " でありビット値 " y " はビット値 " 1 " であるとする。

【0147】

《符号化装置》

図2及び図3を参照して、第五実施形態の符号化装置100が実行する符号化方法の処理手続きを説明する。第五実施形態の符号化装置100は、図2に示す通り、整数符号化部110を含む。第五実施形態の符号化装置100が図3に示す各ステップの処理を実行することにより、第五実施形態の符号化方法が実現される。

【0148】

第五実施形態の符号化装置100には、非負の整数値 x_i 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ の系列（以下、「整数系列」という）が入力される。以下では、符号化装置100に入力された非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0149】

[整数符号化部110]

整数符号化部110は、整数系列に含まれる整数値0の L 個の連続に対応する符号として、ビット値が " x " である1ビットの符号（以下、「符号A」という）を得、整数系列に含まれる、0個から $L-1$ 個連続する整数値0と、1個の0以外の整数値 x_i と、による組、に対応する符号として、1ビット目から K ビット目までに少なくとも1つのビット値 " x " と少なくとも1つのビット値 " y " を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が " y " である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号B」という）を得る（S110）。具体的には、 N サンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を、第三実施形態で説明した符号木や第四実施形態で説明した対応表を用いて符号化して、符号Aや符号Bを得る。

【0150】

なお、符号Bについては、整数系列における整数値0の0個から $L-1$ 個の L 通りの連続個数と、以下の L 通りの部分符号の間に一対一の対応関係が存在する。

（符号Bの部分符号）

（a）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が " x " であり、2ビット目から $K+1$ ビット目までのビット値が " y " である、1通りの部分符号。

（b）符号Bが $K \times x_i$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から K ビット目までの K ビットで構成され、1ビット目のビット値が " y " であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が " x " である、 $p-1$ 通り（すなわち、 $2^L - L - 1$ 通り）の部分符号。

（c）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目から $K+1$ ビット目までの $K+1$ ビットで構成され、1ビット目のビット値が " y " であり、2ビット目から K ビット目までの $K-1$ ビット中の少なくとも1ビットのビット値が " x " であり、かつ、1ビット目から K ビット目までの K ビットの組が上述した（b）の $p-1$ 通り（すなわち、 $2^L - L - 1$ 通り）とは異なり、 $K+1$ ビット目のビット値が " x " または " y " である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L - 2^L$ 通り）の部分符号。

【0151】

《復号装置》

図7及び図8を参照して、第五実施形態の復号装置150が実行する復号方法の処理手続きを説明する。第五実施形態の復号装置150は、図7に示す通り、整数復号部160を含む。第五実施形態の復号装置150が図8に示す各ステップの処理を実行することにより、第五実施形態の復号方法が実現される。

10

20

30

40

50

【0152】

第五実施形態の復号装置150には、第五実施形態の符号化装置100が出力した符号列が入力される。以下では、先述した符号化装置の説明と同様に、非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0153】

[整数復号部160]

整数復号部160は、入力された符号列に含まれる、ビット値が"x"である1ビットの符号（以下、「符号A」という）から、整数値0のL個の連続を得、入力された符号列に含まれる、1ビット目からKビット目までに少なくとも1つのビット値"x"と少なくとも1つのビット値"y"を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が"y"である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号B」という）から、0個からL-1個連続する整数値0と、1個の0以外の整数値 x_i と、による組を得る（S160）。具体的には、入力された符号列に含まれる符号を、第三実施形態で説明した符号木や第四実施形態で説明した対応表を用いて復号して、符号Aや符号Bに対応する上記整数値の系列を得る。

10

【0154】

整数復号部160は、例えば、以下の2つの処理を行うことにより、入力された符号列に含まれる符号Aと符号Bを特定する。2つの処理とは、整数復号部160は、入力された符号列の最初から順に、入力された符号列を、連続するKビット（以下、「Kビット列」という）ずつ読みこむことと、読み込まれたKビット列が"y"を含むものであるとき、該"y"を含むKビット列の直前のビットが、符号Aまたは符号Bの終端のビットであると識別することと、を行うことである。

20

【0155】

なお、符号Bについては、以下のL通りの部分符号と、整数復号部160により得られた整数値による系列における整数値0の0個からL-1個のL通りの連続個数との間に一对一の対応関係が存在する。

(符号Bの部分符号)

(a) 符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目からK+1ビット目までのK+1ビットで構成され、1ビット目のビット値が"x"であり、2ビット目からK+1ビット目までのビット値が"y"である、1通りの部分符号。

(b) 符号Bが $K \times x_i$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目からKビット目までのKビットで構成され、1ビット目のビット値が"y"であり、2ビット目からKビット目までのK-1ビット中の少なくとも1ビットのビット値が"x"である、p-1通り（すなわち、 $2^i - L - 1$ 通り）の部分符号。

30

(c) 符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目からK+1ビット目までのK+1ビットで構成され、1ビット目のビット値が"y"であり、2ビット目からKビット目までのK-1ビット中の少なくとも1ビットのビット値が"x"であり、かつ、1ビット目からKビット目までのKビットの組が上述した(b)のp-1通り（すなわち、 $2^i - L - 1$ 通り）とは異なり、K+1ビット目のビット値が"x"または"y"である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L - 2^i$ 通り）の部分符号。

【0156】

40

《符号列のデータ構造》

第五実施形態の符号化装置及び復号装置が扱う符号列のデータ構造、つまり、第三実施形態及び第四実施形態の符号化装置が整数値の系列から得た符号列であり、第三実施形態及び第四実施形態の復号装置が整数値の系列を得るために用いる符号列のデータ構造について説明する。

【0157】

[符号列のデータ構造]

非負値である整数値 x_i 、 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ の系列（以下、「整数系列」という）を表す符号列は、整数系列から符号列を得る符号化装置や符号列から整数系列を得る復号装置で用いられるものである。

50

【0158】

符号列のデータ構造は、整数系列に含まれる整数値0のL個の連続に対応する符号として、ビット値が"x"である1ビットの符号（以下、「符号A」という）と、整数系列に含まれる、0個からL-1個連続する整数値0と、1個の0以外の整数値 x_i と、による組、に対応する符号として、1ビット目からKビット目までに少なくとも1つのビット値"x"と少なくとも1つのビット値"y"を含み、かつ、最後から $K \times (x_i - 1)$ ビットはビット値が"y"である、 $K \times x_i$ ビットまたは $K \times x_i + 1$ ビットの符号（以下、「符号B」という）と、を含む。

【0159】

なお、符号Bについては、整数系列における整数値0の0個からL-1個のL通りの連続個数と、以下のL通りの部分符号の間に一対一の対応関係が存在する。

10

（符号Bの部分符号）

（a）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目からK+1ビット目までのK+1ビットで構成され、1ビット目のビット値が"x"であり、2ビット目からK+1ビット目までのビット値が"y"である、1通りの部分符号。

（b）符号Bが $K \times x_i$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目からKビット目までのKビットで構成され、1ビット目のビット値が"y"であり、2ビット目からKビット目までのK-1ビット中の少なくとも1ビットのビット値が"x"である、p-1通り（すなわち、 $2^i - L - 1$ 通り）の部分符号。

（c）符号Bが $K \times x_i + 1$ ビットであるときの、該符号Bの1ビット目からK+1ビット目までのK+1ビットで構成され、1ビット目のビット値が"y"であり、2ビット目からKビット目までのK-1ビット中の少なくとも1ビットのビット値が"x"であり、かつ、1ビット目からKビット目までのKビットの組が上述した（b）のp-1通り（すなわち、 $2^i - L - 1$ 通り）とは異なり、K+1ビット目のビット値が"x"または"y"である、 $2q$ 通り（すなわち、 $2L - 2^i$ 通り）の部分符号。

20

【0160】

本実施形態の発明によれば、零値ではない小さな値も含んで小さな値に大きく偏っている整数値の系列や、非特許文献2の技術では対応しきれないくらいに値の偏った整数値の系列であっても、少ない平均ビット数で符号化することができる。また、そのような符号を復号することができる。

【0161】

30

<第六実施形態>

上述の通り、本発明の符号に用いる符号化パラメータLは、0より大きく1より小さい値に拡張したGolombパラメータや負値に拡張したRiceパラメータに対応し、本発明の符号は0より大きく1より小さい値に拡張したGolombパラメータに対するGolomb符号や負値のRiceパラメータに対するGolomb-Rice符号としても解釈できる。従って、従来の最適なGolombパラメータの推定法を基に最適な符号化パラメータLを入力された整数値による系列の部分系列に対して求め、求めた符号化パラメータLを用いた第三実施形態から第五実施形態の整数符号化部の処理をGolomb符号化と組み合わせて入力された整数値の系列を符号化してもよく、この符号化に対応する復号を行ってもよい。この形態を第六実施形態として説明する。

40

【0162】

《符号化装置》

図16及び図17を参照して、第六実施形態の符号化装置400が実行する符号化方法の処理手続きを説明する。第六実施形態の符号化装置400は、図16に示す通り、パラメータ決定部420と整数符号化部410を含む。第六実施形態の符号化装置400が図17に示す各ステップの処理を実行することにより、第六実施形態の符号化方法が実現される。

【0163】

第六実施形態の符号化装置400には、第三から第五実施形態と同様に、非負の整数値の系列が入力される。第六実施形態の符号化装置400に入力された非負の整数値の系列

50

はNサンプルずつパラメータ決定部420と整数符号化部410に入力される。すなわち、第六実施形態の符号化装置400は、例えばマイクロホンで収音した音声や音楽などをデジタル信号に変換して量子化して得た整数値の絶対値による系列などの整数値の系列を、Nサンプルによるフレームごとに符号化する。

【0164】

以下では、本実施形態の符号化装置に入力された非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0165】

[パラメータ決定部420]

パラメータ決定部420には、符号化装置400に入力された整数値の系列のうちの、Nサンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ が入力される。パラメータ決定部420は、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に基づき、その整数系列に対応するGolombパラメータ s とそのパラメータを表す符号であるパラメータ符号と、を得て出力する(S420)。パラメータ符号は、復号装置450が当該パラメータ符号を復号することによりパラメータ決定部420が決定したGolombパラメータ s を得られるように、Golombパラメータを符号化して得ればよい。

10

【0166】

パラメータ決定部420は、例えば、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に含まれる各整数値を用いて式(5)によりGolombパラメータ s を得る。

【0167】

【数6】

$$s = \frac{\ln 2}{N} \sum_{n=1}^N x_n \quad \dots(5)$$

20

【0168】

式(5)で求まるGolombパラメータ s は、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ について式(2)により推定されるGolomb符号化時の総ビット長の推定値を最小化するものである。

【0169】

そして、パラメータ決定部420は、例えば、式(5)により得たGolombパラメータ s をスカラ量子化して符号を得て、得た符号をパラメータ符号として出力し、当該パラメータ符号に対応するGolombパラメータ s の量子化値をGolombパラメータ s として出力する。

30

【0170】

[整数符号化部410]

整数符号化部410には、符号化装置400に入力された整数値の系列のうちの、Nサンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ と、パラメータ決定部420が出力したGolombパラメータ s が入力される。整数符号化部410は、Golombパラメータ s が1以上である場合には、Golombパラメータ s の小数第一位を四捨五入するなどによりGolombパラメータ s を丸めて整数値にした後に、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に対して整数値のGolombパラメータ s によるGolomb符号化を行って、Golomb符号化により得た符号を整数符号として出力し、Golombパラメータ s が1未満である場合には、Golombパラメータ s から後述する処理によりLの値を得て、得たLの値の小数第一位を四捨五入するなどによりLの値を丸めて整数値にすることで符号化パラメータLを得て、得た符号化パラメータLを用いて第三から第五実施形態の整数符号化部110の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力する(S410)。なお、符号化パラメータLが1と2の間の値である場合には、例えば、丸め後の整数値を2とすればよい。

40

【0171】

Golombパラメータ s からLの値を得る処理は、 s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/s})$ とLで表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ とが同じになるLの値を求めるか、または、 s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/s})$ をLで表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ で近似できるようなLの値を求めることにより行う。すなわち、 s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/s})$ とLで表現され

50

る指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ とが同一または近似の関係となるように、Golombパラメータ s から L の値を得る。例えば、 $p(x, 2^{-1/s})=p(x, 1-2^{-1/L})$ から直接導かれる s から L への変換式である式(6a)を用いて、Golombパラメータ s から L の値を求める。

【0172】

【数7】

$$L = -(\log_2(1 - 2^{-1/s}))^{-1} \dots (6a)$$

【0173】

また、例えば、 s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/s})$ を L で表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ で近似する L の値として、上記式(6a)を近似して得られる式(6b)を用いて L の値を求め

10

てもよい。

【0174】

【数8】

$$L = 2^{1/s - 1} \dots (6b)$$

【0175】

《復号装置》

図18及び図19を参照して、第六実施形態の復号装置450が実行する復号方法の処理手続きを説明する。第六実施形態の復号装置450は、図18に示す通り、パラメータ復号部470と整数復号部460を含む。第六実施形態の復号装置450が図19に示す各ステップの処理を実行することにより、第六実施形態の復号方法が実現される。

20

【0176】

第六実施形態の復号装置450には、第六実施形態の符号化装置400が出力した整数符号、及びパラメータ符号が入力される。復号装置450に入力された整数符号及びパラメータ符号は、整数値の系列の N サンプルに対応する符号ごとにパラメータ復号部470と整数復号部460に入力される。すなわち、復号装置450は、符号化装置400と同じフレームごとに復号処理を行う。

【0177】

[パラメータ復号部470]

パラメータ復号部470には、復号装置450に入力されたパラメータ符号が入力される。パラメータ復号部470は、パラメータ決定部420がパラメータ符号を得たのに対応する復号処理により、パラメータ符号を復号してGolombパラメータ s を得て出力する(S470)。パラメータ復号部470は、例えば、符号化装置400のパラメータ決定部420が行ったスカラ量子化に対応する復号処理により、パラメータ符号に対応するGolombパラメータ s の量子化値をGolombパラメータ s として得て出力する。

30

【0178】

[整数復号部460]

整数復号部460には、復号装置450に入力された整数符号と、パラメータ復号部470が出力したGolombパラメータ s が入力される。整数復号部460は、Golombパラメータ s が1以上である場合には、Golombパラメータ s を符号化装置400の整数符号化部410が行ったのと同じ方法により丸めて整数値にした後に整数符号に対してGolombパラメータ s によるGolomb復号を行って整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力し、Golombパラメータ s が1未満である場合には、第六実施形態の整数符号化部410と同じ処理によりGolombパラメータ s から符号化パラメータ L を得て、得た符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数復号部160の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力する(S460)。

40

【0179】

本実施形態の発明によれば、整数値の系列やその部分系列に最適な符号化パラメータ L を用いることで、少ない平均ビット数で符号化することができる。また、そのような符号を復号することができる。

50

【0180】

< 第六実施形態の変形例1 >

第六実施形態では、Golomb符号化・復号と組み合わせた符号化・復号処理を行ったが、Golomb符号化・復号と組み合わせないでもよい。Golomb符号化・復号と組み合わせない形態を第六実施形態の変形例1として説明する（図16、図17参照）。第六実施形態の変形例1の符号化装置400と第六実施形態の符号化装置400とは、整数符号化部410の動作のみ異なる。また、第六実施形態の変形例1の復号装置450と第六実施形態の復号装置450とは、整数復号部460の動作のみ異なる。そこで、以下では、整数符号化部410の動作と整数復号部460の動作について説明する。

【0181】

[整数符号化部410]

整数符号化部410には、符号化装置400に入力された整数値の系列のうちの、Nサンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ と、パラメータ決定部420が出力したGolombパラメータ s が入力される。整数符号化部410は、Golombパラメータ s が1以上である場合には、2を符号化パラメータ L として用いて、第三から第五実施形態の整数符号化部110の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力し、Golombパラメータ s が1未満である場合には、第六実施形態の整数符号化部410と同じ処理によりGolombパラメータ s から符号化パラメータ L を得、得た符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数符号化部110の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力する（S410）。なお、符号化パラメータ L が1と2の間の値である場合には、例えば、丸め後の整数値を2とすればよい。

【0182】

[整数復号部460]

整数復号部460には、復号装置450に入力された整数符号と、パラメータ復号部470が出力したGolombパラメータ s が入力される。整数復号部460は、Golombパラメータ s が1以上である場合には、2を符号化パラメータ L として用いて、第三から第五実施形態の整数復号部160の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力し、Golombパラメータ s が1未満である場合には、第六実施形態の変形例1の整数符号化部410と同じ処理によりGolombパラメータ s から符号化パラメータ L を得て、得た符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数復号部160の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力する（S460）。

【0183】

< 第六実施形態の変形例2 >

第六実施形態では、整数符号化部410においてGolombパラメータ s が1未満である場合にGolombパラメータ s から符号化パラメータ L を得る構成としていたが、パラメータ決定部420においてGolombパラメータ s が1未満である場合に整数系列から符号化パラメータ L を直接得る構成としてもよい。この形態を第六実施形態の変形例2として、以下説明する（図16、図17参照）。

【0184】

[パラメータ決定部420]

第六実施形態のパラメータ決定部420は、Golombパラメータの値に関わらず、Golombパラメータと当該Golombパラメータに対応するパラメータ符号とを必ず出力する構成であったが、第六実施形態の変形例2のパラメータ決定部420は、Golombパラメータ s が1以上である場合には、Golombパラメータ s と当該Golombパラメータ s に対応するパラメータ符号とを出力し、Golombパラメータ s が1未満である場合には、整数系列から符号化パラメータ L を得て、符号化パラメータ L と当該符号化パラメータ L に対応するパラメータ符号とを出力する（S420）。

【0185】

パラメータ決定部420は、例えば、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に含まれる各整数値を用いて式(7a)により符号化パラメータ L を得る。

10

20

30

40

50

【0186】

【数9】

$$L = \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \right) \right\}^{-1} \quad \dots(7a)$$

【0187】

式(7a)で求まる符号化パラメータLは、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ についての式(4b)に基づく分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ に対する対数尤度を最大化するものである。なお、後述する通り、整数符号化部410が符号化処理で用いる符号化パラメータLやGolombパラメータsは、パラメータ決定部420が求めた符号化パラメータLの値そのものではなく、符号化パラメータLや符号化パラメータLから求めたGolombパラメータsを整数値としたものである。そこで、パラメータ決定部420は、式(7a)ではなく、式(7a)を近似した、例えば下記の式(7b)で符号化パラメータLを得るようにしてもよい。

10

【0188】

【数10】

$$L = (\ln 2) \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \right)^{-1} \quad \dots(7b)$$

【0189】

すなわち、式(7a)や式(7b)はあくまでも例であって、パラメータ決定部420は、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ について指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ に対する尤度、尤度の推定値、対数尤度、対数尤度の推定値のいずれかが最大となるような符号化パラメータLを得ればよい。

【0190】

そして、パラメータ決定部420は、上述した処理により得た符号化パラメータLを例えばスカラ量子化して符号を得て、当該符号に対応する符号化パラメータLの量子化値を符号化パラメータLとして出力する。

【0191】

パラメータ符号は、対応する復号装置450がGolombパラメータsの値と符号化パラメータLの値を一意に特定可能な符号とすればよい。例えば、パラメータ決定部420が、Golombパラメータsを符号化して得た符号の前に1ビットの符号'1'を付したものをパラメータ符号とし、符号化パラメータLを符号化して得た符号の前に1ビットの符号'0'を付したものをパラメータ符号とするなどにより、Golombパラメータsに割り当てるパラメータ符号の符号群と、符号化パラメータLに割り当てるパラメータ符号の符号群とに同じ符号が含まれないようにすればよい。

30

【0192】

[整数符号化部410]

整数符号化部410には、符号化装置400に入力された整数値の系列のうちの、Nサンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ と、パラメータ決定部420が出力したGolombパラメータsまたは符号化パラメータLが入力される。整数符号化部410は、Golombパラメータsが入力された場合には、Golombパラメータsを丸めて整数値にし、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に対して整数値のGolombパラメータsによるGolomb符号化を行って、Golomb符号化により得た符号を整数符号として出力し、符号化パラメータLが入力された場合には、符号化パラメータLを丸めて整数値にし、整数値の符号化パラメータLを用いて第三から第五実施形態の整数符号化部110の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力する（S410）。なお、符号化パラメータLが1と2の間の値である場合には、例えば、丸め後の整数値を2とすればよい。

40

【0193】

50

〔パラメータ復号部 470〕

第六実施形態のパラメータ復号部 470 はパラメータ符号を復号して Golomb パラメータを得るものであったが、第六実施形態の変形例 2 のパラメータ復号部 470 は、パラメータ符号を復号して Golomb パラメータ s または符号化パラメータ L を得て出力する (S470)。

【0194】

〔整数復号部 460〕

整数復号部 460 には、復号装置 450 に入力された整数符号と、パラメータ復号部 470 が出力した Golomb パラメータ s または符号化パラメータ L が入力される。整数復号部 460 は、Golomb パラメータ s が入力された場合には、Golomb パラメータ s を符号化装置 400 の整数符号化部 410 が行ったのと同じ方法により丸めて整数値にした後に、整数符号に対して整数値の Golomb パラメータ s による Golomb 復号を行って整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力し、符号化パラメータ L が入力された場合には、符号化パラメータ L を符号化装置 400 の整数符号化部 410 が行ったのと同じ方法により丸めて整数値にした後に、整数値の符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数復号部 160 の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力する (S460)。

【0195】

<第七実施形態>

第六実施形態の符号化装置では、まず Golomb パラメータ s を求めて、求めた Golomb パラメータ s から符号化パラメータ L を求めていたが、符号化パラメータ L を、本発明の符号が最適な指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ に対して尤もらしい L を推定することにより、入力された整数値の系列から直接推定してもよい。この場合、Golomb 符号は 1 以下の値をとる L による本発明の符号と解釈することができる。従って、最適な符号化パラメータ L を入力された整数値による系列の部分系列から直接求め、求めた符号化パラメータ L を用いた第三実施形態から第五実施形態の整数符号化部 110 の処理を Golomb 符号化と組み合わせて入力された整数値の系列を符号化してもよく、この符号化に対応する復号を行ってもよい。この形態を第七実施形態として説明する。

【0196】

《符号化装置》

図 16 及び図 17 を参照して、第七実施形態の符号化装置 400 が実行する符号化方法の処理手続きを説明する。第七実施形態の符号化装置 400 は、図 16 に示す通り、パラメータ決定部 420 と整数符号化部 410 を含む。第七実施形態の符号化装置 400 が図 17 に示す各ステップの処理を実行することにより、第七実施形態の符号化方法が実現される。

【0197】

第七実施形態の符号化装置 400 には、第三から第六実施形態と同様に、非負の整数値の系列が入力される。第七実施形態の符号化装置 400 に入力された非負の整数値の系列は N サンプルずつパラメータ決定部 420 と整数符号化部 410 に入力される。すなわち、第七実施形態の符号化装置 400 は、例えばマイクロホンで収音した音声や音楽などをデジタル信号に変換して量子化して得た整数値の絶対値による系列などの整数値の系列を、 N サンプルによるフレームごとに符号化する。

【0198】

以下では、本実施形態の符号化装置に入力された非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0199】

〔パラメータ決定部 420〕

パラメータ決定部 420 には、符号化装置 400 に入力された整数値の系列のうちの、 N サンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ が入力される。パラメータ決定部 420 は、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に基づき、その整数系列に対応する符号化パラメータ L とそのパラメータを表す符号であるパラメータ符号と、を得て出力する (S420)。パ

ラメータ符号は、復号装置 450 が当該パラメータ符号を復号することによりパラメータ決定部 420 が決定した符号化パラメータ L を得られるように、符号化パラメータ L を符号化して得ればよい。

【0200】

パラメータ決定部 420 は、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ について指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ に対する尤度、尤度の推定値、対数尤度、対数尤度の推定値のいずれかが最大となるような符号化パラメータ L を得る。このような符号化パラメータ L を得る処理は第六実施形態の変形例 2 のパラメータ決定部 420 の説明において上述した通りであり、パラメータ決定部 420 は、例えば、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に含まれる各整数値を用いて式(7a)または式(7b)により符号化パラメータ L を得る。

10

【0201】

そして、パラメータ決定部 420 は、上述した処理により得た符号化パラメータ L を例えばスカラ量子化して符号を得て、得た符号をパラメータ符号として出力し、当該パラメータ符号に対応する符号化パラメータ L の量子化値を符号化パラメータ L として出力する。

【0202】

[整数符号化部 410]

整数符号化部 410 には、符号化装置 400 に入力された整数値の系列のうちの、N サンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ と、パラメータ決定部 420 が出力した符号化パラメータ L が入力される。整数符号化部 410 は、符号化パラメータ L が 1 以下である場合には、符号化パラメータ L から後述する処理により s の値を得て、得た s の値の小数第一位を四捨五入するなどにより s の値を丸めて整数値にすることで Golomb パラメータ s を得て、得た Golomb パラメータ s を用いて整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に対して Golomb パラメータ s による Golomb 符号化を行って、Golomb 符号化により得た符号を整数符号として出力し、符号化パラメータ L が 1 よりも大きい場合には、符号化パラメータ L の小数第一位を四捨五入するなどにより L の値を丸めて整数値にした後に、整数値の符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数符号化部 110 の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力する (S410)。なお、符号化パラメータ L が 1 と 2 の間の値である場合には、例えば、丸め後の整数値を 2 とすればよい。

20

【0203】

符号化パラメータ L から s の値を得る処理は、L で表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ と s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/s})$ とが同じになる s の値を求めるか、または、L で表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ を s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/s})$ で近似できるような s の値を求めることにより行う。すなわち、L で表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ と s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/s})$ とが同一または近似の関係となるように、符号化パラメータ L から s の値を得る。例えば、 $p(x, 1-2^{-1/L}) = p(x, 2^{-1/s})$ から直接導かれる L から s への変換式である式(8a)を用いて、符号化パラメータ L から s の値を求める。

30

【0204】

[数11]

$$s = -(\log_2(1 - 2^{-1/L}))^{-1} \quad \dots(8a)$$

【0205】

また、例えば、L で表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-1/L})$ を s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-1/s})$ で近似する s の値として、上記式(8a)を近似して得られる式(8b)を用いて s の値を求めてもよい。

【0206】

[数12]

$$s = (\log_2 L + 1)^{-1} \quad \dots(8b)$$

【0207】

《復号装置》

50

図18及び図19を参照して、第七実施形態の復号装置450が実行する復号方法の処理手続きを説明する。第七実施形態の復号装置450は、図18に示す通り、パラメータ復号部470と整数復号部460を含む。第七実施形態の復号装置450が図19に示す各ステップの処理を実行することにより、第七実施形態の復号方法が実現される。

【0208】

第七実施形態の復号装置450には、第七実施形態の符号化装置400が出力した整数符号、及びパラメータ符号が入力される。復号装置450に入力された整数符号及びパラメータ符号は、整数値の系列のNサンプルに対応する符号ごとにパラメータ復号部470と整数復号部460に入力される。すなわち、復号装置450は、符号化装置400と同じフレームごとに復号処理を行う。

【0209】

[パラメータ復号部470]

パラメータ復号部470には、復号装置450に入力されたパラメータ符号が入力される。パラメータ復号部470は、パラメータ決定部420がパラメータ符号を得たのに対応する復号処理により、パラメータ符号を復号して符号化パラメータLを得て出力する(S470)。パラメータ復号部470は、例えば、符号化装置400のパラメータ決定部420が行ったスカラ量子化に対応する復号処理により、パラメータ符号に対応する符号化パラメータLの量子化値を符号化パラメータLとして得て出力する。

【0210】

[整数復号部460]

整数復号部460には、復号装置450に入力された整数符号と、パラメータ復号部470が出力した符号化パラメータLが入力される。整数復号部460は、符号化パラメータLが1以下である場合には、第七実施形態の整数符号化部410と同じ処理により符号化パラメータLからGolombパラメータsを得て、得たGolombパラメータsを用いて整数符号に対してGolombパラメータsによるGolomb復号を行って整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力し、符号化パラメータLが1よりも大きい場合には、符号化パラメータLを符号化装置400の整数符号化部410が行ったのと同じ方法により丸めて整数値にした後に、整数値の符号化パラメータLを用いて第三から第五実施形態の整数復号部160の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力する(S460)。

【0211】

本実施形態の発明によれば、整数値の系列やその部分系列に最適な符号化パラメータLを用いることで、少ない平均ビット数で符号化することができる。また、そのような符号を復号することができる。

【0212】

<第七実施形態の変形例1>

第七実施形態では、Golomb符号化・復号と組み合わせた符号化・復号処理を行ったが、Golomb符号化・復号と組み合わせないでもよい。Golomb符号化・復号と組み合わせない形態を第七実施形態の変形例1として説明する(図16、図17参照)。第七実施形態の変形例1の符号化装置400と第七実施形態の符号化装置400とは、整数符号化部410の動作のみ異なる。また、第七実施形態の変形例1の復号装置450と第七実施形態の復号装置450とは、整数復号部460の動作のみ異なる。そこで、以下では、整数符号化部410の動作と整数復号部460の動作について説明する。

【0213】

[整数符号化部410]

整数符号化部410には、符号化装置400に入力された整数値の系列のうちの、Nサンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ と、パラメータ決定部420が出力した符号化パラメータLが入力される。整数符号化部410は、入力された符号化パラメータLの小数第一位を四捨五入するなどによりLの値を丸めて整数値にした後に、整数値の符号化パラメータLが1以下である場合には、2を符号化パラメータLとして用いて、第三から第五実施形態の整数符号化部110の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力し、整数値の

10

20

30

40

50

符号化パラメータLが1よりも大きい場合には、整数値の符号化パラメータLを用いて第三から第五実施形態の整数符号化部110の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力する(S410)。

【0214】

[整数復号部460]

整数復号部460には、復号装置450に入力された整数符号と、パラメータ復号部470が出力した符号化パラメータLが入力される。整数復号部460は、入力された符号化パラメータLを符号化装置400の整数符号化部410が行ったのと同じ方法により丸めて整数値にした後に、整数値の符号化パラメータLが1以下である場合には、2を符号化パラメータLとして用いて、第三から第五実施形態の整数復号部160の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力し、整数値の符号化パラメータLが1よりも大きい場合には、整数値の符号化パラメータLを用いて第三から第五実施形態の整数復号部160の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力する(S460)。

10

【0215】

<第七実施形態の変形例2>

第七実施形態では、整数符号化部410において符号化パラメータLが1以下である場合に符号化パラメータLからGolombパラメータsを得る構成としていたが、パラメータ決定部420において符号化パラメータLが1以下である場合に整数系列からGolombパラメータsを直接得る構成としてもよい。この形態を第七実施形態の変形例2として、以下説明する(図16、図17参照)。

20

【0216】

[パラメータ決定部420]

第七実施形態のパラメータ決定部420は、符号化パラメータLの値に関わらず、符号化パラメータLと当該符号化パラメータLに対応するパラメータ符号とを必ず出力する構成であったが、第七実施形態の変形例2のパラメータ決定部420は、符号化パラメータLが1よりも大きい場合には、符号化パラメータLと当該符号化パラメータLに対応するパラメータ符号とを出力し、符号化パラメータLが1以下である場合には、式(5)により整数系列からGolombパラメータsを得て、Golombパラメータsと当該Golombパラメータsに対応するパラメータ符号とを出力する(S420)。その際、第六実施形態の変形例2と同様に、パラメータ符号は、対応する復号装置450がGolombパラメータsの値と符号化パラメータLの値を一意に特定可能な符号とすればよい。

30

【0217】

[整数符号化部410]

整数符号化部410には、符号化装置400に入力された整数値の系列のうちの、Nサンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ と、パラメータ決定部420が出力した符号化パラメータLまたはGolombパラメータsが入力される。整数符号化部410は、Golombパラメータsが入力された場合には、Golombパラメータsの値を丸めて整数値にした後に、整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に対して整数値のGolombパラメータsによるGolomb符号化を行って、Golomb符号化により得た符号を整数符号として出力し、符号化パラメータLが入力された場合には、符号化パラメータLを丸めて整数値にした後に、整数値の符号化パラメータLを用いて第三から第五実施形態の整数符号化部110の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力する(S410)。なお、符号化パラメータLが1と2の間の値である場合には、例えば、丸め後の整数値を2とすればよい。

40

【0218】

[パラメータ復号部470]

第七実施形態のパラメータ復号部470はパラメータ符号を復号して符号化パラメータLを得るものであったが、第七実施形態の変形例2のパラメータ復号部470は、パラメータ符号を復号して符号化パラメータLまたはGolombパラメータsを得て出力する(S470)。

50

【0219】

〔整数復号部460〕

整数復号部460には、復号装置450に入力された整数符号と、パラメータ復号部470が出力した符号化パラメータLまたはGolombパラメータsが入力される。整数復号部460は、Golombパラメータsが入力された場合には、符号化装置400の整数符号化部410が行ったのと同じ方法によりGolombパラメータsの値を丸めて整数値とし、整数符号に対して整数値のGolombパラメータsによるGolomb復号を行って整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力し、符号化パラメータLが入力された場合には、符号化パラメータLを符号化装置400の整数符号化部410が行ったのと同じ方法により丸めて整数値にした後に、整数値の符号化パラメータLを用いて第三から第五実施形態の整数復号部160の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力する（S460）。 10

【0220】

＜第六実施形態及び第七実施形態のその他の変形＞

なお、Golombパラメータsと符号化パラメータLとは、sで表現される指数分布 $p(x, 2^{-L})$ とLで表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-L})$ とが同一または近似の関係にあることに基づいて、式(6a), (6b), (8a), (8b)などにより相互に変換可能なものである。符号化装置400の整数符号化部410と復号装置450の整数復号部460で同じパラメータの同じ値を用いるようにできるのであれば、何れのパラメータを符号化・復号の対象とするかと上記の変換とをどのように組み合わせて用いてもよい。また、符号化装置400の整数符号化部410と復号装置450の整数復号部460で同じパラメータの同じ値を用いるようにできるのであれば、Golombパラメータsと符号化パラメータLのどちらの値を丸め処理の対象としてもよいし、パラメータの符号化前後（すなわち量子化前後）のどちらの値を丸め処理の対象としてもよいし、符号化における値の量子化と丸め処理を同時に行うようにしてもよい。要するに、第六実施形態及び第七実施形態及びこれらの変形例1と変形例2で説明したのはあくまでも例であって、Nサンプルによるフレームごとに、符号化装置400の整数符号化部410と復号装置450の整数復号部460で同じパラメータの同じ値を用いた符号化処理と復号処理を行えるようにすればよい。 20

【0221】

また、上述した通りsが2のべき乗数であるGolomb符号がGolomb-Rice符号であるので、Golombパラメータsに代えてRiceパラメータrを用いたり、Golomb符号化とGolomb復号に代えてGolomb-Rice符号化とGolomb-Rice復号を用いたりするようにしてもよい。なお、Riceパラメータrと符号化パラメータLとは、GolombパラメータsとRiceパラメータrの関係を表す式である $s=2^L$ とGolombパラメータsと符号化パラメータLとの変換式とを組み合わせた式、例えば下記の式(9)および式(10)により相互に変換可能である。すなわち、 2^L であるsで表現される指数分布 $p(x, 2^{-L})$ とLで表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-L})$ とが同一または近似の関係となるように、Riceパラメータrから符号化パラメータLを得ることも、符号化パラメータLからRiceパラメータrを得ることもできる。 30

【0222】

〔数13〕

$$L = 2^{\left(\frac{1}{2^r} - 1\right)} \dots (9)$$

$$r = \log_2 \left(\frac{1}{1 + \log_2 L} \right) \dots (10)$$

【0223】

＜第八実施形態＞

第六実施形態及び第七実施形態では、入力された整数値による系列の部分系列に対して求めたゴロムパラメータs、ライスパラメータr、符号化パラメータLを用いて第三実施形 50

態から第五実施形態の符号化・復号をすることにより、本発明の符号化と復号を実現する形態について説明した。第八実施形態では、ゴロムパラメータ s 、ライスパラメータ r 、符号化パラメータ L の少なくとも何れかを用いて、本発明の符号化と復号を実現する形態について説明する。

【0224】

《符号化装置》

図16及び図17を参照して、第八実施形態の符号化装置400が実行する符号化方法の処理手続きを説明する。第八実施形態の符号化装置400は、図16に示す通り、パラメータ決定部420と整数符号化部410を含む。第八実施形態の符号化装置400が図17に示す各ステップの処理を実行することにより、第八実施形態の符号化方法が実現される。

10

【0225】

第八実施形態の符号化装置400には、非負の整数値の系列が入力される。第八実施形態の符号化装置400に入力された非負の整数値の系列は N サンプルずつパラメータ決定部420と整数符号化部410に入力される。

【0226】

以下では、本実施形態の符号化装置に入力された非負の整数値を単に「整数値」と呼んで説明する。

【0227】

[パラメータ決定部420]

パラメータ決定部420には、符号化装置400に入力された整数値の系列のうちの、 N サンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ が入力される。パラメータ決定部420は、入力された整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ に基づき、その整数系列に対応するゴロムパラメータ s 、ライスパラメータ r 、符号化パラメータ L の少なくとも何れかと、そのゴロムパラメータ s 、ライスパラメータ r 、符号化パラメータ L の少なくとも何れかを表すパラメータ符号と、を得て出力する(S420)。つまり、パラメータ決定部420は、入力された非負の整数値による系列に含まれる所定サンプル毎の整数値による系列である整数系列ごとに、整数系列に含まれる整数値に基づいてゴロムパラメータ s を求める処理と、整数系列に含まれる整数値に基づいてライスパラメータ r を求める処理と、整数系列について指数分布 $p(x_i, 1-2^{-11})$ に対する尤度、尤度の推定値、対数尤度、対数尤度の推定値のいずれかが最大となる符号化パラメータ L を求める処理と、の少なくとも何れかと、ゴロムパラメータ s とライスパラメータ r と符号化パラメータ L の少なくとも何れかを符号化してパラメータ符号を得る処理と、を行う。

20

30

【0228】

[整数符号化部410]

整数符号化部410には、符号化装置400に入力された整数値の系列のうちの、 N サンプルずつの整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ と、パラメータ決定部420が出力したゴロムパラメータ s 、ライスパラメータ r 、符号化パラメータ L の少なくとも何れかが入力される。整数符号化部410は、符号化パラメータ L が入力された場合には、入力された符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数符号化部110の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力し、ゴロムパラメータ s が入力された場合には、入力されたゴロムパラメータ s から得た符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数符号化部110の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力し、ライスパラメータ r が入力された場合には、入力されたライスパラメータ r から得た符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数符号化部110の何れかの処理と同じ処理により整数符号を得て出力する(S410)。つまり、整数符号化部410は、所定サンプル毎の整数値による系列である整数系列ごとに、パラメータ決定部420が得た符号化パラメータ L 、または、 s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-11})$ と L で表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-11})$ とが同一または近似の関係となるように、パラメータ決定部420が得たゴロムパラメータ s から得た符号化パラメータ L 、または、 2^i である s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-11})$ と L で表

40

50

現される指数分布 $p(x, 1-2^{-11})$ とが同一または近似の関係となるように、パラメータ決定部420が得たライスパラメータ r から得た符号化パラメータ L 、を符号化パラメータ L として用いて符号Aや符号Bの符号を得る。なお、整数系列に対応する符号化パラメータ L が1以下である場合、または、整数系列に対応するゴロムパラメータ s が1以上である場合、または、整数系列に対応するライスパラメータ r が非負である場合には、整数系列をゴロム符号化またはゴロムライス符号化して符号列を得て整数符号として出力するようにしてもよい。

【0229】

《復号装置》

図18及び図19を参照して、第八実施形態の復号装置450が実行する復号方法の処理手続きを説明する。第八実施形態の復号装置450は、図18に示す通り、パラメータ復号部470と整数復号部460を含む。第八実施形態の復号装置450が図19に示す各ステップの処理を実行することにより、第八実施形態の復号方法が実現される。

10

【0230】

第八実施形態の復号装置450には、第八実施形態の符号化装置400が出力した整数符号、及びパラメータ符号が入力される。復号装置450に入力された整数符号及びパラメータ符号は、整数値の系列の N サンプルに対応する符号ごとにパラメータ復号部470と整数復号部460に入力される。つまり、パラメータ復号部470と整数復号部460には、所定単位ごとのパラメータ符号と符号列とが入力される。

【0231】

20

[パラメータ復号部470]

パラメータ復号部470は、パラメータ決定部420がパラメータ符号を得たのに対応する復号処理により、パラメータ符号を復号してゴロムパラメータ s とライスパラメータ r と符号化パラメータ L の少なくとも何れかを得て出力する(S470)。つまり、パラメータ復号部470は、所定単位ごとに、パラメータ符号を復号してゴロムパラメータ s とライスパラメータ r と符号化パラメータ L の少なくとも何れかを得る。

【0232】

[整数復号部460]

整数復号部460には、復号装置450に入力された整数符号と、パラメータ復号部470が出力したゴロムパラメータ s とライスパラメータ r と符号化パラメータ L の少なくとも何れかが入力される。整数復号部460は、符号化パラメータ L が入力された場合には、入力された符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数復号部160の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力し、ゴロムパラメータ s が入力された場合には、入力されたゴロムパラメータ s から得た符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数復号部160の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力し、ライスパラメータ r が入力された場合には、入力されたライスパラメータ r から得た符号化パラメータ L を用いて第三から第五実施形態の整数復号部160の何れかの処理と同じ処理により整数系列 $x_1, x_2, \dots, x_N$ を得て出力する(S460)。つまり、整数復号部460は、所定単位ごとに、パラメータ復号部470が得た符号化パラメータ L 、または、 s で表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-11})$ と L で表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-11})$ とが同一または近似の関係となるように、パラメータ復号部470が得たゴロムパラメータ s から得た符号化パラメータ L 、または、 2^i である s で表現される指数分布 $p(x, 2^{-11})$ と L で表現される指数分布 $p(x, 1-2^{-11})$ とが同一または近似の関係となるように、パラメータ復号部470が得たライスパラメータ r から得た符号化パラメータ L 、を符号化パラメータ L として用いて整数値0の L 個の連続や、0個から $L-1$ 個連続する整数値0と、1個の0以外の整数値 x_1 と、による組からなる、整数値による系列を得る。なお、符号化パラメータ L が1以下である場合、または、ゴロムパラメータ s が1以上である場合、または、ライスパラメータ r が非負である場合には、符号列をゴロム復号またはゴロムライス復号して整数値による系列を得て出力するようにしてもよい。

30

40

【0233】

50

本実施形態の発明によれば、整数値の系列やその部分系列に最適な符号化パラメータLを用いることで、少ない平均ビット数で符号化することができる。また、そのような符号を復号することができる。

【0234】

<補記>

本発明の装置は、例えば単一のハードウェアエンティティとして、キーボードなどが接続可能な入力部、液晶ディスプレイなどが接続可能な出力部、ハードウェアエンティティの外部に通信可能な通信装置（例えば通信ケーブル）が接続可能な通信部、CPU（Central Processing Unit、キャッシュメモリやレジスタなどを備えていてもよい）、メモリであるRAMやROM、ハードディスクである外部記憶装置並びにこれらの入力部、出力部、通信部、CPU、RAM、ROM、外部記憶装置の間のデータのやり取りが可能ないように接続するバスを有している。また必要に応じて、ハードウェアエンティティに、CD-ROMなどの記録媒体を読み書きできる装置（ドライブ）などを設けることとしてもよい。このようなハードウェア資源を備えた物理的実体としては、汎用コンピュータなどがある。

10

【0235】

ハードウェアエンティティの外部記憶装置には、上述の機能を実現するために必要となるプログラムおよびこのプログラムの処理において必要となるデータなどが記憶されている（外部記憶装置に限らず、例えばプログラムを読み出し専用記憶装置であるROMに記憶しておくこととしてもよい）。また、これらのプログラムの処理によって得られるデータなどは、RAMや外部記憶装置などに適宜に記憶される。

20

【0236】

ハードウェアエンティティでは、外部記憶装置（あるいはROMなど）に記憶された各プログラムとこの各プログラムの処理に必要なデータが必要に応じてメモリに読み込まれて、適宜にCPUで解釈実行・処理される。その結果、CPUが所定の機能（上記、…部、…手段などと表した各構成要件）を実現する。

【0237】

本発明は上述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能である。

【0238】

例えば、上述の実施形態では、符号化装置に入力される非負の整数値の系列が、音や画像や映像信号をデジタル信号に変換して得た信号を量子化して有限精度の値にして得た整数値の絶対値による系列である例を説明したが、符号化装置に入力される非負の整数値の系列は、上記以外の信号、例えば心電図や心磁図、脳波、表面筋電図、皮膚電位などの生体信号に基づく時系列信号を量子化して有限精度の値にして得た整数値の絶対値による系列であってもよい。

30

【0239】

または、符号化装置に入力される非負の整数値の系列は、時系列信号ではない、例えばコンピュータ断層撮影、核磁気共鳴画像法、超音波断層画像、血管造影などから得られる医療用画像に基づく信号を量子化して有限精度の値にして得た整数値の絶対値による系列であってもよい。さらには、符号化装置に入力される非負の整数値の系列は、例えば遺伝子情報系列の各遺伝子に関する測定誤差を表すクオリティスコアのような、信号ではない数値の系列を量子化して有限精度の値にして得た整数値の絶対値による系列であってもよい。

40

【0240】

また、符号化装置に入力される非負の整数値の系列は、例えば音や画像や映像信号をデジタル信号に変換して得た信号をコサイン変換等で周波数スペクトルに変換した後に量子化して有限精度の値にして得た整数値の絶対値による系列であってもよいし、例えば上述の信号や信号ではない数値の系列にハイパスフィルタやローパスフィルタなどのフィルタ処理を行った系列を量子化して有限精度の値にして得た整数値の絶対値による系列であ

50

ってもよい。

【0241】

本発明の符号化装置には、これらの入力に対応するために、符号化装置に入力された信号や数値の系列を非負の整数値の系列に変換する処理部として、図2や図16の符号化装置の前段に図示しない変換部を備えるようにしてもよい。同様に、本発明の復号装置には、上述した入力に対応する出力を得るために、整数復号部が得た非負の整数値の系列を信号や数値の系列に変換する処理部として、図7や図18の整数復号部の後段に図示しない逆変換部を備えるようにしてもよい。

【0242】

また、上記実施形態において説明した処理は、記載の順に従って時系列に実行されるのみならず、処理を実行する装置の処理能力あるいは必要に応じて並列的にあるいは個別に実行されるとしてもよい。

【0243】

既述のように、上記実施形態において説明したハードウェアエンティティ（本発明の装置）における処理機能をコンピュータによって実現する場合、ハードウェアエンティティが有すべき機能の処理内容はプログラムによって記述される。そして、このプログラムをコンピュータで実行することにより、上記ハードウェアエンティティにおける処理機能がコンピュータ上で実現される。

【0244】

この処理内容を記述したプログラムは、コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録しておくことができる。コンピュータで読み取り可能な記録媒体としては、例えば、磁気記録装置、光ディスク、光磁気記録媒体、半導体メモリ等のようなものでもよい。具体的には、例えば、磁気記録装置として、ハードディスク装置、フレキシブルディスク、磁気テープ等を、光ディスクとして、DVD（Digital Versatile Disc）、DVD-RAM（Random Access Memory）、CD-ROM（Compact Disc Read Only Memory）、CD-R（Recordable）／RW（ReWritable）等を、光磁気記録媒体として、MO（Magneto-Optical disc）等を、半導体メモリとしてEEPROM（Electrically Erasable and Programmable-Read Only Memory）等を用いることができる。

【0245】

また、このプログラムの流通は、例えば、そのプログラムを記録したDVD、CD-ROM等の可搬型記録媒体を販売、譲渡、貸与等することによって行う。さらに、このプログラムをサーバコンピュータの記憶装置に格納しておき、ネットワークを介して、サーバコンピュータから他のコンピュータにそのプログラムを転送することにより、このプログラムを流通させる構成としてもよい。

【0246】

このようなプログラムを実行するコンピュータは、例えば、まず、可搬型記録媒体に記録されたプログラムもしくはサーバコンピュータから転送されたプログラムを、一旦、自己の記憶装置に格納する。そして、処理の実行時、このコンピュータは、自己の記憶装置に格納されたプログラムを読み取り、読み取ったプログラムに従った処理を実行する。また、このプログラムの別の実行形態として、コンピュータが可搬型記録媒体から直接プログラムを読み取り、そのプログラムに従った処理を実行することとしてもよく、さらに、このコンピュータにサーバコンピュータからプログラムが転送されるたびに、逐次、受け取ったプログラムに従った処理を実行することとしてもよい。また、サーバコンピュータから、このコンピュータへのプログラムの転送は行わず、その実行指示と結果取得のみによって処理機能を実現する、いわゆるASP（Application Service Provider）型のサービスによって、上述の処理を実行する構成としてもよい。なお、本形態におけるプログラムには、電子計算機による処理の用に供する情報であってプログラムに準ずるもの（コンピュータに対する直接の指令ではないがコンピュータの処理を規定する性質を有するデータ等）を含むものとする。

【0247】

10

20

30

40

50

また、この形態では、コンピュータ上で所定のプログラムを実行させることにより、ハードウェアエンティティを構成することとしたが、これらの処理内容の少なくとも一部をハードウェア的に実現することとしてもよい。

【0248】

上述の本発明の実施形態の記載は、例証と記載の目的で提示されたものである。網羅的であるという意思はなく、開示された厳密な形式に発明を限定する意思もない。変形やバリエーションは上述の教示から可能である。実施形態は、本発明の原理の最も良い例証を提供するために、そして、この分野の当業者が、熟考された実際の使用に適するように本発明を色々な実施形態で、また、色々な変形を付加して利用できるようにするために、選ばれて表現されたものである。すべてのそのような変形やバリエーションは、公正に合法的に公平に与えられる幅にしたがって解釈された添付の請求項によって定められた本発明の範囲内である。

10

【図1】

入力 x	二進数表現	符号 (s = 1)	符号 (s = 2)	符号 (s = 3)
0	0000	1	1 0	1 0
1	0001	0 1	1 1	1 1 0
2	0010	0 0 1	0 1 0	1 1 1
3	0011	0 0 0 1	0 1 1	0 1 0
4	0100	0 0 0 0 1	0 0 1 0	0 1 1 0
5	0101	0 0 0 0 0 1	0 0 1 1	0 1 1 1
6	0110	0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 1 0	0 0 1 0
7	0111	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 1 1	0 0 1 1 0
8	1000	0 0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 1 0	0 0 1 1 1
9	1001	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 1 1	0 0 0 1 0
:	:	:	:	:

図 1

【図2】

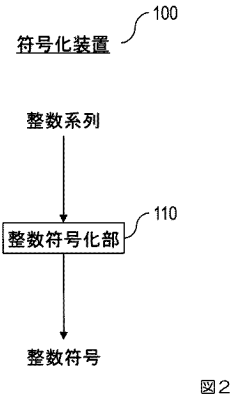


図 2

【図3】

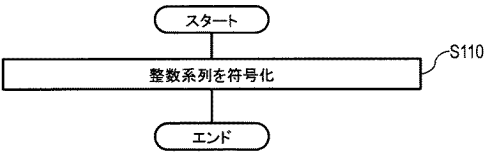


図 3

【図 9】

(A)

整数値の 部分系列	符号
1	01
2	01 00
3	01 00 00
4	01 00 00 00
:	:

(B)

整数値の 部分系列	符号
00	1
01	1 00
02	1 00 00
03	1 00 00 00
04	1 00 00 00 00
:	:

図 9

【図 1 0】

(A)

整数値の 部分系列	符号
1	001
2	001 000
3	001 000 000
4	001 000 000 000
:	:

(B)

整数値の 部分系列	符号
01	010
02	010 000
03	010 000 000
04	010 000 000 000
:	:

(C)

整数値の 部分系列	符号
001	011
002	011 000
003	011 000 000
004	011 000 000 000
:	:

(D)

整数値の 部分系列	符号
0000	1
0001	1 000
0002	1 000 000
0003	1 000 000 000
0004	1 000 000 000 000
:	:

図 10

【図 1 1】

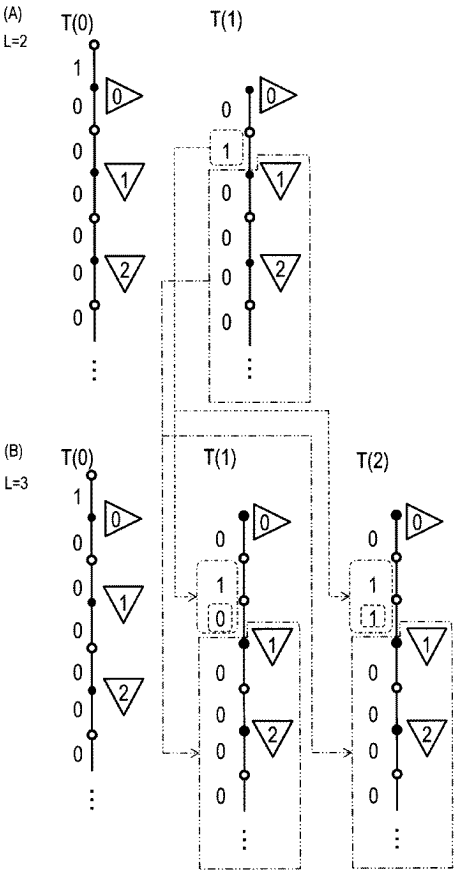


図 11

【図 1 2】

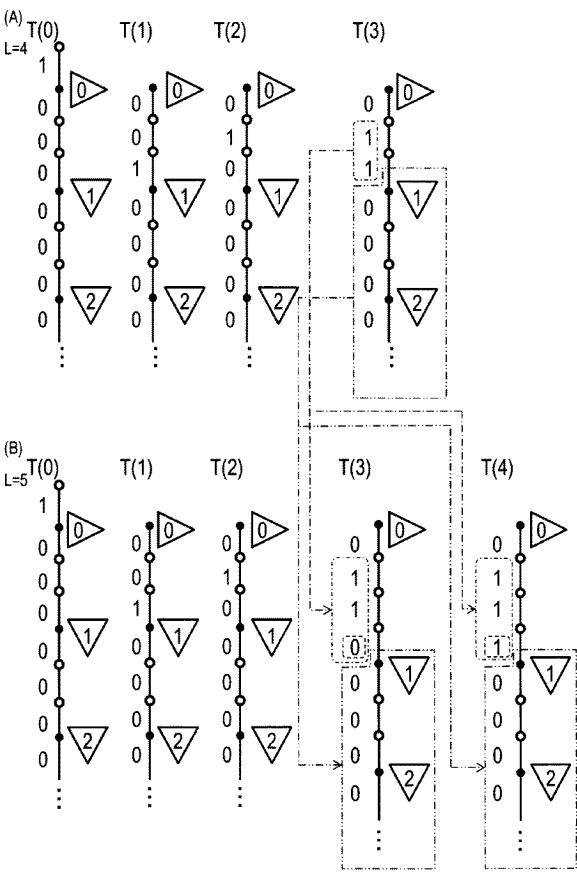


図 12

【図 1 3】

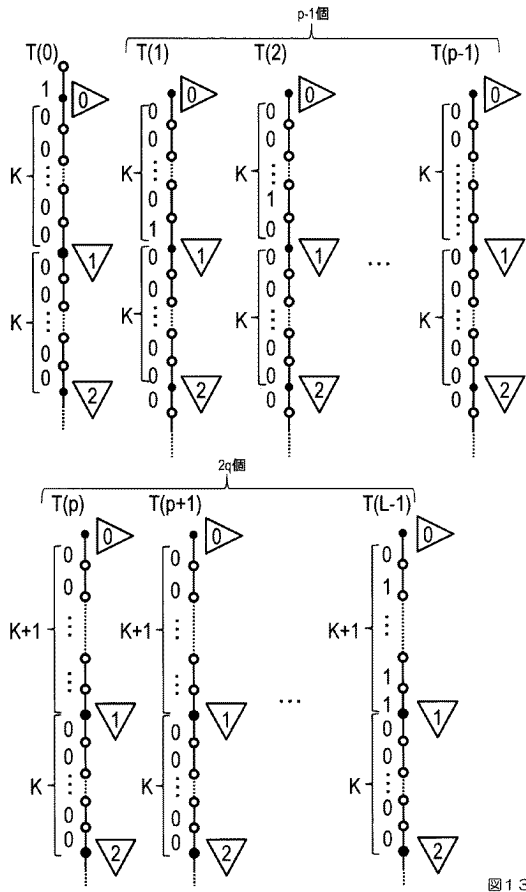


図 1 3

【図 1 5】

(A)	(B)																								
<table><tr><th>整数値の部分系列</th><th>符号</th></tr><tr><td>1</td><td>001</td></tr><tr><td>2</td><td>001 000</td></tr><tr><td>3</td><td>001 000 000</td></tr><tr><td>4</td><td>001 000 000 000</td></tr><tr><td>:</td><td>:</td></tr></table>	整数値の部分系列	符号	1	001	2	001 000	3	001 000 000	4	001 000 000 000	:	:	<table><tr><th>整数値の部分系列</th><th>符号</th></tr><tr><td>01</td><td>010</td></tr><tr><td>02</td><td>010 000</td></tr><tr><td>03</td><td>010 000 000</td></tr><tr><td>04</td><td>010 000 000 000</td></tr><tr><td>:</td><td>:</td></tr></table>	整数値の部分系列	符号	01	010	02	010 000	03	010 000 000	04	010 000 000 000	:	:
整数値の部分系列	符号																								
1	001																								
2	001 000																								
3	001 000 000																								
4	001 000 000 000																								
:	:																								
整数値の部分系列	符号																								
01	010																								
02	010 000																								
03	010 000 000																								
04	010 000 000 000																								
:	:																								
(C)	(D)																								
<table><tr><th>整数値の部分系列</th><th>符号</th></tr><tr><td>001</td><td>0110</td></tr><tr><td>002</td><td>0110 000</td></tr><tr><td>003</td><td>0110 000 000</td></tr><tr><td>004</td><td>0110 000 000 000</td></tr><tr><td>:</td><td>:</td></tr></table>	整数値の部分系列	符号	001	0110	002	0110 000	003	0110 000 000	004	0110 000 000 000	:	:	<table><tr><th>整数値の部分系列</th><th>符号</th></tr><tr><td>0001</td><td>0111</td></tr><tr><td>0002</td><td>0111 000</td></tr><tr><td>0003</td><td>0111 000 000</td></tr><tr><td>0004</td><td>0111 000 000 000</td></tr><tr><td>:</td><td>:</td></tr></table>	整数値の部分系列	符号	0001	0111	0002	0111 000	0003	0111 000 000	0004	0111 000 000 000	:	:
整数値の部分系列	符号																								
001	0110																								
002	0110 000																								
003	0110 000 000																								
004	0110 000 000 000																								
:	:																								
整数値の部分系列	符号																								
0001	0111																								
0002	0111 000																								
0003	0111 000 000																								
0004	0111 000 000 000																								
:	:																								
(E)																									
<table><tr><th>整数値の部分系列</th><th>符号</th></tr><tr><td>00000</td><td>1</td></tr><tr><td>00001</td><td>1 000</td></tr><tr><td>00002</td><td>1 000 000</td></tr><tr><td>00003</td><td>1 000 000 000</td></tr><tr><td>00004</td><td>1 000 000 000 000</td></tr><tr><td>:</td><td>:</td></tr></table>	整数値の部分系列	符号	00000	1	00001	1 000	00002	1 000 000	00003	1 000 000 000	00004	1 000 000 000 000	:	:											
整数値の部分系列	符号																								
00000	1																								
00001	1 000																								
00002	1 000 000																								
00003	1 000 000 000																								
00004	1 000 000 000 000																								
:	:																								

図 1 5

【図 1 4】

(A)	(B)																								
<table><tr><th>整数値の部分系列</th><th>符号</th></tr><tr><td>1</td><td>010</td></tr><tr><td>2</td><td>010 00</td></tr><tr><td>3</td><td>010 00 00</td></tr><tr><td>4</td><td>010 00 00 00</td></tr><tr><td>:</td><td>:</td></tr></table>	整数値の部分系列	符号	1	010	2	010 00	3	010 00 00	4	010 00 00 00	:	:	<table><tr><th>整数値の部分系列</th><th>符号</th></tr><tr><td>01</td><td>011</td></tr><tr><td>02</td><td>011 00</td></tr><tr><td>03</td><td>011 00 00</td></tr><tr><td>04</td><td>011 00 00 00</td></tr><tr><td>:</td><td>:</td></tr></table>	整数値の部分系列	符号	01	011	02	011 00	03	011 00 00	04	011 00 00 00	:	:
整数値の部分系列	符号																								
1	010																								
2	010 00																								
3	010 00 00																								
4	010 00 00 00																								
:	:																								
整数値の部分系列	符号																								
01	011																								
02	011 00																								
03	011 00 00																								
04	011 00 00 00																								
:	:																								
(C)																									
<table><tr><th>整数値の部分系列</th><th>符号</th></tr><tr><td>000</td><td>1</td></tr><tr><td>001</td><td>1 00</td></tr><tr><td>002</td><td>1 00 00</td></tr><tr><td>003</td><td>1 00 00 00</td></tr><tr><td>004</td><td>1 00 00 00 00</td></tr><tr><td>:</td><td>:</td></tr></table>	整数値の部分系列	符号	000	1	001	1 00	002	1 00 00	003	1 00 00 00	004	1 00 00 00 00	:	:											
整数値の部分系列	符号																								
000	1																								
001	1 00																								
002	1 00 00																								
003	1 00 00 00																								
004	1 00 00 00 00																								
:	:																								

図 1 4

【図 1 6】

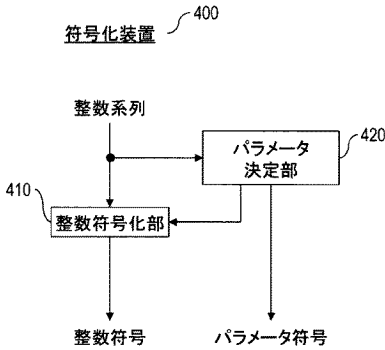


図 1 6

【図 1 7】

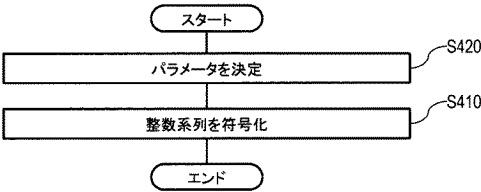


図 1 7

【図 1 8】

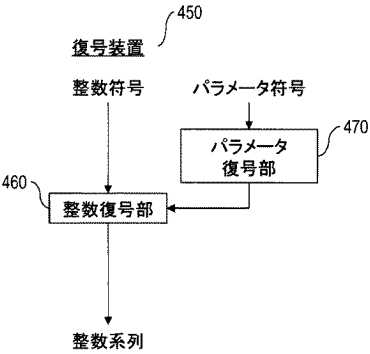


図 1 8

【図 1 9】

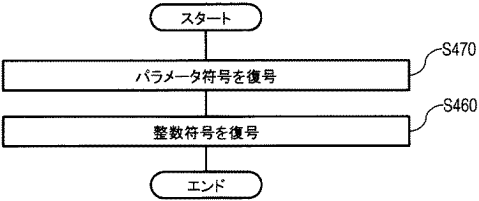


図 1 9

フロントページの続き

(72)発明者 鎌本 優

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 5J064 AA02 BA10 BB06