

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2010-504702
(P2010-504702A)

(43) 公表日 平成22年2月12日(2010.2.12)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4J 11/00 (2006.01)	HO4J 11/00 Z	5K022
HO4J 1/00 (2006.01)	HO4J 1/00	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2009-529359 (P2009-529359)
 (86) (22) 出願日 平成19年9月19日 (2007. 9. 19)
 (85) 翻訳文提出日 平成21年3月18日 (2009. 3. 18)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2007/078875
 (87) 国際公開番号 W02008/036727
 (87) 国際公開日 平成20年3月27日 (2008. 3. 27)
 (31) 優先権主張番号 60/826, 158
 (32) 優先日 平成18年9月19日 (2006. 9. 19)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 60/875, 270
 (32) 優先日 平成18年12月15日 (2006. 12. 15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

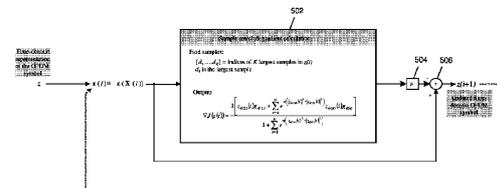
(71) 出願人 500587067
 アギア システムズ インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国, 18109 ペンシルヴァニア, アレンタウン, アメリカン パークウェイ エヌイー 1110
 (74) 代理人 100064447
 弁理士 岡部 正夫
 (74) 代理人 100085176
 弁理士 加藤 伸晃
 (74) 代理人 100094112
 弁理士 岡部 譲
 (74) 代理人 100096943
 弁理士 臼井 伸一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 勾配降下アプローチを使用したマルチ・キャリア変調信号に関するピーク対平均電力比低減シンボルの計算

(57) 【要約】

一実施形態では、本発明は、直交周波数分割多重 (OFDM) シンボル等のマルチ・キャリア変調シンボルのピーク対平均電力比 (PAPR) を低減する方法である。まず、前記方法は、データ・シンボル・セットをマルチ・キャリア変調シンボルに変換する。次に、前記方法は、前記マルチ・キャリア変調シンボルと、勾配降下アルゴリズムとを使用して、PAPR低減トーンに関するシンボル・セットを生成する。次に、前記データ・シンボル及び前記PAPR低減シンボルを変換することにより、更新済みマルチ・キャリア変調シンボルが生成される。前記PAPR低減シンボルは、終了条件が発生するまで (例えば、前記マルチ・キャリア変調シンボルについて許容可能なPAPRが達成されるまで) 繰返し更新される。別の実施形態では、前記方法は、前記第1のステップで生成された前記マルチ・キャリア変調シンボルと、勾配降下アルゴリズムとを使用して、更新済みマルチ・キャリア変調シンボルを直接生成し、それにより、後続の繰返して前記データ・シンボル及び前記PAPR低減シンボルを変換する必要が解消される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

送信機のマルチ・キャリア変調信号のピーク対平均電力比（PAPR）を低減するコンピュータ実装方法であって、

（a）（i）1つ又は複数のデータ・シンボルに対応する1つ又は複数のデータ変調トーンと、（ii）1つ又は複数の初期PAPR低減シンボルに対応する1つ又は複数の初期PAPR低減トーンとを有する初期マルチ・キャリア変調信号を生成するステップと、

（b）前記初期マルチ・キャリア変調信号に勾配降下アルゴリズムを適用して、（i）前記1つ又は複数のデータ・シンボルに対応する前記1つ又は複数のデータ変調トーンと、（ii）1つ又は複数の最終PAPR低減シンボルに対応する1つ又は複数の最終PAPR低減トーンとを有する最終マルチ・キャリア変調信号を生成するステップとを含み、前記最終マルチ・キャリア変調信号の前記PAPRは、前記初期マルチ・キャリア変調信号の前記PAPRよりも低い、

方法。

【請求項 2】

前記マルチ・キャリア変調信号、前記初期マルチ・キャリア変調信号、及び前記最終マルチ・キャリア変調信号は、直交周波数分割多重（OFDM）信号である、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 3】

前記1つ又は複数の初期PAPR低減シンボルはそれぞれゼロである、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 4】

前記勾配降下アルゴリズムは、

（b1）前記初期マルチ・キャリア変調信号内の1つ又は複数の最大サンプルを判定するステップと、

（b2）前記1つ又は複数の最大サンプルを、前記マルチ・キャリア変調信号の振幅に基づくコスト関数の勾配に適用するステップと、

（b3）前記コスト関数の前記勾配に基づいて前記マルチ・キャリア変調信号を更新するステップと

を含む、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 5】

前記ステップ（b1）乃至（b3）は、指定の終了条件が発生するまで1回又は複数回繰り返される、請求項 4 に記載の発明。

【請求項 6】

前記指定の終了条件は、更新された前記マルチ・キャリア変調信号の前記PAPRが指定のPAPR閾値レベル未満となったときに発生する、請求項 5 に記載の発明。

【請求項 7】

前記コスト関数 J は、マルチ・キャリア変調信号 z のピーク電力を近似し、

【数 1】

$$J = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n|^2) \right);$$

によって与えられ、

α は、スカラ定数であり、

z_n は、前記マルチ・キャリア変調信号 z の n 番目の要素であり、

N は、前記マルチ・キャリア変調信号 z 内のサンプル数である、

請求項 4 に記載の発明。

【請求項 8】

前記勾配降下アルゴリズムは、

$$X(i+1) = X(i) - \mu \quad J(X(i)),$$

10

20

30

40

50

i は、前記勾配降下アルゴリズムの繰返し回数であり、
 $X(i+1)$ は、1つ又は複数の更新済み P A P R 低減シンボルであり、
 $X(i)$ は、以前の繰返し中に生成された1つ又は複数の P A P R 低減シンボルであり

μ は、ステップ・サイズであり、

$J(X(i))$ は、コスト関数であり、

$\nabla J(X(i))$ は、前記コスト関数 $J(X)$ の勾配である、

請求項 7 に記載の発明。

【請求項 9】

前記コスト関数 $J(X(i))$ の前記勾配 $\nabla J(X(i))$ は、

10

【数 2】

$$\nabla J(X) = \frac{2 \left[z_{d(1)} f_{d(1)}^\dagger + \sum_{n=2}^K e^{\alpha(|z_{d(n)}|^2 - |z_{d(1)}|^2)} z_{d(n)} f_{d(n)}^\dagger \right]}{1 + \sum_{n=2}^K e^{\alpha(|z_{d(n)}|^2 - |z_{d(1)}|^2)}};$$

であり、

$|z_n(X(i))|$ は、前記マルチ・キャリア変調信号 $z(X(i))$ の前記 n 番目の要素の絶対値であり、

20

$d(1)$ は、 $|z_n(X(i))|$ の最大サンプルであり、

$d(n)$ は、 $|z_n(X(i))|$ の n 番目に大きいサンプルであり、

K は、 N 未満又は N と等しい整数であり、

Q は、逆高速フーリエ変換 (IFFT) における $N \times N$ の行列であり、 N は、前記 IFFT の列と行の両方の長さであり、

Q^\wedge は、 Q における $N \times M$ の部分行列であり、

M は、前記1つ又は複数の P A P R 低減トーンの数であり、

$f_n = [f_{n,1}, f_{n,2}, \dots, f_{n,M}]$ は、前記行列 Q^\wedge の n 番目の行であり、

\dagger は、エルミート転置行列を示す、

30

請求項 8 に記載の発明。

【請求項 10】

K は、それ自体の大きさが指定の閾値を上回る、前記マルチ・キャリア変調信号内のサンプル数に対応する、請求項 9 に記載の発明。

【請求項 11】

前記勾配降下アルゴリズムは、

$z(i+1) = z(i) - \mu \nabla J(z(i))$ 、

i は、前記勾配降下アルゴリズムの繰返し回数であり、

$z(i)$ は、 i 番目の繰返し中のマルチ・キャリア変調信号であり、

$z(i+1)$ は、 $i+1$ 番目の繰返しにおける更新済みマルチ・キャリア変調信号であり、

40

μ は、ステップ・サイズであり、

$J(z(i))$ は、コスト関数であり、

$\nabla J(z(i))$ は、前記コスト関数の勾配である、

請求項 7 に記載の発明。

【請求項 12】

前記コスト関数の前記勾配は、

【数 3】

$$\nabla J(z(i)) = \frac{2 \left[z_{d(1)} g_{d(1)} + \sum_{n=2}^K e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)} z_{d(n)}(i) g_{d(n)} \right]}{1 + \sum_{n=2}^K e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)}}$$

であり、

$|z_n(X(i))|$ は、前記マルチ・キャリア変調信号 $z(X(i))$ の n 番目の要素の絶対値であり、

$d(1)$ は、 $|z_n(X(i))|$ の最大サンプルであり、

$d(n)$ は、 $|z_n(X(i))|$ の n 番目に大きいサンプルであり、

K は、 N 未満又は N と等しい整数であり、

Q は、逆高速フーリエ変換 (IFFT) の $N \times N$ の行列であり、 N は、前記 IFFT の列と行の両方の長さであり、

Q^{\wedge} は、 Q における $N \times M$ の部分行列であり、

M は、前記 1 つ又は複数の PAPR 低減トーンの数であり、

$G = [g_1, \dots, g_N] = Q^{\wedge} Q^{\wedge \dagger}$ 、

\dagger は、エルミート転置行列を示す、

請求項 11 に記載の発明。

【請求項 13】

K は、それ自体の大きさが指定の閾値を上回る、前記マルチ・キャリア変調信号内のサンプル数に対応する、請求項 12 に記載の発明。

【請求項 14】

前記 1 つ又は複数の PAPR 低減トーンはそれぞれ、前記送信機によって事前に予約されず、それ自体にどのようなデータも与えられていない空きトーン、又は前記送信機によって PAPR 低減用に事前に予約される予約トーンである、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 15】

送信機のマルチ・キャリア変調信号のピーク対平均電力比 (PAPR) を低減する装置であって、

(i) 1 つ又は複数のデータ・シンボルに対応する 1 つ又は複数のデータ変調トーンと、(ii) 1 つ又は複数の初期 PAPR 低減シンボルに対応する 1 つ又は複数の初期 PAPR 低減トーンとを有する初期マルチ・キャリア変調信号を生成するように適合された IFFT プロセッサと、

前記初期マルチ・キャリア変調信号に勾配降下アルゴリズムを適用して、(i) 前記 1 つ又は複数のデータ・シンボルに対応する前記 1 つ又は複数のデータ変調トーンと、(ii) 1 つ又は複数の最終 PAPR 低減シンボルに対応する 1 つ又は複数の最終 PAPR 低減トーンとを有する最終マルチ・キャリア変調信号を生成するように適合された PAPR 低減シンボル・ジェネレータとを備え、前記最終マルチ・キャリア変調信号の前記 PAPR は、前記初期マルチ・キャリア変調信号の前記 PAPR よりも低い、装置。

【請求項 16】

前記マルチ・キャリア変調信号、前記初期マルチ・キャリア変調信号、及び前記最終マルチ・キャリア変調信号は、直交周波数分割多重 (OFDM) 信号である、請求項 15 に記載の発明。

【請求項 17】

前記 PAPR 低減シンボル・ジェネレータは、前記勾配降下アルゴリズムを実行して、

(b1) 前記初期マルチ・キャリア変調信号内の 1 つ又は複数の最大サンプルを判定し、

(b2) 前記 1 つ又は複数の最大サンプルを前記マルチ・キャリア変調信号の振幅に基

10

20

30

40

50

づくコスト関数の勾配に適用し、

(b3) 前記コスト関数の前記勾配に基づいて前記マルチ・キャリア変調信号を更新する

ように適合される、請求項15に記載の発明。

【請求項18】

前記コスト関数 J は、マルチ・キャリア変調信号 z のピーク電力を近似し、

【数4】

$$J = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n|^2) \right);$$

10

によって与えられ、

α は、スカラ定数であり、

z_n は、前記マルチ・キャリア変調信号 z の n 番目の要素であり、

N は、前記マルチ・キャリア変調信号 z 内のサンプル数である、

請求項17に記載の発明。

【請求項19】

前記勾配降下アルゴリズムは、

$$X(i+1) = X(i) - \mu J(X(i)),$$

i は、前記勾配降下アルゴリズムの繰返し回数であり、

$X(i+1)$ は、1つ又は複数の更新済み P A P R 低減シンボルであり、

$X(i)$ は、以前の繰返し中に生成された1つ又は複数の P A P R 低減シンボルであり

20

μ は、ステップ・サイズであり、

$J(X(i))$ は、コスト関数であり、

$J(X(i))$ は、前記コスト関数 $J(X)$ の勾配である、

請求項18に記載の発明。

【請求項20】

前記勾配降下アルゴリズムは、

$$z(i+1) = z(i) - \mu J(z(i)),$$

i は、前記勾配降下アルゴリズムの繰返し回数であり、

$z(i)$ は、 i 番目の繰返し中のマルチ・キャリア変調信号であり、

$z(i+1)$ は、 $i+1$ 番目の繰返しにおける更新済みマルチ・キャリア変調信号であり、

30

μ は、ステップ・サイズであり、

$J(z(i))$ は、コスト関数であり、

$J(z(i))$ は、前記コスト関数の勾配である、

請求項18に記載の発明。

【請求項21】

送信機のマルチ・キャリア変調信号のピーク対平均電力比 (P A P R) を低減する装置であって、

40

(a) (i) 1つ又は複数のデータ・シンボルに対応する1つ又は複数のデータ変調トーンと、($i i$) 1つ又は複数の初期 P A P R 低減シンボルに対応する1つ又は複数の初期 P A P R 低減トーンとを有する初期マルチ・キャリア変調信号を生成する手段と、

(b) 前記初期マルチ・キャリア変調信号に勾配降下アルゴリズムを適用して、(i) 前記1つ又は複数のデータ・シンボルに対応する前記1つ又は複数のデータ変調トーンと、($i i$) 1つ又は複数の最終 P A P R 低減シンボルに対応する1つ又は複数の最終 P A P R 低減トーンとを有する最終マルチ・キャリア変調信号を生成する手段とを備え、前記最終マルチ・キャリア変調信号の前記 P A P R は、前記初期マルチ・キャリア変調信号の前記 P A P R よりも低い、

装置。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の相互参照)本願は、参照によりそれらの教示内容が本明細書に組み込まれる、2006年12月15日に出願された米国仮出願第60/875,270号(整理番号:Woodward 8)、及び2006年9月19日に出願された米国仮出願第60/826,158号(整理番号:Baliga 1 1 4 5)の出願日の利益を主張する。

【0002】

本願の主題は、参照によりその教示内容が本明細書に組み込まれる、本願と同日に出願された米国特許出願第xx/xxx,xxx号(整理番号:Woodward 8)に関連する。

10

【0003】

本発明は、信号処理に関し、より詳細には、信号の送受信に使用される直交周波数分割多重(OFDM)等のマルチ・キャリア変調技法に関する。

【背景技術】

【0004】

直交周波数分割多重(OFDM)等のマルチ・キャリア変調技法は、ローカル・エリア・ネットワーク、固定及びモバイル・メトロポリタン・エリア・ネットワーク、セルラー電話システムのような有線及び無線通信システムで使用されている。一般に、マルチ・キャリア変調シンボルは、周波数スペクトルをより小さい周波数サブキャリア(「トーン」としても知られる)に分割し、それらのサブキャリアを1つ又は複数のデータ信号部分で変調することによって生成される。1つ又は複数のデータ信号は、1つ又は複数のソース(例えば、ユーザ)から取得することができ、各マルチ・キャリア変調シンボルは、2つ以上のソースに由来するデータを送信することができる。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

図1は、従来技術のOFDM送信機100の一実装形態を示す簡略ブロック図である。送信機100は、アップストリーム処理からシリアル・ビットストリームのデジタル・データを受信するデータ・シンボル・マップ102を有する。シリアル・ビットストリームは複数のビット群に分割され、各グループは1つ又は複数のデータ・シンボルにマッピングされ、それによってシリアル・ストリームのデータ・シンボルが生成される。マッピングは、直交位相偏移変調(QPSK)や直交振幅変調(QAM)のような1つ又は複数の適切な技法を使用して実行され得る。

30

【0006】

シリアル/パラレル(S/P)・コンバータ104は、データ・シンボル・マップ102から受信されるシリアル・ストリームのデータ・シンボルをD個のパラレル・ストリームのデータ・シンボルに変換する。サブキャリア・マップ106は、それらのD個のパラレル・データ・シンボル・ストリームを、互いに直交するように配列されるN個のサブキャリア周波数(即ちトーン)に割り当てる。特に、各パラレル・データ・シンボル・ストリームはそれぞれ、N個のサブキャリアのうち1つに個別に対応するサブキャリア・マップ106の個々の出力に別々に割り当てられる。なお、論述を分かりやすくするために、本実装形態ではデータ・シンボル・ストリーム数Dがサブキャリア数Nと等しいものと仮定する。他の実装形態によれば、U個の未使用(即ち空き)サブキャリアが存在し得る場合、N個のサブキャリアにD個のデータ・シンボル及びP個のパイロット・シンボルを割り当てることができる(よって、 $N = D + P + U$)。次に、サブキャリア・マップ106のN個の出力(例えば、 $Z = Z_1, \dots, Z_N$)が逆高速フーリエ変換(IFFT)プロセッサ108に供給される。IFFTプロセッサ108は、各出力がD個のデータ・シンボルのうちの1つに個別に対応する、サブキャリア・マップ106からのN個の出力

40

50

の各セットを、N個の時間領域複素数（例えば、 $z = z_1, \dots, z_N$ ）を含む1つのOFDMシンボルに変換する。

【0007】

次に、各OFDMシンボルの送信準備が行われる。まず、サイクリック・プレフィックス・インサータ（CPI）110によって、各OFDMシンボルにC個の複素数を含むサイクリック・プレフィックスが挿入される。このプレフィックスを用いると、受信機がマルチ・パス反射に起因する信号エコーに対処することが可能となる。次に、N個の時間領域複素数の各セットと、対応するC個のサイクリック・プレフィックス複素数の各セットとが、パラレル/シリアル（P/S）コンバータ112によってパラレル形式からシリアル形式に変換される。P/Sコンバータ112の出力は、デジタル/アナログ変換、無線周波数変調、増幅、あるいはOFDMシンボルの送信準備に適した他の処理を使用してさらに処理することができる。

10

【0008】

IFFT処理中は、データ・シンボルを追加して対応するサブキャリアが変調され、変調されたサブキャリアは、多くの場合構成的に（constructively）互いに足し合わされ、その結果、いくつかの高い振幅ピーク及び低い振幅ピークを伴うOFDMシンボルが作成される。送信データは様々な性質を有する故に、各ピークの高さは、典型的にはOFDMシンボル毎に異なり、ばらつきが生じる。さらに、それらのピークのいくつかは、OFDMシンボルの平均的な振幅レベルと比較して相対的に大きくなる可能性があり、その結果、ピーク対平均電力比（PAPR）も相対的に大きくなる可能性がある。OFDMシンボルのPAPRは、次式（1）のように表すことができる。

20

【数1】

$$PAPR = \frac{\max_{n=1}^N (|z_n|^2)}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |z_n|^2} \quad (1)$$

上式（1）で、 z_n は、OFDMシンボル z の n 番目のサンプルであり、分子のmax関数は、 $n = 1, \dots, N$ の場合の $|z_n|^2$ の最大値を判定する。

【0009】

比較的大きいPAPRを有するOFDMシンボルは、電力増幅中に歪みを生じる可能性がある。OFDMシンボルの相対的に大きい1つ又は複数のサンプルは、増幅器の出力をその最大出力レベルに駆動するように試みることができる。最大出力レベルに達する前に、増幅器の入力/出力関係が非線形的となる可能性があり、その結果、OFDMシンボルの非線形歪みがもたらされる可能性がある。増幅器は、それ自体の最大出力レベルに達したときにサンプルをクリップ（clip）するため、出力信号の歪みの非線形性が高まることになる。非線形歪みは信号品質に影響を及ぼすため、受信機による送信データの復元が困難になる恐れがある。

30

【0010】

増幅器による非線形歪みの影響を低減するために、又は非線形歪みを完全に解消するために、いくつかの異なる方法が採用されている。かかる1つの方法では、送信機は、より高い電力レベルを出力することが可能なより大型の増幅器を利用する。より大型の増幅器は、典型的にはピーク信号イベント中にもそれ自体が線形動作領域内に留まることを保証するために、バックオフを大きくとって作動される（即ち、より低い平均電力で作動することができる）。しかしながら、より大型の増幅器をこのような形で使用することは、非効率的である。

40

【0011】

かかる別の方法では、送信機は、増幅を複数段階で実行して所望の出力レベルを達成する。この方法では、各段階は、増幅ステップと、フィルタリング・ステップとを含む。増幅ステップでは、各OFDMシンボルのより大きいサンプルが相対的に小さくクリップさ

50

れる。フィルタリング・ステップでは、各OFDMシンボルが平滑化 (smooth out) され、先行する増幅ステップで発生した歪みの量が低減される。この逐次的なクリッピング及びフィルタリング・プロセスは、所望の増幅レベルが達成されるまで繰り返される。このような形で信号を増幅することにより、他の等価な1段増幅器よりも歪みの量を低減することができる。

【0012】

かかる他の方法では、周波数領域 (例えば、出力サブキャリア・マップ106) においてOFDM信号に多数の擬似ランダム・スクランブル・シーケンスが追加され、IFFT処理後にPAPRが最も低くなるスクランブル・シーケンスが選択される。選択されたスクランブル・シーケンスは受信機によって認識されないため、別のチャンネル上で受信機に送信されることも、受信機によって「盲目的に (blindly)」検出されることもある。後者の場合では、受信機はすべての可能なシーケンスを検査し、最も可能性の高いシーケンスを選出する。

10

【0013】

トーン・リザベーション (tone reservation: TR) 方法として知られる他の方法は、OFDMシンボル毎のPAPRを低減するように試みる。かかる方法では、OFDMシンボルのPAPRを低減する明確な目的を有する非データ・シンボルを送信するための、いくつかの周波数サブキャリア (即ちトーン) が予約 (reserve) される。

【0014】

図2は、TRアプローチを使用してPAPRを低減する従来技術の送信機200の一実施形態を示す簡略ブロック図である。送信機200は、データ・シンボル・マップ202と、S/Pコンバータ204とを有し、これらの要素は、送信機100の等価な要素と類似の演算を実行してD個の平行・データ・シンボルの各セットを生成する。サブキャリア・マップ206は、M個のサブキャリアにデータ・シンボルが割り当てられないように、それぞれD個のデータ・シンボル・セットをN個のサブキャリア・セットに割り当てる。M個のサブキャリアは、PAPR低減シンボル (PAPR reduction symbol) の送信用に事前に (a priori) 予約される。いくつかの実施形態では、M個の予約サブキャリアと、U個の未使用 (即ち空き) サブキャリアとが存在する場合、N個のサブキャリアの各セットにD個のデータ・シンボル及びP個のパイロット・シンボルを割り当てることができる (よって、 $N = D + M + U + P$) ことに留意されたい。サブキャリア・マップ206からのN個の出力 (例えば、 $Z = Z_1, \dots, Z_N$) の各セットは、IFFTプロセッサ208に供給され、IFFTプロセッサ208は、IFFTプロセッサ108と類似の演算を実行して各セットをN個の時間領域複素数 (例えば、 $z = z_1, \dots, z_N$) を含むOFDMシンボルzに変換する。

20

30

【0015】

PAPR低減シンボル・ジェネレータ210は、各OFDMシンボルzを受け取り、各シンボルのPAPRを、当該OFDMシンボルの許容可能なPAPR低減レベルを表す指定のPAPR閾値と比較する。OFDMシンボルzのPAPRがPAPR閾値未満である場合には、当該OFDMシンボルzは、OFDMシンボル z^{\wedge} として (即ち、 $z = z^{\wedge}$) PAPR低減シンボル・ジェネレータ210から出力される。OFDMシンボルのPAPRがPAPR閾値を超えている場合には、PAPR低減シンボル・ジェネレータ210は、(後で詳述する) いくつかのアプローチのうちの任意の1つを使用してM個のPAPR低減シンボル・セットを生成し、当該セットをサブキャリア・マップ206に供給する。他の実装形態では、PAPR低減シンボル・ジェネレータ210は常に、各OFDMシンボル毎にM個のPAPR低減シンボル・セットを生成することができることに留意されたい。かかる実装形態では、OFDMシンボルzのPAPRと指定のPAPR閾値との比較を省略することができる。

40

【0016】

サブキャリア・マップ206は、M個のPAPR低減シンボル・セットをM個のPAP

50

R低減サブキャリア(PAPR reduction subcarrier)に割り当て、M個のPAPR低減シンボル及びD個のデータ・シンボルを含むN個の複素数(例えば、 $Z = Z_1, \dots, Z_N$)を出力する。次に、それらのN個の複素数がIFFTプロセッサ208によって変換され、それにより、OFDMシンボルzのPAPR低減バージョンが生成され、PAPR低減シンボル・ジェネレータ210に供給される。このプロセスは、PAPRが低減されたOFDMシンボルzのPAPRがPAPR閾値未満になるまで繰り返され、この条件が満たされると、PAPRが低減されたOFDMシンボルzは、OFDMシンボル z^{\wedge} として(即ち、 $z = z^{\wedge}$)PAPR低減シンボル・ジェネレータ210から出力される。次に、送信機100の等価な要素と類似の演算、及びOFDMシンボルの送信準備に適した他の任意の処理を実行するサイクリック・プレフィックス・インサータ212及びP/Sコンバータ214を使用して、各OFDMシンボル z^{\wedge} の送信準備が行われる。

10

【0017】

PAPR低減シンボルを予約トーン(reserved tone)に割り当てることにより、個々のデータ・シンボルに影響を及ぼすことなく時間領域OFDMシンボルのピーク値を減少させることができる。OFDM送信機の設計者は、予約トーンに割り当てるべきPAPR低減シンボルを高い自由度をもって選択し、また、PAPRを十分に低減するシンボルを選択する様々な方法が利用されている。かかるPAPR低減シンボルを選択する1つのアプローチは、反復組合せ探索(iterative combinatorial search)を実行するものである。組合せアプローチの一例として、送信機は、16値直交振幅変調(16 QAM)を使用してデータを変調し、PAPR低減シンボル用に8つのトーンを予約するものとする。この送信機は、各OFDMシンボルの予約トーンに配置すべきPAPR低減シンボルの 16^8 通りの組合せを検討し、最も低いPAPRが生成されるシンボルの組合せを選択する。

20

【課題を解決するための手段】

【0018】

一実施形態では、本発明は、送信機のマルチ・キャリア変調信号のピーク対平均電力比(PAPR)を低減するコンピュータ実装方法である。前記方法は、(i)1つ又は複数のデータ・シンボルに対応する1つ又は複数のデータ変調トーン(data modulated tone)と、(ii)1つ又は複数の初期PAPR低減シンボルに対応する1つ又は複数の初期PAPR低減トーンとを有する初期(initial)マルチ・キャリア変調信号を生成する。次に、前記方法は、前記初期マルチ・キャリア変調信号に勾配降下アルゴリズムを適用して、(i)前記1つ又は複数のデータ・シンボルに対応する前記1つ又は複数のデータ変調トーンと、(ii)1つ又は複数の最終PAPR低減シンボルに対応する1つ又は複数の最終PAPR低減トーンとを有する最終(final)マルチ・キャリア変調信号を生成する。ここで、前記最終マルチ・キャリア変調信号の前記PAPRは、前記初期マルチ・キャリア変調信号の前記PAPRよりも低くなる。

30

【0019】

別の実施形態では、本発明は、上述の方法を実行する装置である。前記装置は、逆高速フーリエ変換(IFFT)プロセッサと、PAPR低減シンボル・ジェネレータとを備える。前記IFFTプロセッサは、前記初期マルチ・キャリア変調信号を生成するように適合され、前記PAPR低減シンボル・ジェネレータは、前記初期マルチ・キャリア変調信号に前記勾配降下アルゴリズムを適用して前記最終マルチ・キャリア変調信号を生成するように適合される。ここで、前記最終マルチ・キャリア変調信号の前記PAPRは、前記初期マルチ・キャリア変調信号の前記PAPRよりも低くなる。

40

【0020】

また別の実施形態では、本発明は、上述の方法を実行する装置である。前記装置は、前記初期マルチ・キャリア変調信号を生成する手段と、前記初期マルチ・キャリア変調信号に勾配降下アルゴリズムを適用して、前記最終マルチ・キャリア変調信号を生成する手段とを備える。ここで、前記最終マルチ・キャリア変調信号の前記PAPRは、前記初期マ

50

ルチ・キャリア変調信号の前記 P A P R よりも低くなる。

【 0 0 2 1 】

以下の詳細な説明、添付の特許請求の範囲及び図面を読めば、本発明の他の態様、特徴、及び利点のより十分な理解が得られるであろう。各図面において同様の参照符号は同様の要素又は同一の要素を指す。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 2 】

【 図 1 】 従来技術の O F D M 送信機の一実装形態を示す簡略ブロック図である。

【 図 2 】 トーン・リザベーション・アプローチを使用してピーク対平均電力比 (P A P R) を低減する従来技術の O F D M 送信機の一実装形態を示す簡略ブロック図である。

【 図 3 】 勾配降下アルゴリズムを使用して P A P R を低減する、本発明の一実施形態に係る O F D M 送信機の簡略ブロック図である。

【 図 4 】 図 3 の送信機の P A P R 低減シンボル・ジェネレータを実装するのに使用され得る、本発明の一実施形態に係る P A P R 低減シンボル・ジェネレータの簡略ブロック図である。

【 図 5 】 図 3 の送信機の P A P R 低減シンボル・ジェネレータを実装するのに使用され得る、本発明の別の実施形態に係る P A P R 低減シンボル・ジェネレータの簡略ブロック図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 3 】

本明細書では、「一実施形態 (「 one embodiment 」 又は 「 an embodiment 」) 」 という用語への言及は、その実施形態に関して説明される特定の機能、構造、又は特徴が、本発明の少なくとも 1 つの実施形態に含まれ得ることを意味する。「一実施形態では (in one embodiment) 」 という表現が本明細書の様々な箇所で見受けられるが、必ずしもこれらのすべての表現が同一の実施形態に言及しているわけではなく、また、別個の又は代替の実施形態が必ずしも互いに排他的であるわけではない。これと同じことが「実装形態 (implementation) 」 という用語にも当てはまる。

【 0 0 2 4 】

背景技術で説明したように、予約済みの (即ち、 P A P R 低減シンボル送信用に事前に予約される) トーンに配置すべきピーク対平均電力比 (P A P R) 低減シンボルを判定するいくつかの異なる技法が開発されている。これらの方法は、ピーク値 (即ち、式 (1) の分子) を低減し、したがってマルチ・キャリア変調シンボルの全体の P A P R を低減する様々な効果を実現する。組合せ探索を実行する技法のようないくつかの技法は、準最適な (near optimal) P A P R シンボルを選択することができるが、これらの技法では多くの場合、かなり多くの計算が実行されることになる。他の技法では、ヒューリスティック・アプローチを使用して P A P R 低減シンボルが選択されるが、性能レベルが低下する場合が多い。組合せ探索を実行すること又は試行錯誤アプローチを利用することによって P A P R 低減トーンに割り当てるべきシンボルを選択する代わりに、反復勾配降下アルゴリズムを使用して準最適な P A P R 低減シンボルを直接計算することができる。さらに、この反復勾配降下アルゴリズムを使用すると、最大ピークだけを減少させる場合とは対照的に、マルチ・キャリア変調シンボルの 1 つ又は複数のサンプルを低減する P A P R 低減シンボルを計算することが可能となる。

【 0 0 2 5 】

図 3 は、 P A P R を低減する勾配降下アルゴリズムを使用する、本発明の一実施形態に係る O F D M 送信機 3 0 0 の簡略ブロック図である。送信機 3 0 0 は、データ・シンボル・マップ 3 0 2 と、シリアル / パラレル・コンバータ 3 0 4 と、サブキャリア・マップ 3 0 6 と、 I F F T プロセッサ 3 0 8 とを有し、これらの要素は、図 2 の送信機 2 0 0 の等価な要素と類似の演算を実行してサブキャリア・マップ 3 0 6 の N 個の出力 (例えば、 D 個のデータ・シンボル及び M 個のゼロ値 P A P R 低減シンボルに対応する) の各セット毎

10

20

30

40

50

に初期 OFDM シンボル z を生成する。ここで、各初期 OFDM シンボル z は、 N 個の時間領域複素数（例えば、 $z = z_1, \dots, z_N$ ）を含む。

【0026】

PAPR 低減シンボル・ジェネレータ 310 は、初期 OFDM シンボル z を受け取り、初期 OFDM シンボル z の PAPR を、当該 OFDM シンボルの許容可能な PAPR 低減レベルを表す指定の PAPR 閾値と比較する。初期 OFDM シンボル z の PAPR が PAPR 閾値未満である場合には、当該初期 OFDM シンボル z が、最終 OFDM シンボル z^{\wedge} として（即ち、 $z = z^{\wedge}$ ）PAPR 低減シンボル・ジェネレータ 310 から出力される。初期 OFDM シンボル z の PAPR が PAPR 閾値を超えている場合には、PAPR 低減シンボル・ジェネレータ 310 は、反復勾配降下アルゴリズムを実行して最大 M 個の非ゼロ PAPR 低減シンボル（後で詳述）を有する最終 OFDM シンボル z^{\wedge} を生成する。他の実施形態によれば、PAPR 低減シンボル・ジェネレータ 310 は常に、反復勾配降下アルゴリズムを実行して最終 OFDM シンボル z^{\wedge} を生成することができることに留意されたい。かかる実装形態では、初期 OFDM シンボル z の PAPR と指定の PAPR 閾値との比較を省略することができる。次に、図 2 の送信機 200 の等価な要素と類似の演算を実行するサイクリック・プレフィックス・インサータ 312 及びパラレル/シリアル（P/S）コンバータ 314 を使用して、最終 OFDM シンボル z^{\wedge} の送信準備が行われる。送信機 200 の場合と同様に、最終 OFDM シンボル z^{\wedge} は、デジタル/アナログ変換、無線周波数変調、増幅、あるいは OFDM シンボルの送信準備に適した他の処理を使用してさらに処理することができる。

10

20

【0027】

PAPR 低減シンボル・ジェネレータ 310 によって使用され得る 1 つの勾配降下アルゴリズムは、次式（2）で表される。

$$X(i+1) = X(i) - \mu \cdot J(X(i)) \quad (2)$$

上式（2）によれば、PAPR 低減シンボル・ジェネレータ 310 の各繰返し i の間に、以前の PAPR 低減シンボル・セット $X(i)$ 、ステップ・サイズ μ 、及びコスト関数 $J(X(i))$ の勾配 $J(X(i))$ に基づいて、更新済み PAPR 低減シンボル・セット $X(i+1)$ が計算される。

【0028】

この場合では、勾配降下アルゴリズムは、式（1）の分子（即ち、時間領域 OFDM シンボルの最大サンプルの二乗）を最小にするように試みる。勾配が求められ得るコスト関数 $J(X(i))$ を生成するために、式（1）の分子は、それ自体を近似する関数として次式（3）のように表される。

30

【数 2】

$$J(X(i)) = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n(X(i))|^2) \right) \approx \max_{n=1}^N |z_n(X(i))|^2 \quad (3)$$

上式で、 α は、スカラ定数 1 であり、 $z(X(i))$ は、 i 番目の繰返しにおける時間領域 OFDM シンボルであり、 N は、時間領域 OFDM シンボル $z(X(i))$ におけるサンプル数であり、 $z_n(X(i))$ は、時間領域 OFDM シンボル $z(X(i))$ の n 番目のサンプルである。時間領域 OFDM シンボル $z(X(i))$ は、周波数領域 PAPR 低減シンボル・セット $X(i)$ の関数として次式（4）のように表すことができる。

40

$$z(X(i)) = z + Q^{\wedge} X(i) \quad (4)$$

上式で、 z は、初期 OFDM シンボルであり、 Q^{\wedge} は、PAPR 低減トーンに対応する $N \times N$ の IFFT 行列 Q における $N \times M$ の部分行列であり、 M は、PAPR 低減に使用されるトーン数である。

【0029】

式（3）のコスト関数 $J(X(i))$ における勾配 $J_j(X(i))$ の発見により、次式（5）が与えられる。

50

【数 3】

$$\nabla_j(J(i)) = \frac{\sum_{n=1}^N \exp|\alpha z_n(\mathbf{X}(i))|^2 [2z_n(\mathbf{X}(i))f_{n,j}^*]}{\sum_{n=1}^N \exp|\alpha z_n(\mathbf{X}(i))|^2} \quad (5)$$

上式で、j は、勾配ベクトルの j 番目の要素を指し、 $f_n = [f_{n,1}, f_{n,2}, \dots, f_{n,M}]$ は、前記行列 Q^{\wedge} の n 番目の行である。さらに、 $f_{n,j}^*$ を除くすべての項が j と独立であることに着目し、 $f_{n,j}^*$ を f_n^{\dagger} に置き換えることにより、式(5)の勾配は、次式(6)に示されるようなベクトル形式に書き直すことができる。ここで、 \dagger はエルミート転置行列を示す。

10

【数 4】

$$\nabla J(\mathbf{X}(i)) = \frac{\sum_{n=1}^N \exp|\alpha z_n(\mathbf{X}(i))|^2 [2z_n(\mathbf{X}(i))f_n^{\dagger}]}{\sum_{n=1}^N \exp|\alpha z_n(\mathbf{X}(i))|^2} \quad (6)$$

【0030】

実際の実装形態では、指数項 (exponential) の計算が比較的困難になる可能性があり、そのため、システムの複雑性が高まる可能性がある。この複雑性を低減するために、式(6)は、その指数から分子と分母の共通項として最大サンプル (即ち、 $z_{d(1)}$) を取り除くことにより、次式(7)のように修正することができる。

20

【数 5】

$$\nabla J(\mathbf{X}(i)) = \frac{2 \left[z_{d(1)}(i) f_{d(1)}^{\dagger} + \sum_{n=2}^N e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)} z_{d(n)}(i) f_{d(n)}^{\dagger} \right]}{1 + \sum_{n=2}^N e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)}} \quad (7)$$

上式で、 $d(1)$ は、 $|z_n|$ の最大値であり、 $d(n)$ は、 $|z_n|$ の n 番目に大きい値である。その結果、分子と分母の両方の指数 ($|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2$) は、負の値をとる。したがって、分子及び分母の指数項

30

【数 6】

$$e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)}$$

は、 $[0, 1]$ の区間内となり、そのため比較的小さいルック・アップ・テーブル (LUT) に格納することができる。

【0031】

図 4 は、図 3 の送信機 300 の PAPR 低減シンボル・ジェネレータ 310 を実装するのに使用され得る、本発明の一実施形態に係る PAPR 低減シンボル・ジェネレータ 400 の簡略ブロック図である。PAPR 低減シンボル・ジェネレータ 400 は、加算器 402 と、乗算器 404 とを有し、これらの要素は共に式(4)を実行し、それによって各繰返し i 毎に更新済み時間領域 OFDM シンボル $z(\mathbf{X}(i))$ が生成される。PAPR 低減シンボル・ジェネレータ 400 は、送信機 300 の IFFT プロセッサ 308 から初期 OFDM シンボル z を受け取り、1 回目の繰返し i において、M 個の周波数領域 PAPR 低減シンボル・セット (即ち、 $X(i) = X_1(i), \dots, X_M(i)$) 内の各シンボルをゼロに初期化することができる。諸代替実施形態によれば、当該セット内の各 PAPR 低減シンボルを他の何らかの値に初期化することもできる。初期化された PAPR 低減シンボル・セット $X(i)$ は、乗算器 404 に供給され、そこで $N \times M$ の部分行列 Q^{\wedge} が乗じられることにより、PAPR 低減トーンの時間領域表現が生成される。次に、時間

40

50

領域 P A P R 低減トーン及び初期 O F D M シンボル z が共に加算器 4 0 2 に追加されて、更新済み時間領域 O F D M シンボル $z (X (i))$ が生成される。時間領域 P A P R 低減トーンを初期 O F D M シンボル z に追加することにより、D 個のデータ・シンボル・セットが 1 度だけ I F F T 変換されることに留意されたい。

【 0 0 3 2 】

勾配計算器 4 0 6 は、更新済み O F D M シンボル $z (X (i))$ を受け取り、最大サンプル $z_{d (1)}$ を探索し、当該サンプル $z_{d (1)}$ を使用して更新済み O F D M シンボル $z (X (i))$ の P A P R を計算する。更新済み O F D M シンボル $z (X (i))$ の P A P R は、指定の P A P R 閾値と比較され、更新済み O F D M シンボル $z (X (i))$ の P A P R が P A P R 閾値未満である場合には、当該更新済み O F D M シンボル $z (X (i))$ が、最終 O F D M シンボル $z ^ \wedge$ として（即ち、 $z (X (i)) = z ^ \wedge$ ）P A P R 低減シンボル・ジェネレータ 4 0 0 から出力される。更新済み O F D M シンボル $z (X (i))$ の P A P R が P A P R 閾値を超えている場合には、勾配計算器 4 0 6、乗算器 4 0 8、及び加算器 4 1 0 が共に式（ 2 ）の更新を実行する。まず、勾配計算器 4 0 6 は、式（ 7 ）と、式（ 7 ）の分子及び分母の指数項

【 数 7 】

$$e^{a(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)}$$

の各値が格納された L U T とを使用して、勾配 $J (X (i))$ を生成する。これを実行する際に、勾配計算器 4 0 6 は、式（ 7 ）に示されるような分子と分母の両方における和から最大サンプル $z_{d (1)}$ を減算する。乗算器 4 0 8 は、勾配 $J (X (i))$ にステップ・サイズ μ を乗じ、加算器 4 1 0 は、以前の P A P R 低減シンボル・セット $X (i)$ からその積を減算し、それによって更新済み P A P R 低減シンボル・セット $X (i + 1)$ が生成される。他の実施形態によれば、勾配計算器 4 0 6、乗算器 4 0 8、及び加算器 4 1 0 は常に、式（ 2 ）の更新を実行して更新済み P A P R 低減シンボル・セット $X (i + 1)$ を生成することができることに留意されたい。かかる実施形態では、更新済み O F D M シンボル $z (X (i))$ の P A P R と指定の P A P R 閾値との比較を省略することができる。

【 0 0 3 3 】

次に、更新済み P A P R 低減シンボル・セット $X (i + 1)$ は、乗算器 4 0 4 に供給され、指定の終了条件が発生するまで上記のプロセスを繰り返すことができる。例えば、上記の更新ループは、許容可能な P A P R が達成された後、指定された回数の更新が実行された後、あるいは別の適切な終了条件が発生した後に終了することができる。終了条件が発生すると、現在の更新済み O F D M シンボル $z (X (i))$ が、最終 O F D M シンボル $z ^ \wedge$ として（即ち、 $z (X (i)) = z ^ \wedge$ ）P A P R 低減シンボル・ジェネレータ 4 0 0 から出力され、当該最終 O F D M シンボル $z ^ \wedge$ が、図 3 のサイクリック・プレフィックス・インサータ 3 1 2 に供給される。

【 0 0 3 4 】

本発明の様々な実施形態によれば、式（ 7 ）の分子及び分母における加算回数を少なくすることにより、勾配計算器 4 0 6 によって実行される勾配計算の複雑性を低減することができる。具体的には、N 個のすべての時間領域サンプルを使用して分子及び分母を計算する代わりに、勾配計算器 4 0 6 は、N 未満の数である K 個のサンプルを探索することができ、それらの K 個のサンプルを使用して式（ 7 ）の加算を実行することができる。ここで、使用されるサンプルは、K 個の最大サンプル（即ち、 d_1, \dots, d_K ）とすることができる。サンプルの大きさは繰返し毎に変化する可能性があるため、K 個のサンプルが更新アルゴリズムで使用される場所も繰返し毎に変化する可能性がある。また、上記の加算で使用される K 個のサンプルは、P A P R の低減と、計算の複雑性の低減とのバランス要因（balancing factor）等に基づいて選択することができる。

【 0 0 3 5 】

一実施形態では、勾配計算器406は、各繰返し毎に最大サンプルを探索し、該当する繰返しにおける最大サンプルに基づいて、更新済みPAPR低減シンボル・セットX(i+1)を生成することができる。本実施形態では、式(2)の更新が簡略化され、次式(8)のように書き直すことができる。

$$X(i+1) = X(i) - 2\mu z(i) p(i) f^{\dagger} p(i) \quad (8)$$

上式で、p(i)は、i番目の繰返しにおける最大サンプルz_nの添え字である。本実施形態では、PAPR低減シンボルが更新されるときに、1つ又は複数の他のサンプルの大きさが相対的に大きくなるように、最大サンプルz(i) p(i)の大きさを減少させることができることに留意されたい。さらに、最大サンプルz(i) p(i)の大きさを減少させるときに、1つ又は複数の他のサンプルの大きさを増加させ、それによってPAPRが許容可能なレベルを超えるように増加させることもできる。その結果、複数のサンプルを使用する一実施形態と比較して、許容可能なPAPRを達成する上でより多くの繰返しを実行する必要が生じる可能性がある。

【0036】

K個の最大サンプルの探索は、例えばN個のすべてのサンプルをソートすることによって判定され得るため、計算コストが高くなる可能性がある。本発明の諸代替実施形態では、勾配計算器406が閾値に基づいてサンプルを選択することが想定され得る。かかる実施形態では、勾配計算器406は、それ自体の大きさが閾値を上回るサンプルの数に基づいて、式(7)で使用されるK個のサンプルを選択することができる。それ自体の大きさが閾値を上回るサンプルの数は繰返し毎に変化する可能性があるため、式(7)で使用するために選択されるK個のサンプルも繰返し毎に変化する可能性がある。

【0037】

図4の実施形態によれば、更新済みPAPR低減シンボル・セットX(i+1)が生成された後は、許容可能なPAPRが達成されるかどうかを判定するために、当該セットは時間領域に変換され、初期時間領域OFDMシンボルzに追加される。したがって、各繰返し毎にIFFT処理(即ち、乗算器404)を使用して、更新済みPAPR低減シンボル・セットX(i+1)がOFDMシンボルのPAPRに及ぼす影響が判定される。本発明の他の実施形態によれば、勾配降下アルゴリズムは、更新済み時間領域OFDMシンボル全体を時間領域で生成することができ、それによって各繰返し中にIFFT変換を実行する必要を解消することができる。

【0038】

PAPR低減シンボル・ジェネレータ310が更新済みOFDMシンボルz(i+1)全体を時間領域で生成するのに使用することが可能な勾配降下アルゴリズムは、次式(9)で表される。

$$z(i+1) = z(i) - \mu J(z(i)) \quad (9)$$

式(7)の修正により、勾配 J(z(i))を次式(10)のように生成することができる。

【数8】

$$\nabla J(z(i)) = \frac{2 \left[z_{d(1)}(i) g_{d(1)} + \sum_{n=2}^N e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)} z_{d(n)}(i) g_{d(n)} \right]}{1 + \sum_{n=2}^N e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)}} \quad (10)$$

上式で、G = [g_1, . . . , g_N] = Q^H Q^{\dagger}であり、これは事実上、予約トーンに対するf_n^{\dagger}の各ベクトルの離散フーリエ変換(DFT)に相当する。

【0039】

図5は、図3の送信機300のPAPR低減シンボル・ジェネレータ310を実装するのに使用され得る、本発明の別の実施形態に係るPAPR低減シンボル・ジェネレータ500の簡略ブロック図である。勾配計算器502は、初期時間領域OFDMシンボルzを

10

20

30

40

50

受け取り、初期OFDMシンボル z の最大サンプル $z_{d(1)}$ を探索し、識別されたサンプル $z_{d(1)}$ を使用して初期OFDMシンボル z のPAPRを計算する。初期OFDMシンボル z のPAPRは、指定のPAPR閾値と比較され、初期OFDMシンボル z のPAPRがPAPR閾値未満である場合には、当該初期OFDMシンボル z が、最終OFDMシンボル z^{\wedge} として(即ち、 $z = z^{\wedge}$)PAPR低減シンボル・ジェネレータ500から出力される。初期OFDMシンボル z のPAPRがPAPR閾値を超えている場合には、勾配計算器502、乗算器504、及び加算器506が共に式(9)の更新を実行する。具体的には、勾配計算器502は、式(10)を使用して勾配 $J(z(i))$ を計算し、乗算器504は、勾配 $J(z(i))$ に指定のステップ・サイズ μ を乗じ、加算器506は、初期OFDMシンボル z からその積を減算し、それによって式(9)に示されるような更新済みOFDMシンボル $z(i+1)$ が生成される。他の実施形態によれば、勾配計算器502、乗算器504、及び加算器506は常に、式(9)の更新を実行して更新済みOFDMシンボル $z(i+1)$ を生成することができることに留意されたい。かかる実施形態では、初期OFDMシンボル z のPAPRと指定のPAPR閾値との比較を省略することができる。

10

【0040】

更新済みOFDMシンボル $z(i+1)$ は、勾配計算器502の入力にフィードバックされ、このプロセスは、指定の終了条件が発生するまで繰り返される。例えば、上記の更新ループは、許容可能なPAPRが達成された後、指定された回数の更新が実行された後、あるいは別の適切な終了条件が発生した後に終了することができる。終了条件が発生すると、現在のOFDMシンボル $z(i)$ が、最終OFDMシンボル z^{\wedge} として(即ち、 $z(i) = z^{\wedge}$)PAPR低減シンボル・ジェネレータ500から出力され、当該最終OFDMシンボル z^{\wedge} は、図3のサイクリック・プレフィックス・インサータ312に供給される。

20

【0041】

図4のPAPR低減シンボル・ジェネレータ400について先述した代替実施形態の場合と同様に、勾配計算器502が N 未満の数である K 個のサンプルを探索し、それらの K 個のサンプルを使用して式(10)の加算を実行することが可能な、PAPR低減シンボル・ジェネレータ500の代替実施形態も想定され得る。ここで使用されるサンプルは、 K 個の最大サンプル(即ち、 d_1, \dots, d_K)であることが好ましい。最大サンプルを選択する一実施形態によれば、式(9)の勾配計算は、次式(11)を使用してOFDMシンボルが更新されるように簡略化することができる。

30

$$z(i+1) = z(i) - 2\mu z(i) p(i) g_{p(i)} \quad (11)$$

上式で、 $p(i)$ は、 i 番目の繰返しにおける最大サンプル z_n の添え字である。また、上述のPAPR低減シンボル・ジェネレータ400の比較可能な代替実施形態と同様の様式で、閾値に基づいて K 個のサンプルを選択する代替実施形態も想定され得る。

【0042】

本発明の性質を説明するために説明し図示した部分の詳細、材料、及び構成については、添付の特許請求の範囲に示される本発明の範囲から逸脱しない限り、当業者によって様々な変更が施されることが理解されるだろう。例えば、図4のPAPR低減シンボル・ジェネレータ400は、各更新済みPAPR低減シンボル・セット $X(i+1)$ が図3のサブキャリア・マップ306に供給されるように修正することができる。次に、IFFT308は、各繰返し毎に、 M 個のPAPR低減シンボル及び D 個のデータ・シンボルを含むサブキャリア・マップ306からの N 個の出力の各セットをOFDMシンボル z に変換し、当該OFDMシンボル z を勾配計算器406に直接供給することができる。この場合は、乗算器404及び加算器402を省略することができる。別の例としては、勾配計算器406及び502による勾配の計算は、(例えば、式(7)を使用する代わりに、LUTを用いない式(6)を使用して)当業者によって作成され得る式(7)及び(10)の変形例を使用して実行することもできる。

40

【0043】

50

上述の様々な勾配降下アプローチを使用して、空きトーン又は予約トーンあるいはその両方を対象とするPAPR低減信号を生成することができる。また、上述の様々な勾配降下アプローチをPAPR低減技法を動的に選択する方法と併せて使用することにより、本願と同日に出願された米国特許出願第10/x x x, x x x号(整理番号: Woodward 8)で教示されるようなOFDM信号の歪みを低減することができる。

【0044】

添付の特許請求の範囲で使用される「予約トーン」という用語は、PAPR低減用に事前に予約されるトーンを指す。パイロット・トーンを含めた他のすべてのトーンは、予約されない。

【0045】

特許請求の範囲で使用される「勾配降下アルゴリズム」という用語は、マルチ・キャリア変調(例えば、OFDM)信号の振幅の微分可能関数を定義するステップと、その後コスト関数の導関数(例えば、勾配)に基づいて繰返しを実行して最適値を発見するステップとを含む。

【0046】

本発明をOFDM変調技法と共に使用する形で説明したが、本発明はそのように限定されるものではない。本発明は、デジタル加入者線(DSL)技法、符号化OFDM技法、他の任意の適当なマルチ・キャリア変調技法等、他のマルチ・キャリア変調技法にも拡張することができる。

【0047】

本発明は、単一集積回路(ASICやFPGA等)、マルチ・チップ・モジュール、単一カード、又はマルチ・カード回路パックとして可能な実装を含む回路ベース・プロセスとして実装することができる。当業者には明らかなように、回路要素の様々な機能をソフトウェア・プログラムの処理ブロックとして実装することもできる。そのようなソフトウェアは、例えばデジタル信号プロセッサ、マイクロコントローラ、又は汎用コンピュータで利用することができる。

【0048】

本発明は方法の形で実施することも、それらの方法を実行する装置の形で実施することもできる。本発明は、磁気記録媒体、光記録媒体、固体メモリ、フロッピー(登録商標)・ディスク、CD-ROM、ハード・ドライブ、他の任意のマシン読み取り可能な記憶媒体等、有形の媒体に実装され、コンピュータ等のマシンにロードされ当該マシンによって実行されたときに当該マシンが本発明を実施する装置となる、プログラム・コードの形で実施することもできる。本発明は、例えば記憶媒体に記憶されるものであれ、マシンにロードされ且つ/又は当該マシンによって実行されるものであれ、あるいは電気配線や電気ケーブル、光ファイバ、又は電磁放射等、何らかの伝送媒体を介して伝送されるものであれ、コンピュータ等のマシンにロードされ当該マシンによって実行されたときに当該マシンが本発明を実施する装置となる、プログラム・コードの形で実施することもできる。このプログラム・コードの各セグメントは、汎用プロセッサ上に実装されたときに、当該プロセッサと連動して特定の論理回路と類似の動作をする一意のデバイスを提供する。本発明は、媒体を介して電氣的又は光学的に伝送され、磁界変化を介して磁気記録媒体等に記憶され、本発明の方法及び/又は装置を使用して生成されるビットストリーム又は他の信号値シーケンスの形で実施することもできる。

【0049】

添付の特許請求の範囲で使用される図面番号及び/又は図面の参照符号は、各請求項の解釈を容易にするために、各請求項の主題に関する1つ又は複数の可能な実施形態を特定することを意図したものである。このような使用によって各請求項の範囲が必然的に対応する図面に示した実施形態に限定されるものと解釈すべきではない。

【0050】

本明細書に記載される例示的な方法の各ステップは、必ずしも記載の順序で実行する必要はなく、そのような方法の各ステップの順序は、単なる例示として理解すべきことを理

10

20

30

40

50

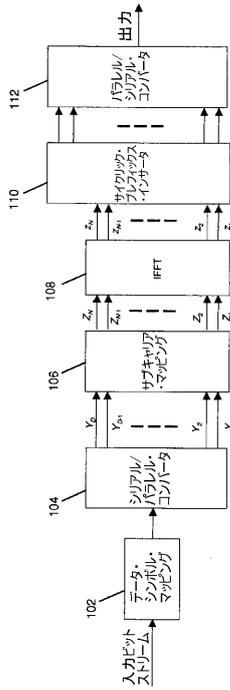
解されたい。同様に、本発明の様々な実施形態と矛盾しない方法では、追加的なステップを含めることができ、また、いくつかのステップを省略することも組み合わせることもできる。

【0051】

添付の特許請求の範囲における方法クレームの各要素は、それらが存在する場合は対応するラベルが付された特定の順序で列挙されているが、クレーム説明においてそれらの要素の一部又は全部を実施する特定の順序について別段の言及がない限り、それらの要素は、必ずしもその特定の順序で実施されるように限定されるものではない。

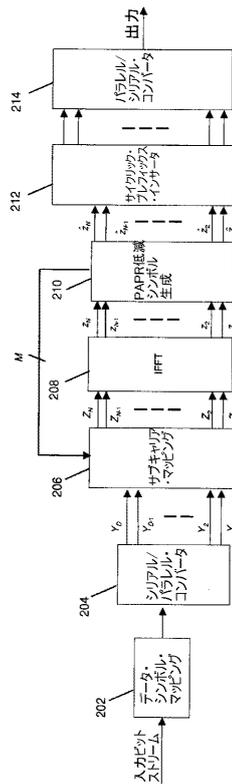
【図1】

100

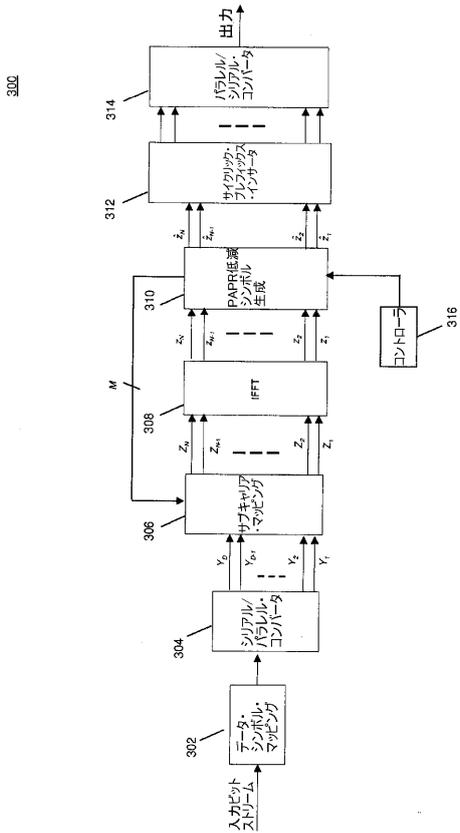


【図2】

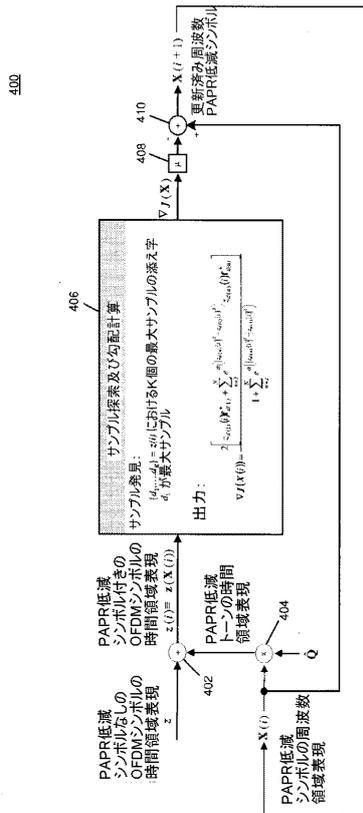
200



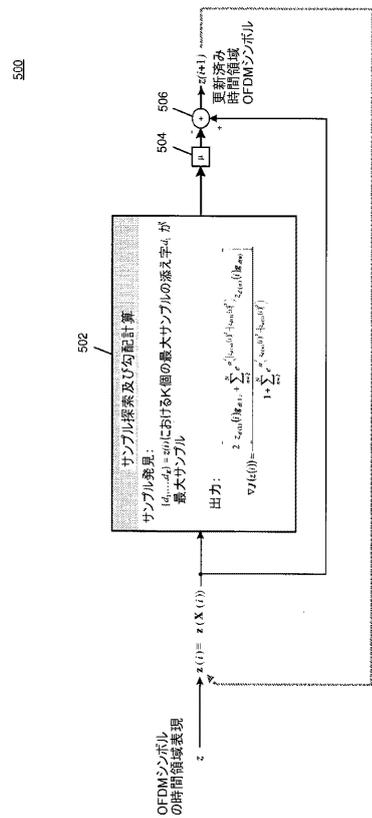
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【手続補正書】

【提出日】平成21年5月21日(2009.5.21)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

送信機のマルチ・キャリア変調信号のピーク対平均電力比(PAPR)を低減するコンピュータ実装方法であって、

(a)(i)1つ又は複数のデータ・シンボルに対応する1つ又は複数のデータ変調トーンと、(ii)1つ又は複数の初期PAPR低減シンボルに対応する1つ又は複数の初期PAPR低減トーンとを有する初期マルチ・キャリア変調信号を生成するステップと、

(b)前記初期マルチ・キャリア変調信号に勾配降下アルゴリズムを適用して、(i)前記1つ又は複数のデータ・シンボルに対応する前記1つ又は複数のデータ変調トーンと、(ii)1つ又は複数の最終PAPR低減シンボルに対応する1つ又は複数の最終PAPR低減トーンとを有する最終マルチ・キャリア変調信号を生成するステップとを含み、前記最終マルチ・キャリア変調信号の前記PAPRは、前記初期マルチ・キャリア変調信号の前記PAPRよりも低い、方法。

【請求項2】

前記マルチ・キャリア変調信号、前記初期マルチ・キャリア変調信号、及び前記最終マルチ・キャリア変調信号は、直交周波数分割多重(OFDM)信号である、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記勾配降下アルゴリズムは、

(b1)前記初期マルチ・キャリア変調信号内の1つ又は複数の最大サンプルを判定するステップと、

(b2)前記1つ又は複数の最大サンプルを、前記マルチ・キャリア変調信号の振幅に基づくコスト関数の勾配に適用するステップと、

(b3)前記コスト関数の前記勾配に基づいて前記マルチ・キャリア変調信号を更新するステップとを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記ステップ(b1)乃至(b3)は、指定の終了条件が発生するまで1回又は複数回繰り返される、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

前記コスト関数Jは、マルチ・キャリア変調信号zのピーク電力を近似し、

【数1】

$$J = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n|^2) \right);$$

によって与えられ、

は、スカラ定数であり、

z_n は、前記マルチ・キャリア変調信号zのn番目の要素であり、

Nは、前記マルチ・キャリア変調信号z内のサンプル数である、

請求項3に記載の方法。

【請求項6】

前記勾配降下アルゴリズムは、

$X(i+1) = X(i) - \mu \nabla J(X(i))$ 、
 i は、前記勾配降下アルゴリズムの繰返し回数であり、
 $X(i+1)$ は、1つ又は複数の更新済み P A P R 低減シンボルであり、
 $X(i)$ は、以前の繰返し中に生成された 1つ又は複数の P A P R 低減シンボルであり

μ は、ステップ・サイズであり、
 $J(X(i))$ は、コスト関数であり、
 $\nabla J(X(i))$ は、前記コスト関数 $J(X)$ の勾配である、

請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記コスト関数 $J(X(i))$ の前記勾配 $\nabla J(X(i))$ は、

【数 2】

$$\nabla J(X) = \frac{2 \left[z_{d(1)} f_{d(1)}^\dagger + \sum_{n=2}^K e^{\alpha(|z_{d(n)}|^2 - |z_{d(1)}|^2)} z_{d(n)} f_{d(n)}^\dagger \right]}{1 + \sum_{n=2}^K e^{\alpha(|z_{d(n)}|^2 - |z_{d(1)}|^2)}};$$

であり、

$|z_n(X(i))|$ は、前記マルチ・キャリア変調信号 $z(X(i))$ の前記 n 番目の要素の絶対値であり、

$d(1)$ は、 $|z_n(X(i))|$ の最大サンプルであり、

$d(n)$ は、 $|z_n(X(i))|$ の n 番目に大きいサンプルであり、

K は、 N 未満又は N と等しい整数であり、

Q は、逆高速フーリエ変換 (I F F T) における $N \times N$ の行列であり、 N は、前記 I F F T の列と行の両方の長さであり、

Q^\wedge は、 Q における $N \times M$ の部分行列であり、

M は、前記 1つ又は複数の P A P R 低減トーンの数であり、

$f_n = [f_{n,1}, f_{n,2}, \dots, f_{n,M}]$ は、前記行列 Q^\wedge の n 番目の行であり、

\dagger は、エルミート転置行列を示す、

請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記勾配降下アルゴリズムは、

$z(i+1) = z(i) - \mu \nabla J(z(i))$ 、

i は、前記勾配降下アルゴリズムの繰返し回数であり、

$z(i)$ は、 i 番目の繰返し中のマルチ・キャリア変調信号であり、

$z(i+1)$ は、 $i+1$ 番目の繰返しにおける更新済みマルチ・キャリア変調信号であり、

μ は、ステップ・サイズであり、

$J(z(i))$ は、コスト関数であり、

$\nabla J(z(i))$ は、前記コスト関数の勾配である、

請求項 5 に記載の方法。

【請求項 9】

前記コスト関数の前記勾配は、

【数 3】

$$\nabla J(z(i)) = \frac{2 \left[z_{d(1)} g_{d(1)} + \sum_{n=2}^K e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)} z_{d(n)}(i) g_{d(n)} \right]}{1 + \sum_{n=2}^K e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)}}$$

であり、

$|z_n(X(i))|$ は、前記マルチ・キャリア変調信号 $z(X(i))$ の n 番目の要素の絶対値であり、

$d(1)$ は、 $|z_n(X(i))|$ の最大サンプルであり、

$d(n)$ は、 $|z_n(X(i))|$ の n 番目に大きいサンプルであり、

K は、 N 未満又は N と等しい整数であり、

Q は、逆高速フーリエ変換 (IFFT) の $N \times N$ の行列であり、 N は、前記 IFFT の列と行の両方の長さであり、

Q^{\wedge} は、 Q における $N \times M$ の部分行列であり、

M は、前記 1 つ又は複数の PAPR 低減トーンの数であり、

$G = [g_1, \dots, g_N] = Q^{\wedge} Q^{\wedge \dagger}$ 、

\dagger は、エルミート転置行列を示す、

請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

送信機のマルチ・キャリア変調信号のピーク対平均電力比 (PAPR) を低減する装置であって、

(a) (i) 1 つ又は複数のデータ・シンボルに対応する 1 つ又は複数のデータ変調トーンと、(ii) 1 つ又は複数の初期 PAPR 低減シンボルに対応する 1 つ又は複数の初期 PAPR 低減トーンとを有する初期マルチ・キャリア変調信号を生成する手段と、

(b) 前記初期マルチ・キャリア変調信号に勾配降下アルゴリズムを適用して、(i) 前記 1 つ又は複数のデータ・シンボルに対応する前記 1 つ又は複数のデータ変調トーンと、(ii) 1 つ又は複数の最終 PAPR 低減シンボルに対応する 1 つ又は複数の最終 PAPR 低減トーンとを有する最終マルチ・キャリア変調信号を生成する手段とを備え、前記最終マルチ・キャリア変調信号の前記 PAPR は、前記初期マルチ・キャリア変調信号の前記 PAPR よりも低い、

装置。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2007/078875

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H04L27/26		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H04L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BRIAN SCOTT KRONGOLD: "NEW TECHNIQUES FOR MULTICARRIER COMMUNICATION SYSTEMS"[Online] 2003, pages 67-137, XP002464915 Urbana, Illinois Retrieved from the Internet: URL: http://www.cubinlab.ee.unime1b.edu.au/{bsk/phdthesis.pdf} [retrieved on 2008-01-16] page 67 - page 73 page 133 - page 138 ----- -/--	1-21
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
17 January 2008	30/01/2008	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer GONZALEZ GUTIERREZ	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2007/078875

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/238110 A1 (YUN SUNG-RYUL [KR] ET AL) 27 October 2005 (2005-10-27) paragraphs [0039] - [0052] paragraphs [0057] - [0060] paragraphs [0069] - [0073] paragraphs [0083] - [0098] paragraph [0101] figures 2-5	1-21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2007/078875

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005238110 A1	27-10-2005	KR 20050102799 A	27-10-2005

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100101498

弁理士 越智 隆夫

(74)代理人 100104352

弁理士 朝日 伸光

(74)代理人 100128657

弁理士 三山 勝巳

(72)発明者 パリガ, ジャヤント

オーストラリア国 ホッパーズ クロッシング, メディナ ドライヴ 3 1

(72)発明者 グラント, アレキサンダー, ジェー.

オーストラリア国 5 0 9 5 ノース アデレイド, ウェリントン スクエア 3 3

(72)発明者 キンド, アドリエル, ポール

オーストラリア国 2 1 1 3 ニューサウスウェールズ, マッククアリー パーク, ローガル ブ
レイス 1, ユニット 7

(72)発明者 ウッドワード, グレーム, ケネス

オーストラリア国 2 1 2 2 ニューサウスウェールズ, イッピング, フランシス ストリート
3 6

Fターム(参考) 5K022 AA11 DD01 DD13 DD21