

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6652760号
(P6652760)

(45) 発行日 令和2年2月26日(2020.2.26)

(24) 登録日 令和2年1月28日(2020.1.28)

(51) Int.Cl. F I
HO 4 J 13/10 (2011.01) HO 4 J 13/10
HO 4 B 1/707 (2011.01) HO 4 B 1/707

請求項の数 9 (全 13 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-215003 (P2015-215003) (22) 出願日 平成27年10月30日 (2015.10.30) (65) 公開番号 特開2017-85512 (P2017-85512A) (43) 公開日 平成29年5月18日 (2017.5.18) 審査請求日 平成30年10月26日 (2018.10.26)</p>	<p>(73) 特許権者 504132272 国立大学法人京都大学 京都府京都市左京区吉田本町36番地1 (74) 代理人 110000280 特許業務法人サンクレスト国際特許事務所 (72) 発明者 梅野 健 京都府京都市左京区吉田本町36番地1 国立大学法人京都大学内 (72) 発明者 津田 宏史 京都府京都市左京区吉田本町36番地1 国立大学法人京都大学内 審査官 太田 龍一</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 通信方法及び通信機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

概周期関数符号を用いた通信方法であって、
 K個の概周期関数符号のうち、ユーザ数又はチャネル数に応じた数の概周期関数符号を
 変調に用いること、

を含み、

kが、1からKまでの整数であって、前記K個の概周期関数符号を識別する識別子であ
 るとした場合において、

前記K個の概周期関数符号それぞれを決定するパラメータは、 $\frac{1}{K} + (k - 1) / K$ で表
 され、

Kは、N又は2N(Nは、前記概周期関数符号の符号長)であり、

$\frac{1}{K}$ は、0よりも大きく、1/N未満の実数である

通信方法。

【請求項2】

$\frac{1}{4N}$ $\frac{3}{4N}$ である

請求項1記載の通信方法。

【請求項3】

$\frac{1}{2N}$ である

請求項1記載の通信方法。

【請求項4】

$1 / 8 N$ $3 / 8 N$ である

請求項 1 記載の通信方法。

【請求項 5】

= $1 / 4 N$ である

請求項 1 記載の通信方法。

【請求項 6】

$5 / 8 N$ $7 / 8 N$ である

請求項 1 記載の通信方法。

【請求項 7】

= $3 / 4 N$ である

請求項 1 記載の通信方法。

10

【請求項 8】

は有理数である

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の通信方法。

【請求項 9】

概周期関数符号を用いた通信を行う通信機であって、

K 個の概周期関数符号のうち、ユーザ数又はチャネル数に応じた数の概周期関数符号を変調に用いる変調器を備え、

k が、1 から K までの整数であって、前記 K 個 の概周期関数符号を識別する識別子であるとした場合において、

20

前記 K 個の概周期関数符号それぞれを決定するパラメータは、 $+ (k - 1) / K$ で表され、

K は、N 又は $2 N$ (N は、前記概周期関数符号の符号長) であり、

は、0 よりも大きく、 $1 / N$ 未満の実数である

通信機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概周期関数符号を用いた通信に関するものである。

【背景技術】

30

【0002】

概周期関数は、フーリエ級数展開を一般化することによって得られる。概周期関数は、例えば、m 番目の素数 $p(m)$ の $1 / 2$ 乗を周波数とする信号の和として構成される。このような信号は、通信で用いられたことはなかったが、非特許文献 1 は、通信への適用を初めて提案している。

【0003】

非特許文献 1 は、概周期関数に基づく符号 (概周期関数符号) を用いた多重アクセス通信を開示している。なお、非特許文献 1 では、概周期関数に基づく符号を、概周期拡散符号: APS (Almost Periodic Spreading Sequence) と呼んでいる。

40

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】梅野健、" 概周期関数に基づくスペクトル拡散通信について - 概周期とカオスとの違いについて - "、信学技報、vol.114,no.250 NLP2014-64, pp.87-90(2014)、一般社団法人電子情報通信学会

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明者らによって発表された関連文献「津田宏史、梅野健、" 最適な CDMA 用 W e

50

y 1 符号の構成と評価”、応用数学会予稿(2015)は、Weyl 系列を用いた概周期関数符号(Weyl 符号)の最適化を提案している。より具体的には、関連文献は、各ユーザ毎のWeyl 符号を決定するパラメータ(初期値)である α_k の最適化を開示している。関連文献は、通信のユーザ数がKである場合において、各ユーザkに与えられる各パラメータ(初期値) α_k 間の間隔を、 $1/K$ の等間隔にすることで、ビット誤り率を低くすることができることを報告している。

【0006】

関連文献に記載の概周期関数符号は、無理数の系列であるWeyl 系列を用いた符号であるため、各ユーザに与えられるパラメータ(初期値) α_k は、無理数であることが前提となっている。

10

【0007】

しかし、概周期関数符号を決定するパラメータを無理数に限る必要はない。本発明は、かかる着想に基づくものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一の態様は、概周期関数符号を用いた通信方法であって、K個の概周期関数符号のうち、ユーザ数又はチャネル数に応じた数の概周期関数符号を変調に用いること、を含む。なお、ここでは、通信は、放送を含む意である。

【0009】

実施形態においては、kが、1からKまでの整数であって、K個の概周期関数符号を識別する識別子であるとした場合において、K個の概周期関数符号それぞれを決定するパラメータは、 $\alpha_k + (k-1)/K$ で表される。ここで、Kは、N又は2N(Nは、概周期関数符号の符号長)であり、 α_k は、0よりも大きく、 $1/N$ 未満の実数であるのが好ましい。

20

【0010】

$\alpha_k = 1/4N$ $\alpha_k = 3/4N$ であるのが好ましく、 $\alpha_k = 1/2N$ であるのがより好ましい。

【0011】

$\alpha_k = 1/8N$ $\alpha_k = 3/8N$ であるのが好ましく、 $\alpha_k = 1/4N$ であるのがより好ましい。

【0012】

$\alpha_k = 5/8N$ $\alpha_k = 7/8N$ であるのが好ましく、 $\alpha_k = 3/4N$ であるのがより好ましい。

30

【0013】

α_k は有理数であるのが好ましい。

【0014】

本発明の他の態様は、概周期関数符号を用いた通信を行う通信機であって、K個の概周期関数符号のうち、ユーザ数又はチャネル数に応じた数の概周期関数符号を変調に用いる変調器を備える。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】通信機の示すブロック図である。

【図2】K個の概周期関数符号を示す図である。

40

【図3】自己相関値を示すグラフである。

【図4】概周期関数符号を複素平面にプロットした図である。

【図5】ビット誤り率のシミュレーション結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

[1. 通信機の概要]

以下、実施形態について図面を参照しながら説明する。図1は、概周期関数符号を用いたスペクトル拡散通信のための通信機10を示している。この通信機10は、送信信号を変調する変調器20を備えている。変調器20は、送信信号に概周期関数符号かけて変調信号を出力する。送信データは、BPSK, QPSK, 16QAMなどの一次変調がかけ

50

られたものであってもよい。変調器 20 から出力された変調信号は、信号伝送路を通過して他の通信機によって受信され復調される。

【0017】

[2 . 概周期関数符号]

概周期関数符号 $w_k[n]$ は、次の式 (1) で表される。

【数 1】

$$w_k[n] = \exp(2\pi i \times n \times \rho_k) \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 k は、符号の識別子であって、1 から K までの整数 ($1 \leq k \leq K$) である。 K は、ユーザ数又はチャネル数である。 k は、符号 $w_k[n]$ が割り当てられるユーザ又はチャネルの識別子としても用いられる。

10

n は、符号に含まれる要素の識別子であって、1 から N までの整数 ($1 \leq n \leq N$) である。 N は、符号長である。

i は、虚数単位である。

ρ_k は、符号 $w_k[n]$ を決定するパラメータ (初期値) であり、符号 $w_k[n]$ 毎に異なる値をとる。

【0018】

図 2 は、式 (1) で表される符号 $w_k[n]$ を図示している。図 2 は、符号長 N である K 個の符号 (符号系列) $w_k[n]$ を示している。各符号 $w_k[n]$ は、 N 個の要素を有している。式 (1) 及び図 2 から明らかなように、符号 $w_k[n]$ の値は、パラメータ ρ_k によって決まる。

20

【0019】

Weyl 系列を用いた Weyl 符号 (非特許文献 1 及び関連文献参照) は、式 (1) における $n \times \rho_k$ として、式 (2) で示す Weyl 系列 $x_k[n]$ を用いたものである。Weyl 系列は、準乱数であり、無理数の整数倍の小数部分は、区間 $[0, 1)$ に一様分布するという Weyl の一様分布定理に基づいている。

【数 2】

$$x_k[n] = \sqrt{p_k} \times n \pmod{1} \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 p_k はユーザ k に割り当てられる素数である。

30

【0020】

関連文献は、Weyl 符号において、ユーザ k に割り当てられるパラメータ ρ_k の最適化を開示している。関連文献において、最適化された新たな Weyl 符号は、以下の式 (3) で表されている。

【数 3】

$$w_k[n] = \exp(2\pi i n (\delta + \frac{k-1}{K})) \quad \dots\dots(3)$$

ここで、 δ は、0 以上 1 未満の区間 ($0 \leq \delta < 1$) に含まれる無理数である。

【0021】

40

式 (3) の $(\delta + (k-1)/K)$ が、式 (1) の ρ_k に対応する。すなわち、 $\rho_k = (\delta + (k-1)/K)$ である。式 (3) は、通信のユーザ数が K である場合において、各ユーザ k に与えられる各パラメータ (初期値) ρ_k 間の間隔を、 $1/K$ の等間隔にすることを意味している。関連文献で報告されているように、式 (3) の Weyl 符号によって、相互相関値が最適化され、ビット誤り率を低くすることができる。なお、 δ は、 $k=1$ であるユーザに割り当てられるパラメータ ρ_k に等しい。また、関連文献において、 K はユーザ数を示しているが、チャネル数を示しても良い。

【0022】

式 (3) は無理数系列である Weyl 系列を用いるという前提に基づくため、関連文献において、 δ は前述のように無理数であると定義されている。 δ が無理数であれば ρ_k も

50

無理数である。 k が無理数であれば、符号長 N が無限大になっても、一様分布定理が成り立つ。

【0023】

しかし、Weyl 系列を通信に用いる場合においては、符号長 N は有限長となる。このため、式(3)における $n \times (k - 1)K$ は、 n が符号長 N までの値であるときにおいて、離散的に一様分布するものであれば足りる。したがって、Weyl 系列を通信に用いる場合には、厳密な意味での一様分布定理は成り立つ必要はない。一様分布定理が成り立つ必要がないため、式(3)における k は、無理数である必要はなく、有理数であってもよい。よって、式(3)における k は、有理数を含む実数に拡張できる。また、式(3)の k を無理数として定義しても、コンピュータでの処理の際には、 k は有理数として扱われることになるため、 k を実数として定義する方が現実的である。

10

【0024】

拡張された新たな Weyl 符号は、パラメータ(初期値) k を、次の式(4)のように定義したときの式(1)によって表される。

【数4】

$$\rho_k = \delta + \frac{k-1}{K} \quad \dots\dots(4)$$

ここで、 δ は、0以上1未満($0 < \delta < 1$)の実数である。

【0025】

k が実数であるので、式(4)におけるパラメータ k も実数となる。式(4)のように k が実数に拡張されると、より好ましい k を決定するのが容易となる。本発明者らは、 k を実数に拡張した上で、符号 $w_k[n]$ の自己相関値を考慮してより適切なパラメータ k を見出した。なお、符号 $w_k[n]$ の自己相関値は、変調信号を受信した通信機が、受信した信号における符号 $w_k[n]$ の開始位置を探索するために用いられる指標である。

20

【0026】

パラメータ k が実数である場合において、式(1)の符号 $w_k[n]$ の自己相関値は、以下の式(5)で表される。式(5)において、 l ($0 \leq l < N$) は、符号のずれ量である。

30

【数5】

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-l} \exp(2\pi i(n+l)\rho_k) \exp(-2\pi i n \rho_k) + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^l \exp(2\pi i n \rho_k) \exp(-2\pi i(N-l+n)\rho_k) \quad \dots\dots(5)$$

【0027】

式(5)を整理すると、以下の式(6)になる。

【数6】

$$= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-l} \exp(2\pi i l \rho_k) + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^l \exp(-2\pi i(N-l)\rho_k) \quad \dots\dots(6)$$

40

【0028】

自己相関値は、変数 n には依存しないため、式(6)は、式(7)のように変形できる。

【数7】

$$= \frac{N-l}{N} \exp(2\pi i l \rho_k) + \frac{1}{N} \exp(-2\pi i(N-l)\rho_k) \quad \dots\dots(7)$$

【0029】

50

自己相関値の大きさは、式(7)に基づき、以下の式(8)で表される。

【数8】

$$\sqrt{\left(\frac{N-l}{N}\right)^2 + \left(\frac{l}{N}\right)^2 + \frac{2l(N-l)}{N^2} \cos(2\pi N \rho_k)} \quad \dots\dots(8)$$

【0030】

受信信号における符号の開始位置を探索するには、自己相関値の大きさは小さいほどよい。そこで、ここでは、式(8)で示される値を最小化する。式(8)の根号中の第1項及び第2項は最小化できないため、式(8)の最小化は、例えば、式(8)の根号中の第3項に含まれる $\cos(2\pi N \rho_k)$ を最小化することによって行える。すなわち $\cos(2\pi N \rho_k)$ を常に "-1" にすればよい。したがって、ユーザ又はチャネルを示す変数 k ($k=1$) を用いると、 $\cos(2\pi N \rho_k)$ を最小化するには、以下の式(9)を満たせばよい。

10

【数9】

$$2\pi N \rho_k = \pi + 2(k-1)\pi \quad \dots\dots(9)$$

【0031】

式(9)を ρ_k について解くと、式(10)が得られる。

【数10】

$$\rho_k = \frac{1}{2N} + \frac{k-1}{N} \quad \dots\dots(10)$$

20

【0032】

式(10)に示すパラメータ ρ_k を、式(1)の ρ_k として用いることで、自己相関値を最小化することができる。

【0033】

式(10)は、式(4)における ρ_k を $1/2N$ とし、式(4)におけるユーザ数 K 又はチャネル数 K を符号長 N と同じ大きさにしたものに相当する。 ρ_k を $1/2N$ とした場合、の自己相関値を図4に示す。図3において、横軸は、符号のずれ l を示し、ここでは符号長 $N=128$ としたので、ずれ l は0から128の範囲の値をとる。図3の縦軸は、自己相関値である。図3に示すように、 $\rho_k = 1/2N$ の場合、ずれ l が64(符号長 $N=128$ の半分のずれ)となる位置において、自己相関値が0となり、自己相関値を最小化できていることがわかる。

30

【0034】

また、式(10)の第2項は、 $(k-1)/N$ となっているため、各パラメータ ρ_k 間の間隔は、 $1/N$ の等間隔となっている。したがって、ユーザ数 K 又はチャネル数 K が符号長 N と同じ値であるときに、式(10)は、式(4)を満たしたものとなっている。よって、ユーザ数 K 又はチャネル数 K の最大値を符号長 N と同じ値に制限した上で、式(10)のパラメータ ρ_k を式(1)の ρ_k として用いた符号 $w_k[n]$ を用いて通信を行うと、ビット誤り率の低減効果が得られる。

40

【0035】

図4は、式(10)に従ったパラメータ ρ_k を用いた符号 $w_k[n]$ における1番目($n=1$)の要素 $w_k[1]$ を、複素平面に配置したものである。ここでは、 $K=7$ 、すなわち符号 $w_k[n]$ の個数を7としている。式(10)に従って決定される各パラメータ ρ_k 間の間隔は、 $1/N$ の等間隔であるため、各符号 $w_k[n]$ の間隔も複素平面において等間隔となり、複素平面の円周上において離散的な一様分布が得られる。また、図4に示すように、式(10)の $\rho_k = 1/2N$ は、 $w_1[1]$ の実軸からの位相を決定する。

【0036】

なお、式(9)は、ユーザ k 又はチャネル k にかかわらず、 $\cos(2\pi N \rho_k)$ が "

50

- 1 ”という一定値をとる条件であるため、式(9)から得られた式(10)の ρ_k を用いた符号 $w_k[n]$ の自己相関値は、ユーザ k 又はチャネル k にかかわらず一定になるという好ましい状況(自己相関値の一定化)が得られる。

【0037】

ここで、自己相関値は最小化されているのが好ましいものの、最小化されていなくても、自己相関値が1よりも小さければ、符号の開始位置を探索可能である。したがって、自己相関値の最小化にこだわらなければ、ビット誤り率の低減効果を得るための式(10)の第2項 $((k-1)/N)$ を維持しつつ、式(1)の第1項 $(1/2N)$ の条件緩和が可能である。

【0038】

符号 $w_k[n]$ の自己相関値をユーザ k 又はチャネル k にかかわらず一定にする(自己相関値の一定化)には、式(8)の $\cos(2\pi N \rho_k)$ が、ユーザ k 又はチャネル k にかかわらず、一定値をとればよい。したがって、式(9)における ρ_k を $(0 < \rho_k < 2/N)$ で一般化したときに、 θ が、変数 k を含まない定数であればよい。

【0039】

式(9)における ρ_k を θ で一般化すると、以下の式(11)のとおりである。

$$2\pi N \rho_k = \theta + 2(k-1)\pi \quad \dots\dots(11)$$

【0040】

式(11)を ρ_k について解くと、式(12)が得られる。

【数12】

$$\rho_k = \frac{\theta}{2\pi N} + \frac{k-1}{N} \quad \dots\dots(12)$$

式(12)の第2項 $((k-1)/N)$ は、式(10)の第2項と同じである。また、 $0 < \rho_k < 2/N$ より、式(12)の第1項 $(\theta/2\pi N)$ のとる範囲は、式(13)で示される。

【数13】

$$0 < \frac{\theta}{2\pi N} < \frac{1}{N} \quad \dots\dots(13)$$

【0041】

したがって、式(12)の $(\theta/2\pi N)$ を δ で置き換えると、パラメータ ρ_k は、以下の式(14)で表される。

【数14】

$$\rho_k = \delta + \frac{k-1}{N} \quad \dots\dots(14)$$

ここで、 δ は、0よりも大きく $1/N$ 未満 ($0 < \delta < 1/N$) の実数である。

【0042】

式(14)のパラメータ ρ_k を式(1)の ρ_k として用いた符号 $w_k[n]$ によれば、ビット誤り率の低減及び自己相関値の一定化を図ることができる。

【0043】

符号 $w_k[n]$ の自己相関値は最小化されていないにしても、できるだけ小さい方が好ましい。自己相関値を十分に小さい値、例えば0.5程度、にするという観点からは、式(8)における $\cos(2\pi N \rho_k)$ を0以下にすればよい。この場合、式(12)における ρ_k のとる範囲は、 $\theta/2\pi N \geq 3/2$ となる。この場合、式(12)の第1項 $(\theta/2\pi N)$ のとる範囲は、式(15)で示される。

10

20

30

40

【数 15】

$$\frac{1}{4N} \leq \frac{\theta}{2\pi N} \leq \frac{3}{4N} \quad \dots\dots(15)$$

【0044】

したがって、 $\theta = 1/2N$ は、 $1/4N$ 以上 $3/4N$ 以下 ($1/4N$ から $3/4N$) の実数である。この場合、ビット誤り率の低減及び自己相関値の一定化を図りつつ、自己相関値を十分に小さくすることができる。図3は、 $\theta = 1/4N$ の場合の自己相関値を示しており、ずれ l が $6/4$ (符号長 $N = 128$ の半分のずれ) となる位置において、自己相関値が 0.5 程度となっていることがわかる。 $\theta = 3/4N$ の場合も $\theta = 1/4N$ の場合と同じ自己相関値となる。したがって、 $1/4N$ から $3/4N$ の範囲では、自己相関値は、 $\theta = 1/2N$ の自己相関値と $\theta = 1/4N$ の自己相関値との間の値となる。

10

【0045】

実際の通信では、符号 $w_k[n]$ によって変調される送信ビットが "+1" 又は "-1" のように送信すべき情報に応じた値をとる。送信ビットの値によって自己相関が変化することを回避するには、式(8)の $\cos(2\pi k n/N)$ を常に "0" にして式(8)が送信ビットの値にかかわらず一定値とするのが好ましい。

$\cos(2\pi k n/N)$ を常に "0" にする条件は、式(9)と同様にユーザ又はチャネルを示す変数 k ($k = 1$) を用いると、以下の式(16)で表される。

【数 16】

$$2\pi N \rho_k = \frac{\pi}{2} + (k-1)\pi \quad \dots\dots(16)$$

20

【0046】

式(16)を k について解くと、式(17)が得られる。

【数 17】

$$\rho_k = \frac{1}{4N} + \frac{k-1}{2N} \quad \dots\dots(17)$$

【0047】

式(17)は、式(4)における θ を $1/4N$ とし、式(4)におけるユーザ数 K 又はチャネル数を $2N$ (符号長の2倍)にしたものに相当する。

30

【0048】

式(17)の第2項は、 $(k-1)/2N$ となっているため、各パラメータ k 間の間隔は、 $1/2N$ の等間隔となっている。このように、ユーザ数 K 又はチャネル数 K は $2N$ でもよい。ただし、ユーザ数 K 又はチャネル数 K が大きくなると、ビット誤り率の低減効果が小さくなるため、ビット誤り率の低減という観点からは、ユーザ数 K 又はチャネル数 K は N である方が有利である。そこで、式(17)の第2項の $2N$ を N にすると、式(18)が得られる。

【数 18】

$$\rho_k = \frac{1}{4N} + \frac{k-1}{N} \quad \dots\dots(18)$$

40

【0049】

式(18)は、式(4)における θ を $1/4N$ とし、式(4)におけるユーザ数 K 又はチャネル数を符号長 N にしたものに相当する。これにより、符号 $w_k[n]$ は直交符号となる。

【0050】

また、式(18)のように第2項を $(k-1)/N$ とした場合、式(18)の第1項 ($1/4N$) を、 $3/4N$ にしても、 $\cos 2\pi k n/N$ を 0 にできる。したがって、 k は

50

、以下の式(19)で表されるものであってもよい。

【数19】

$$\rho_k = \frac{3}{4N} + \frac{k-1}{N} \dots\dots(19)$$

【0051】

以上のように、 ρ_k は、 $1/4N$ 又は $3/4N$ であってもよい。ここで、自己相関の変化を回避するのではなく、自己相関の変化が小さければよいのであれば、式(16)~式(19)を導くための「式(8)の $\cos(2\pi k)$ を常に"0"にする」という条件は、「式(8)の $\cos(2\pi k)$ を"0"近傍する」という条件に緩和できる。この場合、 ρ_k を、例えば、 $1/8N$ 、 $3/8N$ 、又は、 $5/8N$ 、 $7/8N$ とすることができる。

10

【0052】

[3. パラメータ ρ_k についてのまとめ]

$\rho_k + (k-1)/K$ で決定されるパラメータ ρ_k を用いた符号 $w_k[n]$ は、ビット誤り率を低減することができる。ここでの ρ_k は、0以上1未満 ($0 < \rho_k < 1$) の実数である。

【0053】

最大ユーザ数 K 又は最大チャネル数 K を符号長 N と同じ値に設定した場合 ($K=N$)、パラメータ ρ_k は、 $\rho_k + (k-1)/N$ となる。この場合も、ビット誤り率の低減効果が得られる。最大ユーザ数 K 又は最大チャネル数 K は、 $2N$ に設定されてもよい。

20

【0054】

ビット誤り率の低減及び自己相関値の一定化を図るには、 $\rho_k + (k-1)/N$ における ρ_k を、0よりも大きく $1/N$ 未満 ($0 < \rho_k < 1/N$) の実数とすればよい。 ρ_k は、 $1/8N$ 以上 ($1/8N < \rho_k$) であるのが好ましく、 $1/4N$ 以上 ($1/4N < \rho_k$) であるのがより好ましい。 ρ_k は、 $7/8N$ 以下 ($\rho_k < 7/8N$) であるのが好ましく、 $3/4N$ 以下 ($\rho_k < 3/4N$) であるのがより好ましい。 ρ_k は、 $1/4N$ 以上 $3/4N$ 以下 ($1/4N < \rho_k < 3/4N$) であるのが好ましく、 ρ_k は、例えば、 $1/2N$ とすることができる。

【0055】

また、 ρ_k は、 $1/8N$ 以上 $3/8N$ 以下 ($1/8N < \rho_k < 3/8N$) であるのが好ましく、 ρ_k は、例えば、 $1/4N$ とすることができる。

30

【0056】

また、 ρ_k は、 $5/8N$ 以上 $7/8N$ 以下 ($5/8N < \rho_k < 7/8N$) であるのが好ましく、 ρ_k は、例えば、 $3/4N$ とすることができる。

【0057】

[4. ビット誤り率]

図5は、パラメータ ρ_k を、式(4)に従って決定した場合と、式(10)に従って決定した場合のビット誤り率を示している。図5において横軸は、ユーザ数 K を示し、縦軸は、ビット誤り率を示している。図5(a)は、符号長 $N=127$ である場合の非同期の拡散通信におけるビット誤り率を示し、図5(b)は、符号長 $N=1024$ である場合のチップ同期の拡散通信におけるビット誤り率を示している。

40

【0058】

パラメータ ρ_k を式(4)に従って決定する場合、式(4)にはユーザ数 K が含まれるため、式(4)に従いパラメータ ρ_k をユーザ数 K 毎に最適化した。一方、パラメータ ρ_k を式(10)に従って決定する場合、式(10)には、ユーザ数 K は含まれないため、ユーザ数 K にかかわらず符号長 $N=128$ を用いて統一的にパラメータ ρ_k を決定した。図5では、比較例として Gold 符号のビット誤り率も示した。

【0059】

パラメータ ρ_k を、式(4)又は式(10)に従って決定した場合、いずれも Gold 符号よりもビット誤り率が低下しており良好な結果が得られている。図5(a)によれば

50

、パラメータ k を式 (10) に従って決定したとき、ユーザ数 K が、符号長 $N = 128$ に一致又はその近傍値である場合には、パラメータ k を式 (4) に従って決定した場合と同様なビット誤り率が得られていることがわかる。図 5 (b) においても同様に、パラメータ k を式 (10) に従って決定したとき、ユーザ数 K が、符号長 $N = 1024$ に一致又はその近傍値である場合には、パラメータ k を式 (4) に従って決定した場合と同様なビット誤り率が得られていることがわかる。ただし、パラメータ k を式 (10) に従って決定した場合、ユーザ数 K が、符号長 $N = 128$ よりも小さくなると、ビット誤り率の低下割合が小さくなる。

【0060】

図 5 に示す結果は、 $K = N$ である場合における式 (4) と式 (10) の等価性を示している。図 5 に示す結果によれば、式 (10) でパラメータ k を決定する場合においては、符号長 N をユーザ数 K 又はチャネル数 K に合わせて可変にすることで、式 (10) に従ってパラメータ k を決定しても、式 (4) に従って決定した場合と同様のビット誤り率が得られることがわかる。

10

【0061】

なお、式 (4) に従って、パラメータ k を決定する場合であっても、 K を実際のユーザ数又はチャネル数とするのではなく、最大ユーザ数又は最大チャネル数として決定してもよい。この場合、通信中における実際のユーザ数又はチャネル数が変動しても、 K は変動しない。このため、パラメータ k を式 (4) に従って決定した場合であっても、式 (10) に従ってパラメータ k を決定した場合と同様のビット誤り率となる。

20

【0062】

[5 . 複数の概周期関数符号の使い方]

変調器 20 は、複数 (K 個) の概周期関数符号 $w_k [n]$ を用いて変調を行う。 K は、ユーザ数又はチャネル数に応じた数であり、 K 個の符号 $w_k [n]$ を用いることで、 K ユーザ又は K チャネルの送信信号を変調することができる。

【0063】

ユーザ数又はチャネル数が変動しない環境での通信の場合、 K は定数でよい。この場合、変調器 20 は、 K 個の概周期関数符号 $w_k [n]$ 全てを変調に用いる。ただし、ユーザ数又はチャネル数は変動することが多い。変調器 20 は、ユーザ数又はチャネル数の数に応じて式 (4) における K の値を変更してもよいが、式 (4) における K を、最大ユーザ数又は最大チャネル数 (一定値) として定義しておいてもよい。この場合、変調器 20 は、予め生成された K 個の概周期関数符号 $w_k [n]$ のうち、実際のユーザ数 L 又はチャネル数 L ($L < K$) に応じた L 個の概周期関数符号 $w_k [n]$ を選択し、選択された L 個の概周期関数符号 $w_k [n]$ を変調に用いる。

30

【0064】

また、最大ユーザ数 K 又は最大チャネル数 K を符号長 N に設定する場合 ($K = N$) も、変調器 20 は、 N 個の概周期関数符号 $w_k [n]$ のうち、実際のユーザ数 L 又はチャネル数 L ($L < K$) に応じた L 個の概周期関数符号 $w_k [n]$ を、変調に用いる。通信機 10 は、変化するユーザ数 K 又はチャネル数 K に応じて、符号長 N を変化させ ($N = K$)、変調器 20 は、変化させた符号長 N に基づいて、 N 個の概周期関数符号 $w_k [n]$ を決定することができる。この場合、変調器 20 は、 N 個の概周期関数符号 $w_k [n]$ を全て用いて変調を行う。なお、最大ユーザ数 K 又は最大チャネル数 K を $2N$ に設定してもよい。また、通信機 10 は、変化するユーザ数 K 又はチャネル数 K に応じて、符号長 N を $K/2$ に変化させてもよい。

40

【0065】

複数の概周期関数符号 $w_k [n]$ は、通信機 10 が有するコンピュータによって生成され、通信機 10 が有する記憶装置に保存されていてもよい。また、複数の概周期関数符号 $w_k [n]$ は、予め、通信機 10 とは別のコンピュータによって生成され、通信機 10 が有する記憶装置に保存されていてもよい。変調器 20 は、記憶装置に保存されている複数の概周期関数符号 $w_k [n]$ の全部又は一部を選択して、変調に用いることができる。

50

【0066】

また、変調部20は、概周期関数符号 w_k を、スペクトル拡散通信のための拡散符号として用いるほか、疑似直交多重変調符号として用いても良い。疑似直交多重変調は、概周期関数符号 w_k を用いて、直交多重変調に類似した変調を行うものであるが、概周期関数符号 w_k を用いるため、厳密には直交多重変調とはならず、疑似直交多重変調となる。

【0067】

疑似直交多重変調では、 $N \times K$ 個のデータシンボル行列（送信信号）に対して、大きさが $K \times N$ の変調行列（疑似直交多重変調符号行列）をかけて、 $K \times K$ 行列の変調信号（疑似直交多重変調信号）を出力する。 $K \times N$ の変調行列は、符号長 N の概周期関数符号 $w_k[n]$ を N 個並べて構成される。概周期関数符号 $w_k[n]$ を、例えば、式(10)に従って決定されるパラメータ k を用いて生成する場合（ $K = N$ ）、変調行列は $N \times N$ 行列となる。

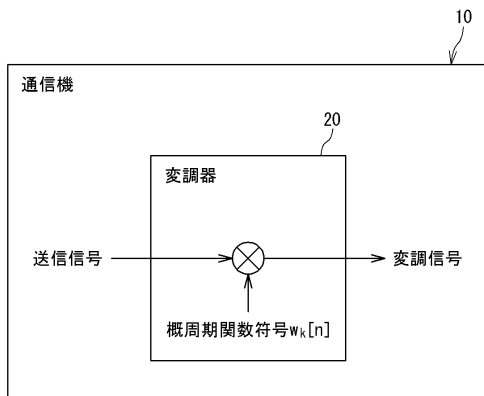
10

【符号の説明】

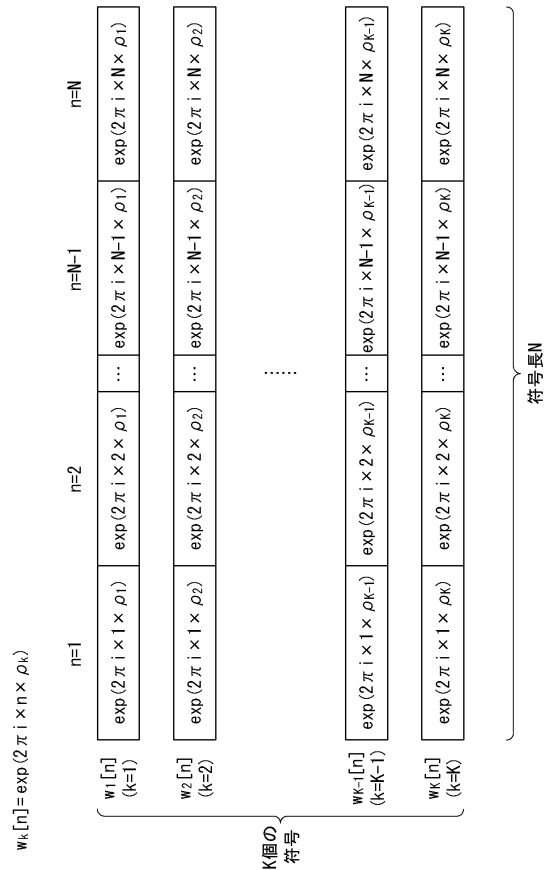
【0068】

- 10 通信機
- 20 変調器

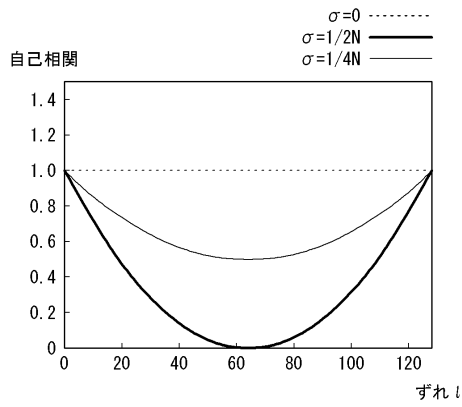
【図1】



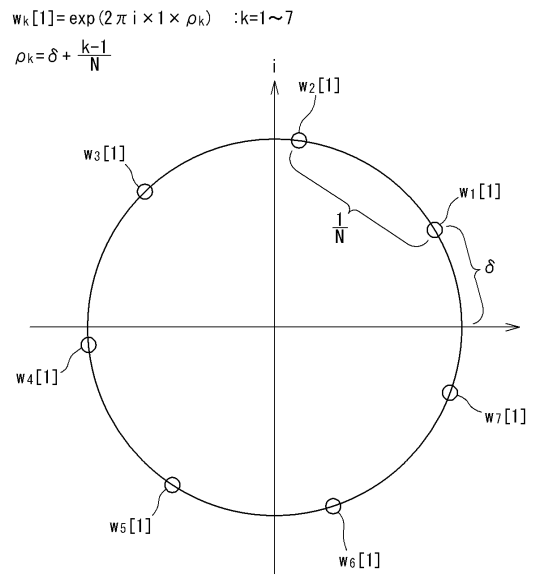
【図2】



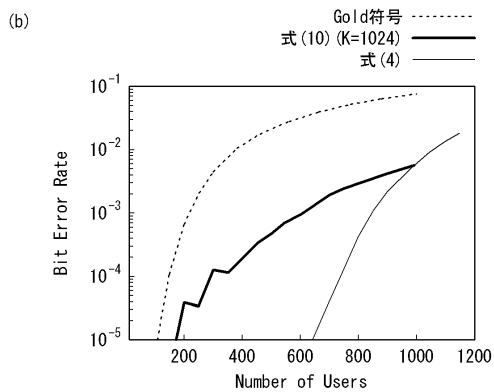
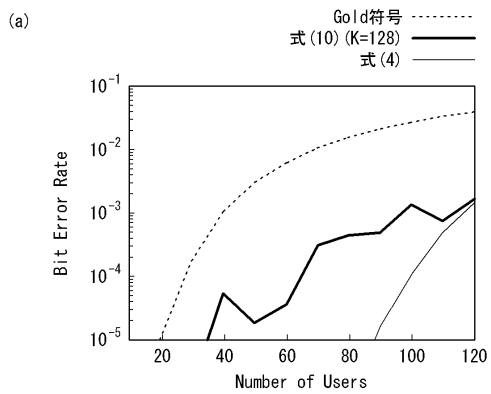
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-028668(JP,A)

梅野 健, 概周期関数に基づくスペクトル拡散通信について - 概周期とカオスとの違いについて -, 電子情報通信学会技術研究報告, 2014年10月9日, Vol.114, No.250, pp.87-90, NLP2014-62

猶原 僚也 他, 概周期関数符号を用いたSuper Dense Multiple Access (SDMA) 通信システム, 電子情報通信学会技術研究報告, 2014年11月26日, Vol.114, No.348, pp.11-16, NLP2014-101

Riccardo Rovatti et al., On Ultimate Limits of Chaos - Based Asynchronous DS-CDMA - I: Basic Definitions and Results, IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS, 2004年7月, Vol.51 No.7, pp.1336-1347

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 13/10

H04B 1/707