

(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2008-10989

(P2008-10989A)

(43) 公開日 平成20年1月17日(2008.1.17)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
 H04 J 13/00 (2006.01) H04 J 13/00 Z 5 K O 2 2

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2006-177346 (P2006-177346)	(71) 出願人	504182255 国立大学法人横浜国立大学 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号
(22) 出願日	平成18年6月27日 (2006.6.27)	(74) 代理人	100101915 弁理士 塩野入 章夫
		(72) 発明者	マルコ ヘルナンデス 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
		(72) 発明者	原田 浩樹 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
		(72) 発明者	河野 隆二 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
		Fターム(参考)	5K022 EE01 EE14 EE22 EE32

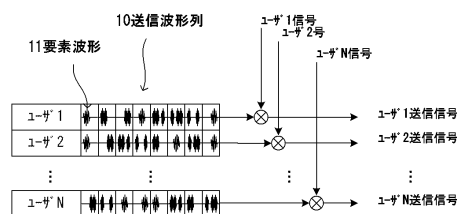
(54) 【発明の名称】 送信信号形成方法及び送信信号形成装置

(57) 【要約】

【課題】 UWB通信における送信信号の形成において、多数のユーザによる多元接続を簡易な構成で可能とする。

【解決手段】 送信信号形成方法は、UWB（超広帯域無線通信）における送信信号形成において、広帯域無線通信で規定される所定の送信信号スペクトルの要素波形を構成する複数のウェーブレットパケット波形をそれぞれ異なる特定の配列順で時系列に配列することにより送信波形列を生成し、送信しようとする送信データ列の各要素に対して、この送信波形列を対応付けることによって送信信号を形成する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

UWB（超広帯域無線通信）における送信信号形成において、  
広帯域無線通信で規定される所定の送信信号スペクトルの要素波形を構成する複数のウェーブレットパケット波形をそれぞれ異なる特定の配列順で時系列に配列することにより送信波形列を生成し、

送信しようとする送信データ列の各要素に対して、前記送信波形列を対応付けることにより送信信号を形成することを特徴とする、送信信号形成方法。

## 【請求項 2】

前記ウェーブレットパケット波形の配列順は、サイクリックシフトに対する一致符号語数が 2 つ以下である系列の符号語に従って定めることを特徴とする、請求項 1 に記載の送信信号形成方法。

## 【請求項 3】

前記系列は拡張 RS 系列であることを特徴とする、請求項 2 に記載の送信信号形成方法。

## 【請求項 4】

前記送信信号は拡散系列により拡散されることを特徴とする、請求項 1 から 3 の何れか一つに記載の送信信号形成方法。

## 【請求項 5】

前記拡散系列は直交系列であることを特徴とする、請求項 4 に記載の送信信号形成方法。

## 【請求項 6】

前記直交系列は、ウォルシュアダマール系列であることを特徴とする、請求項 5 に記載の送信信号形成方法。

## 【請求項 7】

前記拡散系列は非直交系列であり、当該非直交系列の系列長および系列数は各系列間の相関特性のレートに応じて定めることを特徴とする、請求項 4 に記載の送信信号形成方法。

## 【請求項 8】

広帯域無線通信における送信信号形成において、  
広帯域無線通信で規定される所定の送信信号スペクトルの要素波形を構成する複数のウェーブレットパケット波形を、拡張 RS 系列の符号語の配列順に従って時系列に配列して送信波形列を生成し、

送信しようとする送信データ列の各要素に対して、前記送信波形列を拡散系列に従って拡散させて対応付けることにより送信信号を形成することを特徴とする、送信信号形成方法。

## 【請求項 9】

UWB（超広帯域無線通信）において送信信号を形成する送信信号形成装置において、  
広帯域無線通信で規定される所定の送信信号スペクトルの要素波形を構成する複数のウェーブレットパケット波形をそれぞれ異なる特定の配列順で時系列に配列することにより送信波形列を生成する送信波形列生成手段と、

送信しようとする送信データ列の各要素に対して、前記送信波形列生成手段で生成した送信波形列を対応付けして送信信号を形成する送信信号波形手段とを備えることを特徴とする、送信信号形成装置。

## 【請求項 10】

前記送信波形列生成手段は、

前記ウェーブレットパケット波形の配列順を、サイクリックシフトに対する一致符号語数が 2 つ以下である系列の符号語に従って定めることを特徴とする、請求項 9 に記載の送信信号形成装置。

## 【請求項 11】

10

20

30

40

50

前記送信波形列生成手段は、拡張RS系列の符号語に従って前記ウェーブレットパケット波形の配列順を定めることを特徴とする、請求項10に記載の送信信号形成装置。

【請求項12】

前記送信信号波形手段は、前記送信信号を拡散系列によって拡散して送信信号を形成することを特徴とする、請求項9から11の何れか一つに記載の送信信号形成装置。

【請求項13】

前記拡散系列は直交系列であることを特徴とする、請求項12に記載の送信信号形成装置。

【請求項14】

前記直交系列は、ウォルシュアダマール系列であることを特徴とする、請求項13に記載の送信信号形成装置。 10

【請求項15】

前記拡散系列は、各系列間の相関特性のレートに応じて定められる系列長および系列数を備える非直交系列であることを特徴とする、請求項12に記載の送信信号形成装置。

【請求項16】

広帯域無線通信における送信信号形成において、

広帯域無線通信で規定される所定の送信信号スペクトルの要素波形を構成する複数のウェーブレットパケット波形を、拡張RS系列の符号語の配列順に従って時系列に配列して送信波形列を生成する、送信波形列生成手段と、

送信しようとする送信データ列の各要素に対して、前記送信波形列を拡散系列に従って拡散させて対応付けることによって、送信信号を形成する送信信号波形手段ことを特徴とする、送信信号形成装置。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、UWB（超広帯域）無線通信における送信信号の形成に関し、特に、多ユーザのシステム、高速伝送システムに適した送信信号形成方法及び送信信号形成装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、屋内近距離無線通信をはじめ、高精度レーダ、アドホックセンサーネットワークなどの様々な分野において、超広帯域無線（Ultra-Wideband, UWB）通信方式が注目されている。ここでUWBは、米国Federal Communications Commission（FCC）の定義によれば、比帯域幅が $W/f_c$  20%を満たすか、500MHz以上の帯域幅を占有する通信方式である。 30

【0003】

このUWBに関する技術としては、主にDS（直接拡散）-UWBと、Multi-bandUWBが知られている。これらの技術は、IEEEにおいて標準化が進められている。

【0004】

今日の超高速デバイス技術や新しいUWB用アンテナの設計により、任意のパルス波形がnsecオーダーで生成可能となり、また、送受信アンテナにおける波形の歪みの低減によってUWB帯域の信号が受信可能となっている。しかしながら、UWBの通信は、比帯域幅が $W/f_c$  20%を満たすか、500MHz以上の帯域幅を占有する帯域が極めて広い通信方式であるため、他システムに対する干渉や多元接続の点で問題となる。他システムと共存し、多元接続を可能とするためには、送受信装置が複雑となり、コストが高くなるという課題を解決する必要がある。 40

【0005】

一方、ウェーブレット（wavelets）は、従来の様々な通信システムに適用されている。特に、ウェーブレット（wavelets）は時間、周波数領域での局所性から、時変のフェーディング通信路に対して優れた特性を示し、また狭帯域干渉を低減することが知られて 50

いる。さらに、その一般化であるウェーブレットパケット (wavelet packets, WPs) は、マルチレート通信やチャネル識別、スペクトル成形などへの利用が検討されている。また、ウェーブレットパケット WPs は CDMA-like なシステムにおいて多値の拡散符号としても適用されており、受信機のデザインを従来のもよりも複雑度の低いものにすることができる。

【0006】

例えば、送信側の直交交換で離散逆ウェーブレット変換あるいはウェーブレットパケットによる合成を行い、受信側の直交変換に離散ウェーブレット変換あるいはウェーブレットパケットによる分割を用いる方式が提案されている (特許文献1)。

【特許文献1】特開平11-252031号公報

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

大規模センサーネットワークや高データレート通信において、UWBシステムを適用するには、低複雑度の送受信機構成や、時間変動フェーディングチャネルへの耐性、干渉耐性などの課題が重要な役割を果たすと考えられる。

【0008】

ウェーブレットパケット WPs が備える特性から、ウェーブレットパケットを用いて送信信号を形成すれば、UWB通信システムにおいて有効であると期待されるが、ウェーブレットパケットを用いた送信信号に形成については従来提案されておらず、特に、利用ユーザ数を増加させる多元接続に適したウェーブレットパケットを用いた送信信号形成については知られていない。

20

【0009】

そこで、本発明は前記した従来の問題点を解決し、UWB通信における送信信号の形成において、多数のユーザによる多元接続を簡易な構成で可能とすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、複数のウェーブレットパケット波形を時系列で配列して送信波形列を形成し、この送信波形列に送信データ列の各データを当てはめることによって送信信号を形成するものであり、ウェーブレットパケット波形の配列を変えることによって異なる送信波形列を形成することができ、多元接続に対する適用が容易である。つまり、多数のユーザを管理することができ、低コスト、低複雑度なシステムとすることができる。

30

【0011】

また、送信波形列の形成に用いるウェーブレットパケット波形を変えることによって、大きな性能劣化や構成の複雑度を高めることなく、UWB通信に設定された周波数帯域において、他システムに影響のある周波数帯域を避ける送信波形列を形成することができる。つまり、通信性能に影響を与えることなく、送信周波数スペクトル設計の再構築を簡易に行うことができる。

【0012】

また、受信機側において無線通信路状態を推定し、その無線通信路状態に基づいて最適なウェーブレットパケット波形を選択することによって、その無線通信路に適した送信波形列及び送信信号を形成することができる。

40

【0013】

また、送信波形列を直交系列の拡散系列と組み合わせることによって、多元接続に適用することができると共に、優れた自己・相互相関特性を得ることができる。また、送信波形列を非直交系列の拡散系列と組み合わせた場合にも、多元接続に適用することができる。非直交系列の拡散系列と組み合わせた場合には、直交系列のように優れた自己・相互相関特性を得ることはできないが、本発明の送信波形列はそれ自身が直交性を有したウェーブレットパケット波形を用いると共にその配列によって直交性が保たれるため、形成された送信波形列の直交性を有することができる。

50

## 【 0 0 1 4 】

また、本発明は、高速伝送及び低速伝送のどちらにも適用することができる。

## 【 0 0 1 5 】

本発明は、送信信号形成方法の態様と、送信信号形成装置の態様の2つの態様とすることができる。

## 【 0 0 1 6 】

本発明の送信信号形成方法の態様では、UWB（超広帯域無線通信）における送信信号形成において、広帯域無線通信で規定される所定の送信信号スペクトルの要素波形を構成する複数のウェーブレットパケット波形をそれぞれ異なる特定の配列順で時系列に配列することにより送信波形列を生成し、送信しようとする送信データ列の各要素に対して、この送信波形列を対応付けることによって送信信号を形成する。

10

## 【 0 0 1 7 】

ここで、ウェーブレットパケット波形の配列順は、サイクリックシフトに対する一致符号語数が2つ以下である系列の符号語に従って定めることができ、このような系列として例えば、拡張RS系列を用いることができる。

## 【 0 0 1 8 】

拡張RS系列等の系列のように、各系列間において対応する位置の符号語が全て一致しないか、あるいは一致したとしても多くとも2つである場合には、各系列は低い誤り率で識別することができるため、この系列の符号語に合わせてウェーブレットパケット波形を当てはめることによって形成された送信波形列はそれぞれ識別が可能である。

20

## 【 0 0 1 9 】

また、ここで、系列の符号語に当てはめるウェーブレットパケット波形の組み合わせを変えることによって、多元接続を行うことができる。

## 【 0 0 2 0 】

また、本発明の送信信号は、拡散系列として、例えば、ウォルシュアダマール系列等の直交系列により拡散されることで、互いに低相互相関な信号群を生成することができる。なお、ウォルシュアダマール系列は一例であって他の直交系列であってもよい。

## 【 0 0 2 1 】

また、本発明の送信信号は、拡散系列として非直交系列を用いて拡散してもよく、これによって多元接続を行うことができる。非直交系列の系列長や系列数は、系列間で求められる相関特性やその他の送信特性上において求められる条件に応じて、定めることができる。

30

## 【 0 0 2 2 】

本発明の送信信号形成装置の態様では、UWB（超広帯域無線通信）において送信信号を形成する送信信号形成装置において、広帯域無線通信で規定される所定の送信信号スペクトルの要素波形を構成する複数のウェーブレットパケット波形をそれぞれ異なる特定の配列順で時系列に配列することにより送信波形列を生成する送信波形列生成手段と、送信しようとする送信データ列の各要素に対して、送信波形列生成手段で生成した送信波形列を対応付けして送信信号を形成する送信信号波形手段とを備える。

## 【 0 0 2 3 】

ここで、送信波形列生成手段は、ウェーブレットパケット波形の配列順を、サイクリックシフトに対する一致符号語数が2つ以下である、例えば、拡張RS系列の符号語に従って定める。また、送信信号波形手段は、送信信号を例えばウォルシュアダマール系列等の直交系列、あるいは非直交系列の拡散系列によって拡散して送信信号を形成することで多元接続を行うことができる。なお、拡張RS系列、ウォルシュアダマール系列は一例であり、他の系列を用いても良い。

40

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 2 4 】

以上説明したように、本発明によれば、UWB通信における送信信号の形成において、多数のユーザによる多元接続を簡易な構成で可能とすることができる。

50

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0025】

以下、本発明の実施の形態について、図を参照しながら詳細に説明する。

## 【0026】

図1、図2は、本発明の送信信号形成の概略を説明するための図である。図1において、本発明の送信信号形成では、複数のユーザ（ユーザ1～ユーザN）の送信信号（ユーザ1送信信号～ユーザN送信信号）は、各ユーザに対して設定された送信波形列に各ユーザの信号（ユーザ1信号～ユーザN信号）を当てはめることによって形成される。

## 【0027】

ここで、各送信波形列10は、複数の要素波形11を時系列に配列することによって生成される。送信波形列10を構成する要素波形11は、異なるウェーブレットパケット波形を用いることができ、各ウェーブレットパケット波形はそれぞれ直交性を有しており、直交波形群を形成する。この送信波形列10内の要素波形11が直交波形群を構成することから、各送信波形列は直交性を備える。

10

## 【0028】

送信波形列10は、異なる要素波形11の配列順を異ならせることによって区別することができる。これらの送信波形列を各ユーザに割り振ることによって、ユーザ毎に送信信号を形成することができる。

## 【0029】

なお、要素波形に用いるウェーブレットパケット波形は、UWB（超広帯域無線通信）における送信信号形成において、広帯域無線通信で規定される所定の送信信号スペクトルを構成する要素波形であって、この要素波形から選択することができる。

20

## 【0030】

本発明の送信信号形成は、図1で示した送信波形列に、直交系列あるいは非直交系列による拡散系列を組み合わせ、これによって多元接続を行い、さらに多数のユーザによる利用を可能とするものである。以下、拡散系列との組み合わせについて、直交系列を例として説明する。

## 【0031】

図2は、このウェーブレットパケット波形に基づく直交波形群と直交系列との組み合わせを説明するための概略図である。

30

## 【0032】

図2は、直交系列によるM個の拡散系列を形成し、このM個の拡散系列によってグループ1～グループMを形成する例を示している。なお、図2において、グループ1に示す[+++++...]、グループ2に示す[+-+-+...]等は、拡散系列の一系列を示している。なお、ここでは、拡散系列の系列を“+”と“-”の記号を用いて表しているが、“1”と“0”によって表すことができ、以下では、両表記を併用して示す。

## 【0033】

グループ1内の送信波形列は拡散系列の一つの系列で拡散され、このグループ1内において、ユーザ1-1～ユーザ1-Nに割り振られる各送信波形列はウェーブレットパケット波形に基づく直交波形群によって直交性を有している。

40

## 【0034】

また、グループ2内の送信波形列は拡散系列のグループ1とは異なる系列で拡散され、このグループ2内において、ユーザ2-1～ユーザ2-Nに割り振られる各送信波形列はウェーブレットパケット波形に基づく直交波形群によって直交性を有している。

## 【0035】

同様に、グループMの送信波形列は、拡散系列のグループ1～グループ1-Mとは異なる系列で拡散され、ユーザM-1～ユーザM-Nに割り振られる各送信波形列はウェーブレットパケット波形に基づく直交波形群によって直交性を有している。

## 【0036】

上記構成によって、送信波形列の配列の組み合わせがN個、拡散系列によるグループ数

50

がM個である場合には、それぞれ直交性を有したN×M個の送信波形列が形成され、N×Mのユーザにそれぞれ直交性を有した送信波形列を割り当てることができる。

【0037】

つまり、これらグループ間は、拡散系列を用いることで複数の送信波形列が形成され、さらに、直交系列による拡散系列によって直交性が与えられ、各グループ内においては、ウェーブレットパケット波形に基づく直交波形群によって直交性が与えられるため、ユーザ1-1～ユーザ1-N、ユーザ2-1～ユーザ2-N、…、ユーザM-1～ユーザM-Nの各送信信号は、互いに低相互相関の信号群を形成することになる。

【0038】

なお、拡散系列として非直交系列を用いる場合には、その系列長や系列数は、送信波形列間で求められる相関性や、送信特性上で求められる条件に応じて定める。

【0039】

ここで、ウェーブレットパケットの概略について説明する。ウェーブレットパケット(wavelet packets)は、wavelet分解の一般化であり、wavelet packets基底は直交wavelet関数から生成される。wavelet packets基底の全ての集合は、信号を符号化する方法を与えたり、全体的な電力を保持しながら、信号の正確な特徴を再構成することができる。

【0040】

wavelet packets  $W_n(t)$  は、quadrature mirror filters (QMF) の  $h(n)$  と  $g(n)$  によって以下のように再帰的に定義される。

【0041】

$$\begin{aligned} W_{2n}(t) &= \sum_{k \in \mathbb{Z}} h(k) W_n(2t - k) \\ W_{2n+1}(t) &= \sum_{k \in \mathbb{Z}} g(k) W_n(2t - k) \quad \dots (1) \end{aligned}$$

【0042】

ここで、 $W_0(t) = \phi(t)$  はスケーリング関数、 $W_1(t) = \psi(t)$  はマザーウェーブレット関数である。またQMFは、以下の式を満たす。

【0043】

$$\begin{aligned} \sum_{n \in \mathbb{Z}} h(n) &= \sqrt{2} \\ \sum_{n \in \mathbb{Z}} h(n - 2k) h(n - 2l) &= \delta_{kl} \quad \dots (2) \\ g(n) &= (-1)^n h(1 - n) \end{aligned}$$

【0044】

式(1)で記述されるwavelet packetsは固定のスケールを持つ。しかし、さらに細かい分解は、 $\{2^s W_n(2^s t - k)\}$ によって与えられる混合スケール分解によって可能となる。ここで、 $(s, n)$ は区分 $\{2^s n, \dots, 2^s(n+1) - 1\}$ を形成し、また、 $k \in \mathbb{Z}$ である。

【0045】

さらに、これらの関数は直交基底を形成し、wavelet packets基底は関数 $\{2^s W_n(2^s t - k)\}$ から選択される正規直交基底である。表記を変えると、 $W_{s, f, k}(t)$ は以下のような解析関数で表される。

10

20

30

40

50

$$W_{s,f,k}(t) = 2^{s/2} W_f(2^s t - k) \quad \dots (3)$$

【0046】

ここで、 $s$  はスケーリング係数、 $k$  は時間位置のシフトの係数、 $f$  は周波数のパラメータである。 $(s, k)$  の値を決めることによって、関数  $W_{s,f,k}(t)$  は、周波数  $f$  での信号のばらつきを解析することができる。

【0047】

従って、関数

$$\{W_{s,f}(t) = W_{s,f,k}(t) : k \in Z\} \quad \dots (4)$$

は、 $(s, f)^{th}$  wavelet packetを構成する。

【0048】

スケーリング関数は  $W_{0,0}(t) = (t - k)|_k \in Z$  と表すことができ、マザーウェーブレット関数は  $W_{1,1}(t) = (t/2 - k)|_k \in Z$  と表すことができる。

【0049】

wavelet packets の構成は木構造で表すことができ、要素の分割や合成を行うことができる。

【0050】

次に、本発明の送信信号形成において、チャンネル内のグループ数やグループ内のユーザ数を増やすための構成として、wavelet packets と拡散系列との組み合わせについて説明する。

【0051】

ここで、グループ間は拡散系列によって分離し、グループ内の各ユーザに wavelet packet 波形群を割り当てる。また、ユーザに割り当てる固有の wavelet packets の組み合わせは、直交性を持たせるために多値の Reed-Solomon (RS) 系列を用いる。

【0052】

グループ間を分離する拡散系列としては直交系列に限らず非直交系列を用いることができるが、以下では、グループ間を分離する拡散系列として直交系列を用いて説明する。直交系列を用いた場合には、グループ間の直交性を持たせることができる。

【0053】

はじめに、直交系列の例として Walsh-Hadamard (WH) 系列について説明する。

【0054】

$M \times M$  の WH 行列  $H_M$  は、以下のように再帰的に定義される。

$$H_1 = 1, \quad \dots (5)$$

$$H_{2^{m+1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} H_{2^m} & H_{2^m} \\ H_{2^m} & -H_{2^m} \end{pmatrix} \quad \dots (6)$$

【0055】

ここで、 $m = 0, 1, 2, \dots$  である。 $hi^*$  は  $H_M$  の  $i$  行目であり、以下の式で与えられる。

$$hi^* = (h_{i,0} h_{i,1} \dots h_{i,k-1}) \quad \dots (7)$$

【0056】

また、 $H_M$  の各行は、 $M^{1/2}$  で正規化される。行列の各列 (WH 系列) は以下のような直交性を持つ。

【0057】

$$h_i \cdot h_j = \begin{cases} 1 & (i = j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases} \quad \dots (8)$$

【0058】

10

20

30

40

50



M = 8 のときの W H 行列の例を表 1 に示す。

【表 1】

$$\begin{aligned} M^{1/2} h_0 &: 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ M^{1/2} h_1 &: 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \\ M^{1/2} h_2 &: 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \\ M^{1/2} h_3 &: 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \\ M^{1/2} h_4 &: 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \\ M^{1/2} h_5 &: 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \\ M^{1/2} h_6 &: 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \\ M^{1/2} h_7 &: 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \end{aligned}$$

10

【0059】

20

次に、ウェーブレットパケット波形の配列順を定める一列例である R S 系列について説明する。以下、GF(q) のエレメントを用いた R S 系列について説明する。

【0060】

ここでは、wavelet packet 波形の組み合わせを決定するために、GF(q) 上の拡張 R S 系列 (系列長  $N' = q$ ) を用いる。

【0061】

従来の R S 系列は以下の手順で生成される。

【0062】

素数 p、整数 m を選んで  $q = p^m$  とし、 $a_{j,i}$  GF(q) の符号語を  $a = [a_{j,0}, a_{j,1}, \dots, a_{j,t-1}]$  とし、以下のように多項式表現する。

30

【0063】

$$P_j(x) = \sum_{i=0}^{t-1} a_{j,i} x^i, \quad \dots (9)$$

ここで、 $a_{j,t-1} = 1$  である。

【0064】

R S 系列は以下のように与えられる。

$$RS[j][k] = P_j(x^k), \quad \dots (10)$$

【0065】

ここで、 $j = 0, 1, \dots, |RS| - 1$ ,  $k = 0, 1, \dots, N - 1$  であり、 $|RS|$  は系列数、N は系列長、 $x$  は GF(q) の原子要素である。

40

【0066】

上述の方法で生成された R S 系列のうち任意の異なる系列二つは、サイクリックシフトに対する一致符号語数が 1 つ以下に制限される。ここで、各系列は全ての符号語パターン数 q 個の要素を持たず、 $N = q - 1$  個の要素によって構成されている。そこで、各 R S 系列に符号語を一つ追加して、系列長が  $N' = q$  の拡張 R S 系列を生成する。

【0067】

表 2 に GF(q=8) の拡張 R S 系列の例 (系列長  $N' = 8$ ) を示す。この拡張 R S 系列はサイクリックシフトに対する一致符号語数が 2 つ以下に制限される。

50

【 0 0 6 8 】

【 表 2 】

RS[0][k]	:	1	2	4	3	6	7	5	0
RS[1][k]	:	0	3	5	2	7	6	4	1
RS[2][k]	:	3	0	6	1	4	5	7	2
RS[3][k]	:	5	6	0	7	2	3	1	4
RS[4][k]	:	2	1	7	0	5	4	6	3
RS[5][k]	:	7	4	2	5	0	1	3	6
RS[6][k]	:	4	7	1	6	3	2	0	5
RS[7][k]	:	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1

10

【 0 0 6 9 】

次に、本発明のウェーブレットパケットを用いた送信信号の形成について説明する。

20

【 0 0 7 0 】

式(4)で与えられるwavelet packets  $W_{s,f}(t)$  において、スケールパラメータ  $s$  と周波数パラメータ  $f$  は2分木の深さと位置にそれぞれ対応し、全部で  $N = 2^s$  個のwavelet packets が生成される。そこで、互いに直交する  $N$  個のwavelet packets をグループ内の各ユーザに割り当てる。

【 0 0 7 1 】

ここで、全ての  $M$  個のグループが異なる直交系列を持つものとする。このとき、全部で  $NM$  個の直交信号が生成され、各ユーザの送信信号は以下の式で与えられる。

【 0 0 7 2 】

$$s_{q,l}(t) = \sum_{i=0}^{N-1} h_{q,i} W_{s,f(i,i)}(t - iT_c) \quad \dots (11)$$

30

【 0 0 7 3 】

ここで、 $q = 0, 1, \dots, M-1$  はグループ番号、 $l = 0, 1, \dots, N-1$  は  $q$  番目のグループのユーザ番号であり、 $h_{q,i}$  はWH系列の符号語である。また、 $W_{s,n} = f_{(l,i)}(t)$  は深さ  $s$  の2分木における  $(s, n)$  番目のwavelet packet 波形であり、 $l$  番目の拡張RS系列の  $i$  番目の符号語によって  $n$  は決定される。また、 $T_c$  はwavelet packet 波形の時間長である。

【 0 0 7 4 】

つまり、ユーザの送信信号は、拡張RS系列の符号語に従って並べたウェーブレットパケット波形  $WPs$  の列を、WH系列の符号語に従って直接拡散することで生成される。なお、ここでは、拡散系列として直列系列の例を示しているが、非直列系列を用いても良い。また、直列系列はWH系列に限らず他の直列系列を用いても良い。

40

【 0 0 7 5 】

図3、図4は、深さ  $s = 5$  の場合のDaubechies mother wavelet db3 に基づくwavelet packet 波形群の時間波形と、電力スペクトル密度をそれぞれ示している。

【 0 0 7 6 】

なお、ここでは、ウェーブレットパケット波形としてDaubechies waveletの例を用いているが、CoiletsやSymlets等の他のウェーブレットパケット波形を用いることができる。

50

特に、CoiletsやSymletsのウェーブレットパケット波形は、直交性やコンパクトサポートを有しているため、Daubechies waveletと同様に用いることができる。

【0077】

FCCが規定するスペクトルマスクを考慮し、このスペクトルマスクにマッチするように波形を選択する。また、スペクトルマスク内にマッチする波形の中で、さらに狭帯域干渉の存在する帯域以外の波形のみを選択することによって狭帯域干渉対策が可能となる。

【0078】

図4のウェーブレットパケット波形群の電力スペクトル密度において、狭帯域干渉を考慮して選択したウェーブレットパケット波形の例を表3に示す。なお、表3は、 $f_{l,i}$  と  $RS[l][i]$ との対応を示している。

【0079】

【表3】

f (RS [l][i])	RS [l][i]
5	0
13	1
10	2
9	3
25	4
26	5
28	6
27	7

【0080】

このウェーブレットパケット波形の選択によって、FCCが規定するスペクトルマスクを満たすと共に、狭帯域干渉を抑制することができる送信信号を検出することができる。

【0081】

図5は、グループ $q=0$ 内のユーザ $l=0, 1, \dots, 8$ に割り当てた送信信号群の例を示している。また、図6は送信信号群の電力スペクトル密度を示している。

【0082】

図5において、各送信信号は、5 nsの時間幅を有する8個のウェーブレットパケット波形を時系列状に配列して生成された送信波形列であり、互いに相互直交性を持つウェーブレットパケット波形をRS系列に従って配列することで生成される。

【0083】

図7、8を用いて、送信信号の自己相関性および相互相関性について説明する。

【0084】

図7は、グループ $q=0$ 内の $l=0$ 番目のユーザの信号 $s_{0,0}(t)$ の自己相関関数を示している。図7に示す自己相関関数によれば、時間ずれが零の時にのみ高いピークを持つ。この自己相関特性は、信号の検出や同期やジッタ耐性などの点で有効であることを示している。

【0085】

また、図8は信号 $s_{0,0}(t)$ とそれ以外の全ての信号(全グループの全ユーザ)との相互相関関数を示している。図8に示す相互相関関数によれば、時間ずれの値によらず、相互相関値は低く抑えられている。この相互相関特性は、UWB多元接続時に用いる送信信号として優れていることを示している。

【0086】

これらの特性は、各ウェーブレットパケット波形WPsが直交していることに加え、これらのウェーブレットパケット波形の配列順序が拡張RS系列に従っていることによって一致符号語数が少ないことや、WH系列を用いて直接拡散していることによって得られるものである。

【0087】

10

20

30

40

50

図9は、直接拡散によるグループの生成と、ウェーブレット packets 波形の配列による各ユーザの送信波形列の生成との関係を示している。

【0088】

グループ1～グループMは、WH系列を用いた直接拡散によって直交性を有して生成され、各グループ内において、拡張RS系列を用いたウェーブレット packets 波形の配列によって送信波形列を生成し各ユーザに割り当てる。

【0089】

例えば、グループ1～グループMの各グループ内において、RS-1～RS-Nの系列に従ってWPs<sub>0</sub>～WPs<sub>N</sub>を配列することで送信波形列を生成して各ユーザ1～Nに割り当てる。各グループ内では、各ウェーブレット packets 波形WPsが直交していることにより自己相関性が抑制され、拡張RS系列による配列順序によってウェーブレット packets 波形の一致符号語数が少ないことによって相互相関性が抑制される。

10

【0090】

また、グループ1～グループMの間は、WH系列を用いて直接拡散することによって相互相関性が抑制される。なお、グループ1～グループMの間は、WH系列のような直列系列の他に、非直列系列を用いて拡散させてもよい。

【0091】

次に、送信機および受信機の構成について説明する。

【0092】

u番目のユーザの送信信号は以下の式で表される。

20

$$s^u(t) = \sum_n a_n^u w^u(t - nT) \quad \dots (12)$$

$$w^u(t) = \sum_{i=0}^{N-1} c_i^u W_{s,f(RS[u][i])}(t - iT_c) \quad \dots (13)$$

【0093】

ここで、 $a_n^u$ はu番目のユーザのn番目のシンボルであり、 $c_i^u$ はu番目のユーザのi番目の直交符号要素であり、 $W_{s,f}(t)$ は深さs、位置fのウェーブレット packets であり、Nは送信システムのプロセスゲインである。

30

【0094】

一方、受信信号 $r^u(t)$ は以下の式で表される。

$$r^u(t) = s^u(t) * h^u(t) + \nu(t) \quad \dots (14)$$

【0095】

ここで、 $g^u(t)$ を以下の式(15)としたとき、 $r^u(t)$ は式(16)で表される。

$$g^u(t) = \sum_{i=0}^{N-1} c_i^u W_{s,f(RS[u][i])}(t - iT_c) * h^u(t) \quad \dots (15)$$

40

$$r^u(t) = \sum_n a_n^u g^u(t - nT) + \nu(t) \quad \dots (16)$$

$g^u(t)$ は通信経路の遅延とゲインNに依存する。

【0096】

受信機は、受信端のフィルタ部を有し、受信信号を $W = Q / T_c$ (Q:2)のレートでサンプリングする。 $g^u(t)$ のサンプルは以下の式(17)で表されるベクトル $g^u$ から

50

選択される。

【0097】

$$\mathbf{g}^u = [g^u[0], g^u[1], \dots, g^u[N_g - 1]]^T \quad \dots (17)$$

【0098】

各シンボル時間として  $t = kTs$  としたとき、上記式(16)は以下の式(18)、(19)で表される。なお、式(19)では、 $T = NT_c = NQT_s$  としている。

【0099】

$$r^u[k] = \sum_n a_n^u g^u[k - nT] + \nu[k] \quad \dots (18)$$

10

$$r^u[k] = \sum_n a_n^u g^u[k - nNQ] + \nu[k] \quad \dots (19)$$

【0100】

各シンボル時間では  $r^u[k]$  は  $nNQ + N_g$  続くので、 $N_s$  個のサンプルをとると、式(18)は以下のマトリックス  $G$  で表される。

20

【0101】

$$\mathbf{r}^u = \mathbf{G}^u \mathbf{a}^u + \nu \quad \dots (20)$$

$$\mathbf{r}^u = [r^u[0], r^u[1], \dots, r^u[(N_s - 1)NQ + N_g]]^T \quad \dots (21)$$

$$\mathbf{a}^u = [a_0^u, a_1^u, \dots, a_{N_s - 1}^u]^T \quad \dots (22)$$

30

【0102】

マトリックス  $G^u$  は、 $(N_s - 1)NQ + N_g \times N_s$  の大きさを持ち、図10で表すことができる。

【0103】

ユーザの受信信号  $y$  は、以下の式(23) ~ (26)で表される。

$$\mathbf{y} = \sum_{u=0}^{U-1} \mathbf{r}^u = \sum_{u=0}^{U-1} \mathbf{G}^u \mathbf{a}^u + \nu \quad \dots (23)$$

40

又は

$$\mathbf{y} = \mathbf{G} \mathbf{a} + \nu \quad \dots (24)$$

ここで、

$$\mathbf{G} = [\mathbf{G}^0, \dots, \mathbf{G}^{U-1}] \quad \dots (25)$$

$$\mathbf{a} = [(\mathbf{a}^0)^T, \dots, (\mathbf{a}^{U-1})^T]^T \quad \dots (26)$$

50

## 【 0 1 0 4 】

受信信号は、Gに対応するマッチドフィルタによって検出およびデコードを行うことができる。このフィルタは、ウェーブレットパケット、WH拡散系列、拡張RS系列による特性波形や通信経路のインパルス応答の情報を有している。

## 【 0 1 0 5 】

マッチドフィルタの出力は、以下の式で表すことができる。

$$z = \Re[G^H y] = Ra + \eta \quad \dots (27)$$

ここで、ユーザ $u=0, 1, \dots, U-1$ に対して

$$R = \Re[G^H G] \quad \dots (28)$$

$$\eta = \Re[G^H \nu] \sim \mathcal{N}_C(\mathbf{0}, \frac{\sigma^2}{2} R) \quad \dots (29)$$

$$z = [(z^0)^T, (z^1)^T, \dots, (z^{U-1})^T]^T \quad \dots (30)$$

$$z^u = [z^u[0], \dots, z^u[N_s - 1]]^T \quad \dots (31)$$

10

20

## 【 0 1 0 6 】

$u$  番目の  $n$  番目のシンボルに対応する出力は以下の式 (32) で表される、

$$z^u[n] = z[uN + n] = \sum_{k=0}^{UN-1} R[uN + n, k] a[k] + \eta[uN + n] \quad \dots (32)$$

## 【 0 1 0 7 】

なお、マトリックス  $R$  は、以下の式 (33) で表される  $N_s \times N_s$  のサイズのエルミート行列である。

$$R_{u,v} = \Re[(G^u)^H G^v] \quad \dots (33)$$

30

## 【 0 1 0 8 】

なお、 $R_{u,v}$  はユーザ  $u$  とユーザ  $v$  の間の相関を表し、以下の式 (34) で表される。

$$R_{u,v}[i, j] = \sum_{k=0}^{N_g-1} \Re[g^u[k]^* g^v[k + (j - i)NQ]] \quad \dots (34)$$

40

## 【 0 1 0 9 】

これにより、式 (37) の出力  $Z$  は以下の式 (35)、(36) で表される。

$$z^u[n] = \sum_{v=0}^{U-1} \sum_{m=-D}^D R_{u,v}[n, n+m] a^v[n+m] + \eta[n] \quad \dots (35)$$

$$z^u[n] = \underbrace{|g^u|^2 a^u[n]}_{\text{MRC}} + \underbrace{\sum_{\substack{m=-D \\ m \neq 0}}^D R_{u,v}[n, n+m] a^u[n+m]}_{\text{ISI}} \\ + \underbrace{\sum_{\substack{v=0 \\ v \neq u}}^{U-1} \sum_{m=-D}^D R_{u,v}[n, n+m] a^v[n+m]}_{\text{MAI}} + \eta[n] \quad \dots (36)$$

10

## 【0110】

次に、本発明の送信機及び受信機の構成例について説明する。図11は、本発明の送信機の構成を説明するためのブロック図である。このブロック図はu番目のユーザの送信機の構成例を示している。

20

## 【0111】

u番目のユーザの送信機は、送信波形列生成手段1によって、拡張RS系列(RS[u][0] ~ RS[u][n-1])で生成される符号 $f_0^u \sim f_n^u$ によってウェーブレットパケット $W_{s,f}$ を割り当て、これらを順に時間 $T_c$ だけ遅延させると共に、送信信号形成手段2によって直交系列 $[C_0^u, C_1^u, \dots, C_{N-1}^u]$ に基づいて例えば位相を切り換えることで拡散した後、これらを加算することで送信波形列を生成する。

## 【0112】

生成した送信波形列に、送信信号aのシンボル $a_0^u$ を割り当てることにより送信信号が形成される。

30

## 【0113】

図12は、本発明の受信機の構成を説明するためのブロック図である。このブロック図はユーザ0 ~ ユーザ $N-1$ について受信する送信機の構成例を示している。通信経路を通じて受信した信号 $y(t)$ は、Gに対応するマッチドフィルタにより相関をとった後、実部から $z[n]$ を取得し、この信号からしきい値によってノイズ分を除去して信号のシンボル $a_n$ を取り出す。このノイズ分の除去処理は、式(41)中のISI分、MAI分の除去に相当する。

## 【0114】

図13は、図11で示した送信機の構成例において、信号の処理状態を説明するために図である。ここでは、予め送信信号の形成に用いる要素波形として、それぞれ互いに直交するウェーブレットパケット波形 $W_{s,f_0} \sim W_{s,f_7}$ を用意しておく。なお、8個のウェーブレットパケット波形を用いて送信波形列を生成する例を示しているが、ウェーブレットパケット波形の個数は8個に限られるものではない。

40

## 【0115】

複数のウェーブレットパケット波形を拡張RS系列の符号順に従って配列する。拡張RS系列の符号が例えば、[12436750]である場合には、この符号順に合わせてウェーブレットパケット波形を対応付けて配列する。例えば、ウェーブレットパケット波形 $W_{s,f_0} \sim W_{s,f_7}$ を、拡張RS系列の符号0 ~ 7にそれぞれ対応付けした場合には、拡張RS系列の符号順[12436750]に従ってウェーブレットパケット波形 $W_{s,f_0} \sim W_{s,f_7}$

50

$f_7$  を選び出し、それぞれ  $T_c$  の時間分だけずらしながら時系列に配列し、これによって送信波形列を生成する。

【 0 1 1 6 】

このとき、グループ間の多元性を高めるために拡散系列で拡散する。このとき、拡散系列として直交系列を用い、直交系列から選択した系列に従って拡散を行うることによって、グループ間の直交性を得ることができる。

【 0 1 1 7 】

図 1 3 では、 $8 \times 8$  HM 系列中の [ 1 1 1 1 1 1 1 1 ] の系列を用いた例であるため、選択及び遅延された各ウェーブレットパケット波形  $W_{s, f_0} \sim W_{s, f_7}$  を加算することによって送信波形列を生成することができる。

10

【 0 1 1 8 】

$8 \times 8$  HM 系列中の [ 1 - 1 1 - 1 1 - 1 1 - 1 ] の系列を用いた場合には、例えば、選択及び遅延された各ウェーブレットパケット波形  $W_{s, f_0} \sim W_{s, f_7}$  の内、“ - 1 ” に相当するウェーブレットパケット波形の位相を反転させ、これらを加算することによって送信波形列を生成することができる。

【 0 1 1 9 】

この生成された送信波形列に対して、送信しようとする信号データの各シンボルを対応付ける。これによって送信信号が形成される。

【 0 1 2 0 】

次に、本発明による送信信号形成の性能評価について示す。ここでは、UWB 多元接続システムにおいて、本発明によって形成した送信信号群を用いたときの性能を計算機シミュレーションによって評価する。ここでのシミュレーションでは、簡単のため以下の仮定 ( 1 ) ~ ( 4 ) の元で評価する。

20

【 0 1 2 1 】

仮定 1 : 多元接続システムについて、ユーザ間は非同期として、各ユーザにランダムなチップ遅延を与える。

【 0 1 2 2 】

仮定 2 : 通信路はブロックフェーディング通信路を想定し、10 シンボル分の時間は通信路の変動がないとする。

【 0 1 2 3 】

仮定 3 : 受信機では、希望信号との同期が完全にとれていると仮定し、通信路の推定が完璧に行われているものとする。

30

【 0 1 2 4 】

仮定 4 : 理想的なマッチドフィルタを想定し、全てのパスを Rake 受信し、最大比合成する。

【 0 1 2 5 】

また、シミュレーションの諸元を表 4 に示す。



【表 4】

通信路	CM2 (IEEE802.15.4a, NLOSモデル)
使用帯域	3~10GHz (FCC indoor spectacle mask)
サブリンク時間	0.03nsec
ユーザ数Nu	1, 4, 8, 16, 32
送信信号数NM	64
WPs-UWB波形数N	8 (W5, (5, 13, 10, 9, 5, 26, 28, 27))
拡張系列長	WPs-UWB:8, DS-UWB:63
信号時間長Ts	WPs-UWB:40nsec, DS-UWB:126nsec
WPs-UWB用系列	WH系列、拡張RS系列
DS-UWB用系列	Gold系列

10

## 【0126】

ここで、本発明のウェーブレットパケット波形WPsによって構成される送信信号を用いる方式をWPs-UWBで表記している。

20

## 【0127】

比較対象の従来方式として、変調ガウシアンパルスを用いたDS-UWB方式を用い、拡散系列にはGold系列を用いる。また、通信路モデルは、IEEE802.15.4aの標準化に用いられているモデルを用いる。

## 【0128】

図14はWPs-UWB方式と従来のDS-UWB方式のビット誤り率(BER)特性を示し、図15はと本発明WPs-UWB方式と従来のDS-UWB方式のスループット特性Tを示している。

## 【0129】

なお、スループット特性Tは、以下の式(37)で表される。

$$T = (1 - BER) \times R \times Nu \quad \dots (37)$$

30

ここで、 $R = 1 / T_c$ はユーザのデータレートである。

## 【0130】

図14に示すビット誤り率(BER)特性の結果から、BER特性においては、ユーザ数が少ない場合には本発明のWPs-UWB方式による送信信号形成が優れ、ユーザ数が多い場合には従来のDS-UWB方式が優れる傾向があるが、その差は僅かである。

## 【0131】

また、図15に示すスループット特性では、本発明のWPs-UWB方式による送信信号形成が従来のDS-UWB方式を大きく上回っていることが確認される。

## 【0132】

これは送信信号数を揃えているため、従来のDS-UWB方式では系列数をたくさん用意するために系列長を長くしなければならず、伝送速度が本発明のWPs-UWB方式と比べ遅くなるためである。

40

## 【0133】

また複雑度の点においても、本発明のWPs-UWB方式による送信信号形成は、系列長および系列数が少なくてもよいため、従来よりも簡易な構成によって実現することができる。

## 【0134】

したがって、本発明は、非常に多数の信号群が簡易な構成で生成可能であり、自己相関特性や相互相関特性が優れている。

## 【0135】

また、本発明は、上記した態様の他に、ウェーブレットパケット波形と直交系列との組

50

み合わせる別の態様によって送信信号を形成することができる。

【0136】

この態様は、前記した態様と同様に、互いに直交する複数のウェーブレットパケット波形をから、2つのウェーブレットパケット波形の組みを選択し、この選択した2つのウェーブレットパケット波形を直交系列の各系列に基づいて配列することで送信波形列を生成する。

【0137】

図16、図17は本発明による送信波形列生成する他の態様を説明するための図である。図16では、互いに直交する8個のウェーブレットパケット波形を用意し、この8個の中から2個のウェーブレットパケット波形を選択し、選択した2個のウェーブレットパケット波形を直交系列の各系列の符号に合わせて、所定時間で遅延させながら配置することで送信波形列を生成する。

【0138】

この構成によれば、8個のウェーブレットパケット波形から2個のウェーブレットパケット波形を選択して形成される組みの個数は ${}_8C_2 (= 28)$ 個となるため、直交系列として $8 \times 8$ の系列を用いた場合には、全体として $28 \times 8 = 224$ 個の送信波形列を生成することができる。

【0139】

図17において、ウェーブレットパケット波形としてN個の $WP_{s1} \sim WP_{sN}$ を用意し、直交系列として $M \times M$ の系列を用意した場合には、N個のウェーブレットパケット波形から2個のウェーブレットパケット波形を選択して形成される組みの個数は ${}_NC_2$ 個となるため、全体として ${}_NC_2 \times M$ 個の送信波形列を生成することができる。

【産業上の利用可能性】

【0140】

本発明は、多数信号群を生成する際の優れた簡易構成性や、優れた自己相関特性や相互相関特性によって、UWB-Wireless Personal Area Network (WPAN) やアドホックセンサーネットワークに適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0141】

【図1】本発明の送信信号形成の概略を説明するための図である。

【図2】本発明のウェーブレットパケット波形に基づく直交波形群と直交系列との組み合わせを説明するための概略図である。

【図3】深さ $s = 5$ の場合のDaubechies mother wavelet db3に基づくwavelet packet波形群の時間波形を示す図である。

【図4】深さ $s = 5$ の場合のDaubechies mother wavelet db3に基づくwavelet packet波形群の電力スペクトル密度時間波形を示す図である。

【図5】グループ内の各ユーザに割り当てた送信信号群の例を説明するための図である。

【図6】送信信号群の電力スペクトル密度を示す図である。

【図7】送信信号の自己相関性を説明するための図である。

【図8】送信信号の相互相関性を説明するための図である。

【図9】直接拡散によるグループの生成と、ウェーブレットパケット波形の配列による各ユーザの送信波形列の生成との関係を示す図である。

【図10】マトリックス $G_u$ を説明するための図である。

【図11】本発明の送信機の構成を説明するためのブロック図である。

【図12】本発明の受信機の構成を説明するためのブロック図である。

【図13】送信機の構成例における信号の処理状態を説明するために図である。

【図14】 $WP_s$ -UWB方式と従来のDS-UWB方式のビット誤り率 (BER) 特性を示す図である。

【図15】本発明 $WP_s$ -UWB方式と従来のDS-UWB方式のスルーput特性 $T$ を示す図である。

。

10

20

30

40

50

【図16】本発明による送信波形列生成する他の態様を説明するための図である。

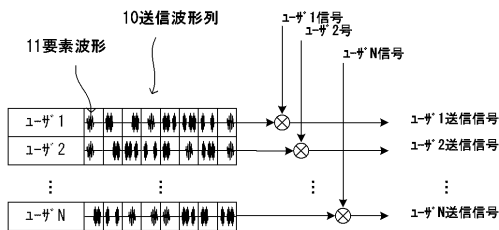
【図17】本発明による送信波形列生成する他の態様を説明するための図である。

【符号の説明】

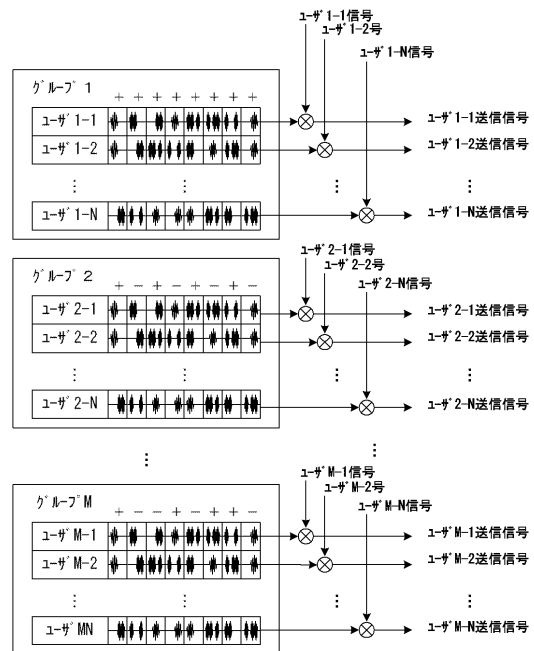
【0142】

1 ... 送信波形列生成手段、 2 ... 送信信号形成手段、 10 ... 送信波形列、 11 ... 要素波形

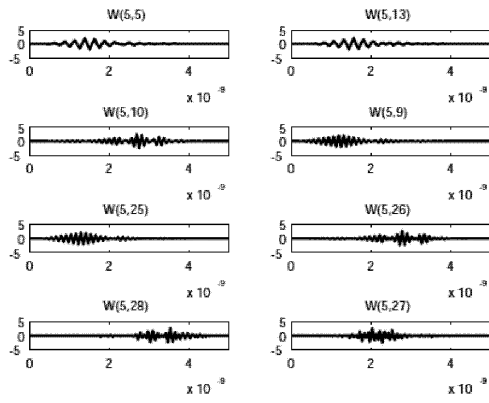
【図1】



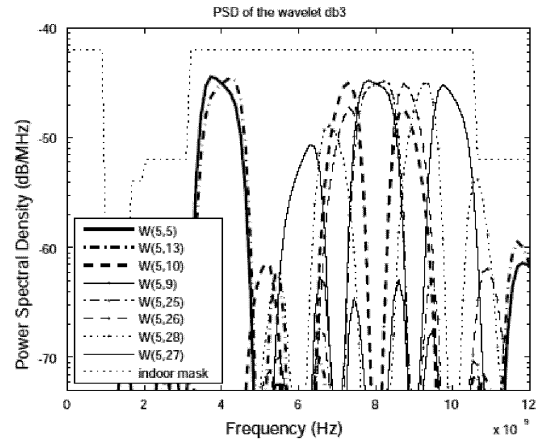
【図2】



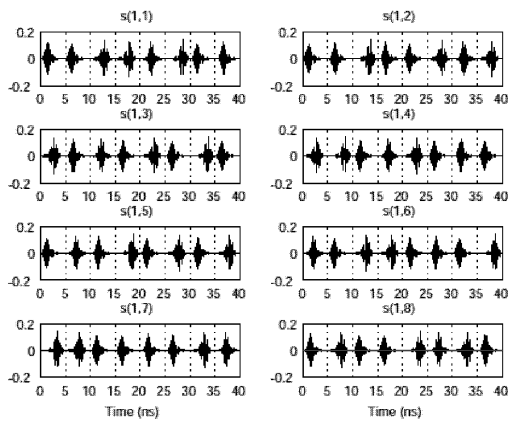
【 図 3 】



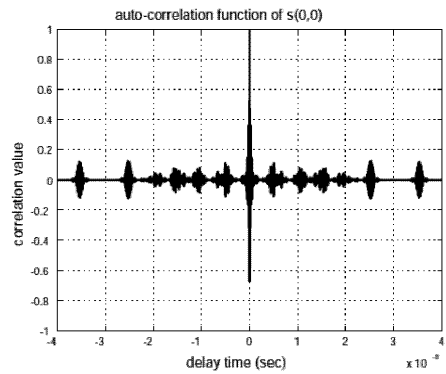
【 図 4 】



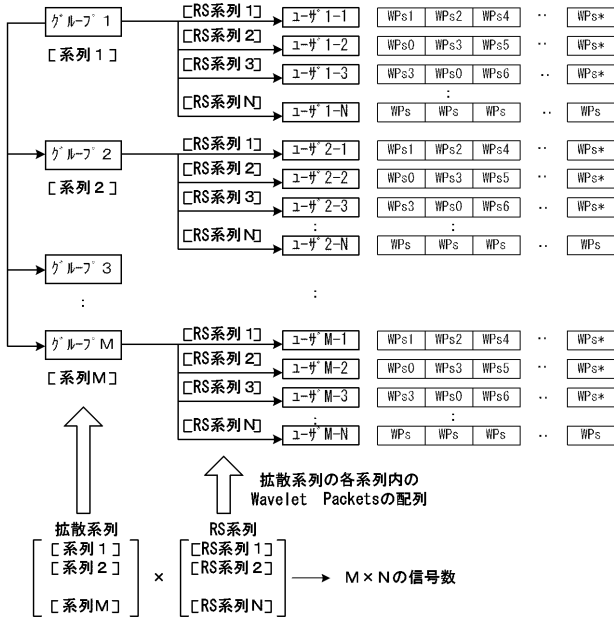
【 図 5 】



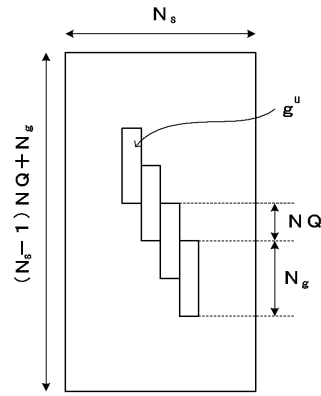
【 図 7 】



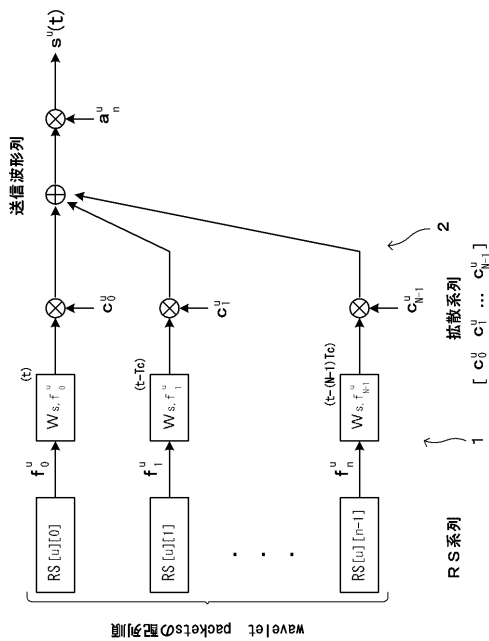
【 図 9 】



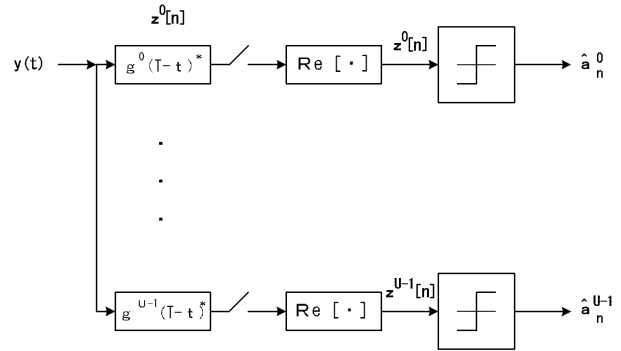
【 図 10 】



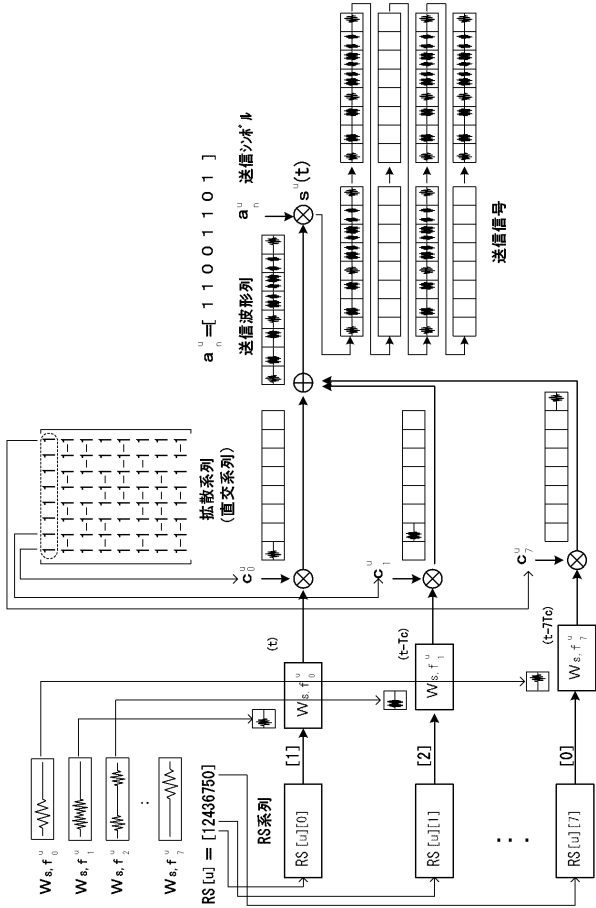
【 図 11 】



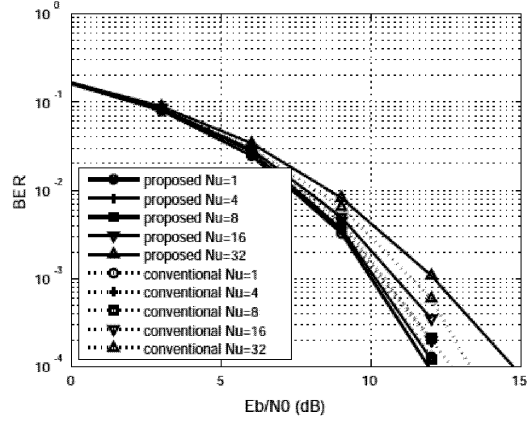
【 図 12 】



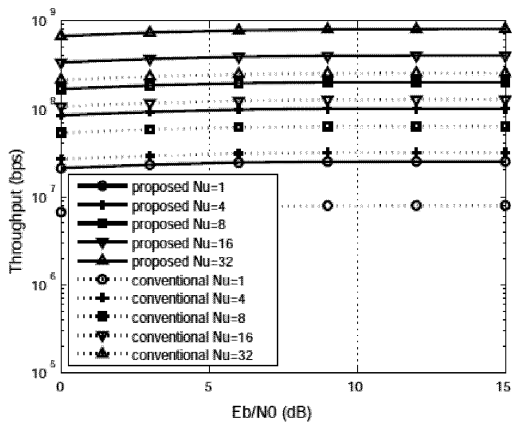
【 図 1 3 】



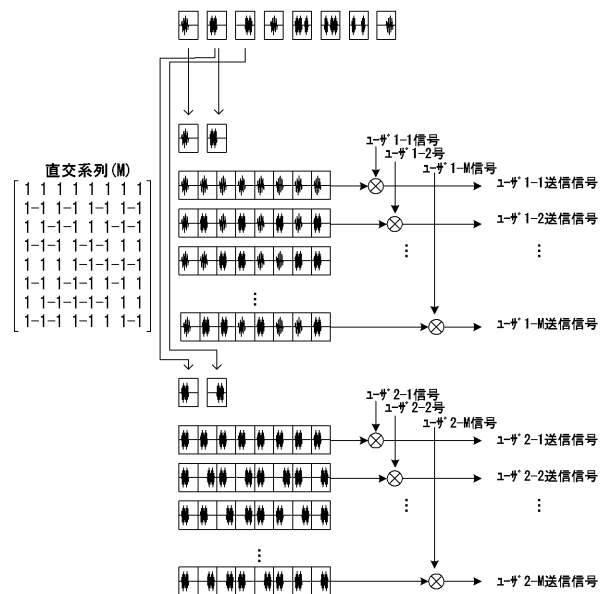
【 図 1 4 】



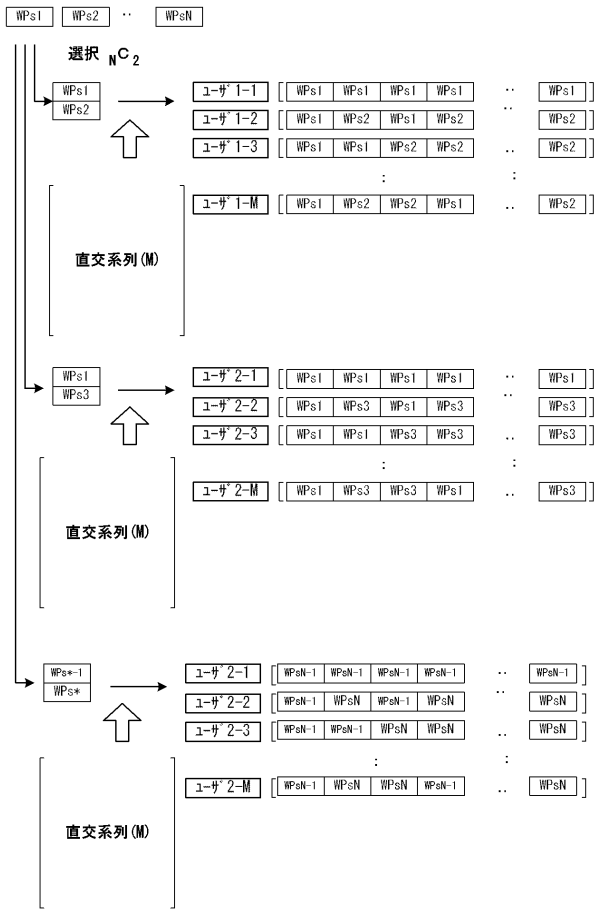
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

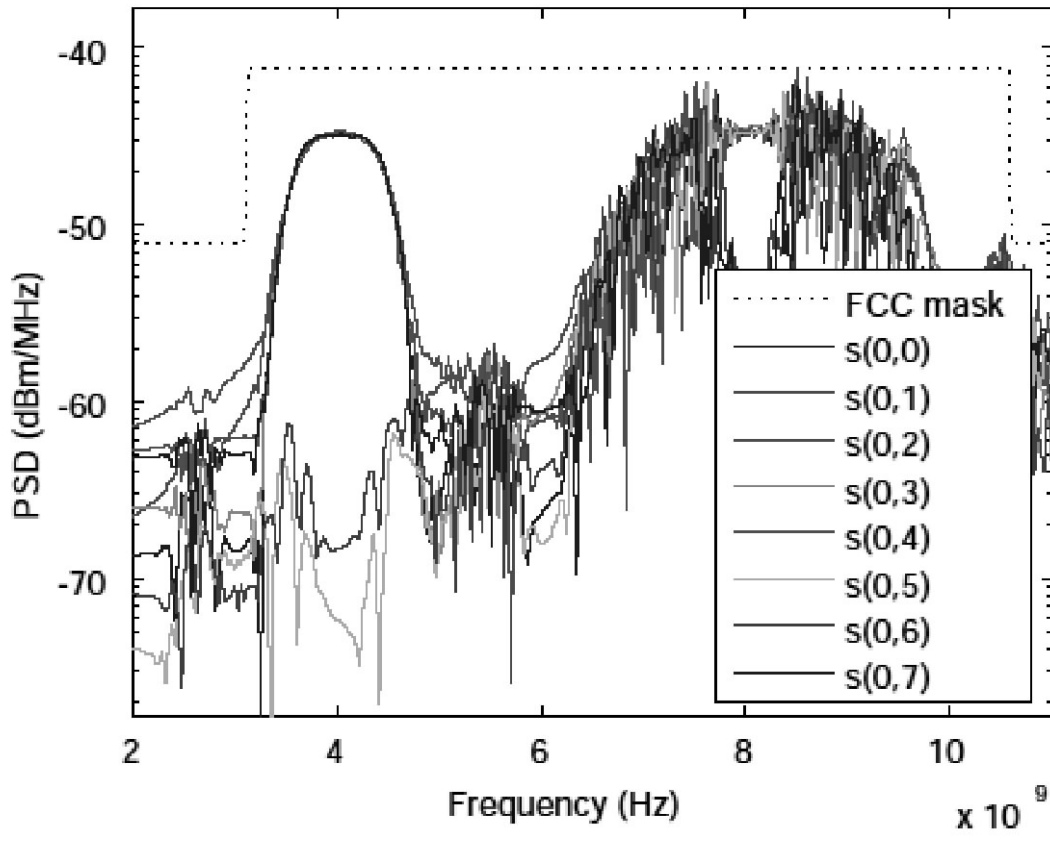


【 図 1 7 】



【 図 6 】

Power spectral density characteristics of orthogonal signals





【 図 8 】

