

(51)Int.Cl.⁷

FI

H04B 1/707

H04J 13/00

D

H03K 3/84

H03K 3/84

A

H03K 3/84

Z

請求項の数5 (全10頁)

(21)出願番号 特願2002-120552(P2002-120552)
 (22)出願日 平成14年4月23日(2002.4.23)
 (65)公開番号 特開2003-318704(P2003-318704A)
 (43)公開日 平成15年11月7日(2003.11.7)
 審査請求日 平成14年4月23日(2002.4.23)

(73)特許権者 390014306
 防衛庁技術研究本部長
 東京都新宿区市谷本村町5番1号
 (73)特許権者 501467393
 株式会社富士通システム統合研究所
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号
 (74)代理人 100105337
 弁理士 眞鍋 潔
 (74)代理人 100072833
 弁理士 柏谷 昭司
 (74)代理人 100075890
 弁理士 渡邊 弘一
 (74)代理人 100110238
 弁理士 伊藤 壽郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】自己相関性の高い2相コード生成方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

巡回コードを構成する2相コードの1箇所の符号のみを反転した各2相コードの各自己相関を算出し、符号反転位置を変えた各2相コードの中から最も自己相関性の高い2相コードを探索して生成することを特徴とする2相コード生成方法。

【請求項2】

巡回コードを構成する2相コードの1箇所の符号のみを反転した各2相コードの各自己相関を算出し、それらの自己相関性が符号反転前の2相コードより高いか否かを判定し、符号反転前より自己相関性が高いと判定された2相コードに対して、他の1箇所の符号のみを反転した2相コードの自己相関を算出し、それらの自己相関性が符号反転前の2相コードより高いか否かを判定する処理を、より高い自己相関性が得られなくなるまで繰り返すことを行い、最も自己相関性の高い2相コードを探索して生成することを特徴とする2相コード生成方法。

【請求項3】

前記巡回コードとしてM系列コード又はL系列コードを用いたことを特徴とする請求項1又は2に記載の2相コード生成方法。

【請求項4】

前記2相コードの1箇所の符号のみを反転した2相コードの自己相関を算出する際に、コード長、サイドローブ改善値及び符号反転位置のパラメータに関する統計的特性に基づいて、符号反転位置を決定することを特徴とする請求項1乃至3の何れかに記載の2相コー

ド生成方法。

【請求項 5】

パルス圧縮用信号、妨害対策用信号、拡散符号用信号又は秘匿通信信号に用いる 2 相コードとして生成することを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れかに記載の 2 相コード生成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、自己相関性の高い 2 相コード生成方法に関し、特に M 系列コード又は L 系列コード等の巡回コードについて、自己相関のサイドローブが低く、自己相関性がより一層改善された改良 2 相コードを探索して生成する方法に関する。

10

【0002】

【従来技術】

2 相コードは値が “ 1 ” 及び “ - 1 ” の符号を複数並べた符号列から成るコードで、その自己相関は振幅の大きな鋭いパルスを与える。この特徴を活かして信号対雑音比 (S / N) の改善や信号の広帯域化などに利用される。このコードの例として Barker Code 13 の自己相関の結果を図 4 に示す。

【0003】

図 4 の (a) はコード長 13 の Barker Code の符号列の一例を示し、同図 (b) はその自己相関の算出式を表し、同図 (c) は Barker Code 13 の自己相関結果をグラフにより表している。

20

【0004】

但し、自己相関性の高いコードを見つけ出す場合、コード長が N であれば 2^N 種類のコードに対してその自己相関を求め、その中から最も信号対雑音比 (S / N) が良く、サイドローブのレベルが低いコードを見つけ出す演算を行わなければならない、コード長の長いコードに対して自己相関性の高い最適コードを生成するには、膨大な計算量が必要で長時間を要していた。

【0005】

最適コードは、現在のところコード長が 100 程度のコードまでは知られているが、更に長いコードについては最適コードが完全に究明されておらず、代りのコードとして巡回コードである M 系列コード又は L 系列コード等が使用されている。以下に M 系列コード及び L 系列コードについて説明する。

30

【0006】

M 系列コードについて図 5 を参照して説明する。M 系列コードは、N 列のコードの初期値 (C_1, C_2, \dots, C_N) 及び係数 (X_1, X_2, \dots, X_N) を与えて、図 5 に示す式 (1) により与えられるコード C_{N+k} ($k = 1, 2, \dots, M - N; M = 2^N - 1$) を順次生成し、コード長が $M = 2^N - 1$ となるまで式 (1) の算出を行ってコードを発生させる。この M 系列コードの特徴としては、周期的に該コードを発生させて自己相関を求めると、図 6 に示すように、自己相関はコード長 “ M ” と “ - 1 ” の 2 値だけの値となる。

【0007】

次に、L 系列コードについて図 7 を参照して説明する。L 系列コードは、図 7 の (a) , (b) に示すように、先頭の符号は “ + 1 ” 又は “ - 1 ” となり、先頭以外の残りの符号列は、その前半部と後半部とで “ + 1 ” 又は “ - 1 ” の配列が左右対称又は左右反対となる。

40

【0008】

図 7 の (a) は、コード長 P が、 $P = 1 \text{ mod } 4$ (即ち、コード長 P を 4 で除したときの余りが 1 となる値、例えば $P = 5$) のときの L 系列コードを示し、図 7 の (b) は、 $P = 3 \text{ mod } 4$ (即ち、コード長 P を 4 で除したときの余りが 3 となる値、例えば $P = 7$) のときの L 系列コードを示している。

【0009】

50

L系列コードのコード長Pは素数の値を取り、図7の(c)に示すように、先頭の符号に続く符号列の位置番号に順に1, 2, ..., P-1と番号を付したとすると、図7の式(2)により算出される列位置番号L_nの符号を“+1”とし、残りの列位置の符号を“-1”とし、この符号列を巡回シフトさせることによりL系列コードが生成される。

【0010】

そして先頭コードが“+1”の場合と“-1”の場合の両方に対して、符号列を1列ずつ巡回シフトさせながら自己相関を求め、そのサイドローレベルが最も低い最適コードを探索する。最適コードを探索する例として、コード長が5の場合とコード長が7の場合について図8及び図9に示す。なお、図8及び図9において“+1”、“-1”の符号を単に“+”、“-”と記している。

10

【0011】

図8の表はコード長が5のL系列コードについて、先頭符号が“+1”の場合と“-1”の場合について各コードの自己相関のサイドローレベルを示している。図8の表において、番号1のコードは先頭符号が“+1”のコードであり、番号2～番号5のコードはこの番号1のコードを、それぞれシフト数1～4まで巡回シフトさせたコードである。ここで、番号4のコードの符号配列は番号2のコードの符号配列と左右対称であり、番号5のコードは番号1のコードと符号配列が左右対称である。

【0012】

符号が反対のコード及び配列が左右逆のコードについては、自己相関が同じ値になることから、一方のコードに対してのみ自己相関を算出すれば良い。従って、先頭符号が“+1”のコードに対して、番号1から番号3までのコードに対して自己相関を求め、そのサイドローレベルが最小値2となる番号2又は番号3のコードを最適コードとして選択する。

20

【0013】

一方、番号6のコードは先頭符号を“-1”としたコードであり、番号7～番号10のコードは、番号6のコードを、それぞれシフト数1～4まで巡回シフトさせたコードである。ここで、番号9のコードは番号7のコードと左右対称であり、また番号10のコードは番号6のコードと左右対称であることから、番号6から番号8までのコードに対して自己相関を求め、そのサイドローレベルが最小値2となる番号6又は番号7のコードを最適コードとして選択する。

30

【0014】

図9の表はコード長が7の場合を示し、先頭符号が“+1”である番号1のコードについて、それぞれシフト数1～6まで巡回シフトした番号2～番号7のコードに対して自己相関を求め、そのサイドローレベルが最小値1となる番号5のコードを最適コードとして選択する。

【0015】

また、先頭符号が“-1”である番号8のコードについて、それぞれシフト数1～6まで巡回シフトした番号9～番号14のコードに対しては、番号8のコードは番号7のコードの符号反転コードと左右対称であり、以下同様に番号9のコードは番号6のコードと、番号10のコードは番号5のコードと、番号11のコードは番号4のコードと、番号12のコードは番号3のコードと、番号13のコードは番号2のコードと、番号14のコードは番号1のコードと、符号反転コードが左右対称であり、それらの自己相関は、対応する対称関係のコードと同じ結果となるので、番号1から番号7までのコードについて算出して決定した番号5のコードを最適コードとして選択することができる。

40

【0016】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、巡回コードであるM系列コード又はL系列コード等の2相コードに対して、更に自己相関性の高い改良コードを簡易にかつ速やかに探索することができる2相コード生成方法を提供することを目的とする。

【0017】

50

【課題を解決するための手段】

本発明の2相コード生成方法は、(1)巡回コードを構成する2相コードの1箇所の符号のみを反転した各2相コードの各自己相関を算出し、符号反転位置を変えた各2相コードの中から最も自己相関性の高い2相コードを探索して生成することを特徴とする。

【0018】

また、(2)巡回コードを構成する2相コードの1箇所の符号のみを反転した各2相コードの各自己相関を算出し、それらの自己相関性が符号反転前の2相コードより高いか否かを判定し、符号反転前より自己相関性が高いと判定された2相コードに対して、他の1箇所の符号のみを反転した2相コードの自己相関を算出し、それらの自己相関性が符号反転前の2相コードより高いか否かを判定する処理を、より高い自己相関性が得られなくなるまで繰り返し行い、最も自己相関性の高い2相コードを探索して生成することを特徴とする。

10

【0019】

また、(3)前記巡回コードとしてM系列コード又はL系列コードを用いたことを特徴とする。また、(4)前記2相コードの1箇所の符号のみを反転した2相コードの自己相関を算出する際に、コード長、サイドローブ改善値及び符号反転位置のパラメータに関する統計的特性に基づいて、符号反転位置を決定することを特徴とする。また、(5)パルス圧縮用信号、妨害対策用信号、拡散符号用信号又は秘匿通信信号に用いる2相コードとして生成することを特徴とする。

【0020】

20

【発明の実施の形態】

図1を参照して本発明による改良2相コードを探索し生成する手順を説明する。本発明による2相コードの生成方法は、元コードAに対してその1箇所のみの符号を順次反転させたコードを生成し、それらの各コードに対して自己相関を算出し、その中で更にサイドローブレベルの低い改良コードが存在するかどうかを判定する。このとき、サイドローブレベルの低下量を改善量として評価するものとする。

【0021】

図1において、元コードAの N_1 番目の列位置の符号を反転したコードBの改善量が1で、元コードAの N_2 番目の列位置の符号を反転したコードCの改善量が同じく1で、元コードAの N_3 番目の列位置の符号を反転したコードDの改善量が2で、元コードAの N_4 番目の列位置の符号を反転したコードEの改善量が1であると判定されたとする。

30

【0022】

次に、コードBに対して N_5 番目の列位置の符号を反転したコードFの改善量が2、コードBに対して N_6 番目の列位置の符号を反転したコードGの改善量が同じく2、コードCに対して何れの列位置の符号を反転しても改善量1以上の改善が無く、コードEに対して N_7 番目の列位置の符号を反転したコードHの改善量が2であると判定されたとする。

【0023】

次に、コードFに対して N_8 番目の列位置の符号を反転したコードIの改善量が3、コードGに対して何れの列位置の符号を反転しても改善量2以上の改善が無く、コードDに対して N_{10} 番目の列位置の符号を反転したコードKの改善量が4、同じくコードDに対して N_{11} 番目の列位置の符号を反転したコードLの改善量が4、コードHに対して何れの列位置の符号を反転しても改善量2以上の改善が無いと判定されたとする。

40

【0024】

次に、コードIに対して N_9 番目の列位置の符号を反転したコードJの改善量が3、それ以外の列位置の符号を反転したコードの改善量が無いと判定されたとする。このようにして、次にコードJ、コードK、コードLに対して更なる改善量が得られなくなるまで残りの列位置について符号を反転したコードを生成し、その中で最も大きな改善量が得られるコードを最適コードとして生成する。

【0025】

このように、各コードに対して1箇所の列位置のみの符号を反転させたコードを生成し、

50

その自己相関の算出による改良コードの存否判定は、コード長が N の場合、 N 個のコードについての自己相関の算出だけで行うことができ、 2^N 個の全コードに亙って自己相関を算出する従来の改良コード探索と比較すると、大幅に少ない計算量によって改良コードを見つけて生成することができる。なお、本発明は 2 相コードの長さに関係なく適用できる。

【 0 0 2 6 】

図 2 に本発明の手順により探索した改良コード及びその改善量の数値例を示す。同図の (a) の表は M 系列改良コードの例を示し、同図の (b) は L 系列改良コードの例を示している。図 2 の (a) において、 N は図 5 に示した N であり、コード長は $2^N - 1$ である。ここで図 2 (a) の表の第 1 行目は、 $N = 5$ 、コード長 3 1 のコードに対して、その列位置 2 0 番目の符号を反転したコードのサイドロープレベルは 4 となり、これは符号反転しない元のコードのサイドロープレベル (図示省略しているが 5) から 1 の改善量が得られることを示している。

10

【 0 0 2 7 】

また、図 2 (a) の表の第 5 行目は、 $N = 9$ 、コード長 5 1 1 のコードに対して、その列位置 1 0 番目、1 7 0 番目、3 8 1 番目、4 4 8 番目の符号を反転したコードのサイドロープレベルは 1 8 となり、これは符号反転しない元のコードのサイドロープレベル (図示省略しているが 2 2) から 4 の改善量が得られることを示している。その他の行については同表に示した通りであるので説明を省略する。

【 0 0 2 8 】

図 2 の (b) の L 系列改良コードの表において、コード長は図 7 に示した P で与えられ、その値は素数である。ここで図 2 (b) の表の第 1 行目は、コード長が 1 0 2 1 で先頭符号が “ + 1 ” のコードを 2 4 8 回分巡回シフトしたコードに対して、その 6 2 番目、2 0 7 番目、6 5 1 番目の符号を反転したコードのサイドロープレベルは 2 3 で、これは符号反転しない元のコードのサイドロープレベル (図示省略しているが 2 6) から 3 の改善量が得られることを示している。他のその他の行については同表に示した通りであるので説明を省略する。

20

【 0 0 2 9 】

更に、 M 系列コード及び L 系列コードの改良コードの効率的な探索方法として、コード長、サイドロープ改善値、符号反転位置等のパラメータ関係を統計的に調査することにより、少ない計算量で改良コードを探索することができる。

30

【 0 0 3 0 】

図 3 は符号反転位置と改良コード出現数との統計的な相関関係をグラフにより表したものである。同図に示すように、コードの両端に近い位置の符号反転により、より多くの改良コード出現が得られる傾向が有ることが分かる。このような統計的特性に着目することにより、より少ない計算量で改良 2 相コードを探索することができる。

【 0 0 3 1 】

次に、本発明により得られる改良 2 相コードの好適な適用例を以下に挙げる。

(1) 監視レーダのパルス圧縮用信号

監視レーダには探知距離と距離分解能の性能を向上させるためにパルス圧縮を行う。パルス圧縮には、自己相関の算出においてサイドロープが小さくなるような周波数又は位相変調の信号が必要である。この位相変調信号として本発明による改良 2 相コードを使用することができる。

40

【 0 0 3 2 】

(2) 携帯電話の拡散符号用信号

携帯電話用の一部の無線装置には符号分割多元接続 (C D M A) 通信方式が採用され、この符号分割多元接続 (C D M A) 通信には 2 相コードの拡散符号が用いられている。この拡散符号に本発明による改良 2 相コードを使用することができる。

【 0 0 3 3 】

(3) 超音波探傷のパルス圧縮用信号

50

物質を非破壊で検査する超音波探傷装置において、探傷感度及び分解能を高めるのにパルス圧縮技術がよく用いられる。パルス圧縮用の信号には自己相関のサイドローブが小さくなるような周波数又は位相変調の信号が必要である。この位相変調信号として本発明による改良2相コードを使用することができる。

【 0 0 3 4 】

(4) 地中レーダのパルス圧縮用信号

地中を非破壊で検査する地中レーダの探知距離及び分解能を上げるのにパルス圧縮技術がよく用いられる。パルス圧縮用の信号には自己相関のサイドローブが小さくなるような周波数又は位相変調の信号が必要である。この位相変調信号として本発明による改良2相コードを使用することができる。

10

【 0 0 3 5 】

(5) アクティブソナーのパルス圧縮用信号

アクティブソナーの探知距離及び分解能を上げるのにパルス圧縮技術を適用することができる。このパルス圧縮用の信号には自己相関のサイドローブが小さくなるような周波数又は位相変調の信号が必要である。この位相変調信号として本発明による改良2相コードを使用することができる。

【 0 0 3 6 】

(6) 超音波診断のパルス圧縮用信号

体を傷つけず体内を診断する超音波診断において感度及び分解能を上げるパルス圧縮技術が適用される。このパルス圧縮用の信号には自己相関のサイドローブが小さくなるような周波数又は位相変調の信号が必要である。この位相変調信号として本発明による改良2相コードを使用することができる。

20

【 0 0 3 7 】

(7) 秘匿通信信号

秘匿情報を送受信する場合、送信側は送信信号を暗号コードにより変調して送信し、受信側では受信信号を同じ暗号コードで復調することにより秘匿情報を得ることができる。受信側はその暗号コードを知らされていないと解読することができない。この暗号コードに本発明による改良2相コードを使用することができる。

【 0 0 3 8 】

【 発明の効果 】

以上説明したように、本発明によれば、2相コードの1箇所の符号のみを反転したコードの自己相関を算出し、符号反転位置の異なる各2相コードの中から最も自己相関性の高い2相コードを探索して生成することにより、更に自己相関性の高い改良コードを簡易にかつ速やかに探索することができ、この自己相関性の高い改良コードを、パルス圧縮用信号、妨害対策用信号、拡散符号用信号、秘匿通信信号等に使用することにより、改良前のコードよりもパルス圧縮比(信号とサイドローブとの比)が改善され、また、符号分割多元接続(CDMA)通信、秘匿通信、妨害電波環境下での通信等において、信号対雑音比(S/N)の高い通信を行うことが可能となる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明による改良2相コードを探索する手順の説明図である。

40

【 図 2 】 本発明により探索した改良コード及びその改善量の数値例を示す図である。

【 図 3 】 符号反転位置と改良コード出現数との統計的な相関関係を示す図である。

【 図 4 】 Barker Code 13の自己相関を示す図である。

【 図 5 】 M系列コードの発生の説明図である。

【 図 6 】 M系列コードの自己相関を示す図である。

【 図 7 】 L系列コードの発生の説明図である。

【 図 8 】 コード長が5のL系列コードについての最適コード探索の説明図である。

【 図 9 】 コード長が7のL系列コードについての最適コード探索の説明図である。

【 符号の説明 】

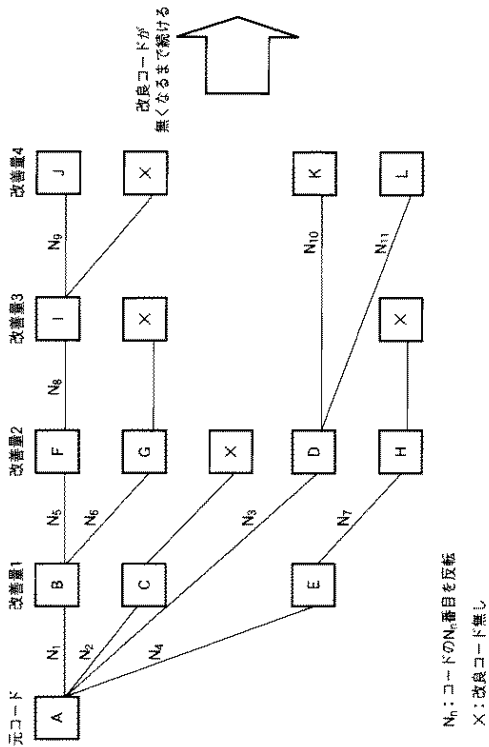
A 元コード

50

B ~ L 元コードから1箇所ずつ符号反転して生成したコード
 $N_1 \sim N_{11}$ コードを構成する符号列の列位置

【 図 1 】

本発明による改良2相コードを探索する手順



【 図 2 】

本発明により探索した改良コード及びその改善量の数値例

(a) M系列改良コードの例

N	コード長	係数	反転	サイドロープ	改善量
5	31	-1,1,1,-1,1	20	4	1
6	63	1,1,-1,-1,1,1	60	7	1
7	127	-1,-1,1,1,-1,1	53	9	1
8	255	-1,1,1,-1,-1,1,1	127	13	1
9	511	-1,1,1,-1,1,-1,1,1	10,170,381,448	18	4
10	1023	1,1,1,-1,-1,-1,1,-1,1	557,692,808,811	28	4
11	2047	-1,1,1,1,-1,1,1,-1,1,1	398,959	42	1

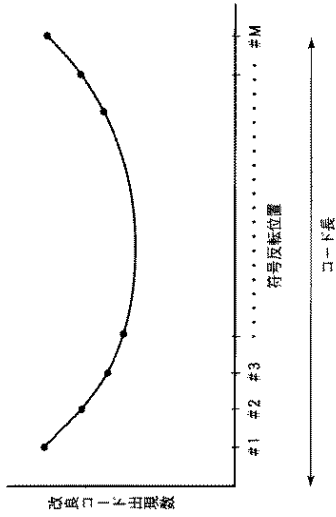
初期値は $C_1 \sim C_N$ に全て1を設定

(b) L系列改良コードの例

コード長	先頭	シフト	反転	サイドロープ	改善量
1021	+1	248	62,207,651	23	3
1193	+1	304	498,712	25	2
1361	+1	342	26,726,887	27	3
1579	+1	1173	418	29	2
1783	+1	1330	1170,1354,1545,1682	30	4
1931	+1	488	208,223,354,411	33	4
2137	+1	551	492,571,1464,1997	35	4

【 図 3 】

符号反転位置と改良コード出現数との統計的な相関関係



【 図 4 】

Barker Code13の自己相関

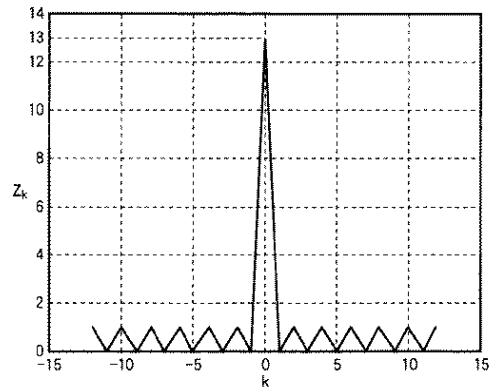
(a) Barker Code13の符号列の例

$X_i = [1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1]$

(b) 自己相関の算出式

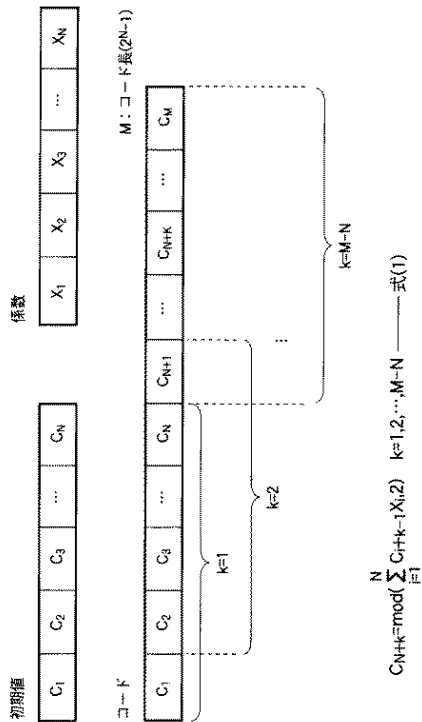
$$Z_k = \left| \sum_{i=1}^{N-|k|} X_i X_{i+|k|} \right| \quad \begin{matrix} k=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(N-1) \\ N: \text{コード長} \end{matrix}$$

(c) Barker Code13の自己相関結果



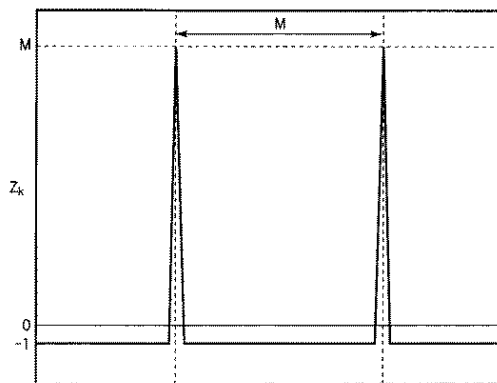
【 図 5 】

M系列コードの発生



【 図 6 】

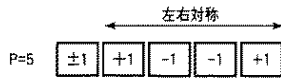
M系列コードの自己相関結果



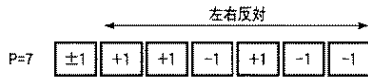
【 図 7 】

L系列コードの発生

(a) $P=1 \bmod 4$ は左右対称のコードになる



(b) $P=3 \bmod 4$ は左右反対のコードになる



$$L_n = \text{mod}(L_{n-1} + 2n - 1, P) \quad \dots \text{式(2)}$$

$n=1, 2, \dots, (P-1)/2$

(c) 符号列の列位置番号



【 図 8 】

コード長が5のL系列コードについての最適コード探索

番号	コード	先頭	シフト	サイドロープ	備考
1	⊕+--+---	+	0	3	
2	⊕+--+---	+	1	2	
3	⊕+--+---	+	2	2	
4	⊕+--+---	+	3	2	2番と同じ
5	⊕+--+---	+	4	3	1番と同じ
6	⊕+--+---	+	0	2	
7	⊕+--+---	+	1	2	
8	⊕+--+---	+	2	4	
9	⊕+--+---	+	3	2	7番と同じ
10	⊕+--+---	+	4	2	6番と同じ

⊗ サイドロープが最も低いコード

【 図 9 】

コード長が7のL系列コードについての最適コード探索

番号	コード	先頭	シフト	サイドロープ	備考
1	⊕+--+---	+	0	2	
2	⊕+--+---	+	1	2	
3	⊕+--+---	+	2	2	
4	⊕+--+---	+	3	3	
5	⊕+--+---	+	4	1	
6	⊕+--+---	+	5	2	
7	⊕+--+---	+	6	3	
8	⊕+--+---	+	0	3	7番と同じ
9	⊕+--+---	+	1	2	6番と同じ
10	⊕+--+---	+	2	1	5番と同じ
11	⊕+--+---	+	3	3	4番と同じ
12	⊕+--+---	+	4	2	3番と同じ
13	⊕+--+---	+	5	2	2番と同じ
14	⊕+--+---	+	6	2	1番と同じ

⊗ サイドロープが最も低いコード

フロントページの続き

(72)発明者 荒木 完

東京都練馬区高松 2 - 6 - 15

(72)発明者 増田 順二

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 株式会社富士通システム統合研究所内

(72)発明者 三好 壮人

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 株式会社富士通システム統合研究所内

審査官 石井 研一

(56)参考文献 特開平 08 - 307386 (JP, A)

特開 2001 - 016185 (JP, A)

特開平 09 - 130296 (JP, A)

長谷川 孝明 外 1 名, 遺伝的アルゴリズムを用いた自己相関関数からの拡散符号の探索について, 電子情報通信学会技術研究報告, 1993 年 1 月 26 日, Vol.92 No.446, pp.25-30, SST92 - 71

荒木 完 外 1 名, フラクタル次元等を用いたパルス圧縮用 2 値長符号系列の探索, 電子情報通信学会論文誌 B, 2003 年 4 月 1 日, vol. J86-B No.4, pp.730-740

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H03K 3/84

H04J 13/00 - 13/06

H04B 1/69 - 1/713