

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3961999号

(P3961999)

(45) 発行日 平成19年8月22日(2007.8.22)

(24) 登録日 平成19年5月25日(2007.5.25)

(51) Int.Cl.

H04J 11/00 (2006.01)

F I

H04J 11/00

Z

請求項の数 23 (全 19 頁)

|           |                               |           |                |
|-----------|-------------------------------|-----------|----------------|
| (21) 出願番号 | 特願2003-330170 (P2003-330170)  | (73) 特許権者 | 000003078      |
| (22) 出願日  | 平成15年9月22日(2003.9.22)         |           | 株式会社東芝         |
| (65) 公開番号 | 特開2005-101746 (P2005-101746A) |           | 東京都港区芝浦一丁目1番1号 |
| (43) 公開日  | 平成17年4月14日(2005.4.14)         | (74) 代理人  | 100058479      |
| 審査請求日     | 平成16年12月14日(2004.12.14)       |           | 弁理士 鈴江 武彦      |
|           |                               | (74) 代理人  | 100091351      |
|           |                               |           | 弁理士 河野 哲       |
|           |                               | (74) 代理人  | 100088683      |
|           |                               |           | 弁理士 中村 誠       |
|           |                               | (74) 代理人  | 100108855      |
|           |                               |           | 弁理士 蔵田 昌俊      |
|           |                               | (74) 代理人  | 100084618      |
|           |                               |           | 弁理士 村松 貞男      |
|           |                               | (74) 代理人  | 100092196      |
|           |                               |           | 弁理士 橋本 良郎      |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチキャリア伝送システム、マルチキャリア受信機、及び送信機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

$2^m$  個 ( $m$  は自然数) の変調信号を入力して、該変調信号のうちの  $2^n$  個 ( $n$  は自然数、 $m > n$ ) の入力信号値を情報伝送に使用しない無情報信号に設定し、順に番号を変調信号に付与した場合の最初から  $L$  番目の変調信号を無情報信号とし以下  $K$  個 ( $K$  は自然数、 $L$  は整数、かつ、 $K = 2^m - 2^n$ 、 $0 \leq L \leq K - 1$ ) 個の変調信号を無情報信号として、これら無情報信号を含んだ変調信号を逆離散フーリエ変換して変換信号とする変換手段と、該変換信号を送信する送信手段とを具備する送信機と、

前記送信された変換信号を受信する受信手段と、前記変調信号に含まれている前記無情報信号の配置により決定される関係式であって、受信した変換信号に成立する関係式を満たすように、該変換信号の信号列を時間軸上でスライドして、同期検出をする検出手段とを具備する受信機とを具備することを特徴とするマルチキャリア伝送システム。

10

【請求項2】

前記検出手段は、前記変換信号の間で成立する関係式である拘束条件に基づいて、同期検出をすることを特徴とする請求項1に記載のマルチキャリア伝送システム。

【請求項3】

前記変換手段は、 $M (= 2^m)$  個の変調信号  $X_k$  ( $k$  は整数、かつ、 $0 \leq k \leq M - 1$ ) を、

$$X_k = (1/M) (X_0 + W_M^{-k} X_1 + W_M^{-2k} X_2 + \dots + W_M^{-(M-1)k} X_{M-1}),$$

(ここで、 $W_M = \exp(-j 2\pi/M)$ 、 $j^2 = -1$ )

20

で規定される  $x_k$  に変換することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載のマルチキャリア伝送システム。

【請求項 4】

( $2^m - 2^n$ ) 個の無情報信号でない前記変調信号の伝送ビット数が、 $2^m$  個の前記変調信号が無情報信号を有しない場合の  $2^m$  個の前記変調信号の伝送ビット数以上になるように、 $2^m$  個の前記変調信号のうちの無情報信号以外の変調信号のうちの少なくとも 1 つの変調信号の伝送ビット数を増加させるビット数増加手段をさらに具備することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載のマルチキャリア伝送システム。

【請求項 5】

前記ビット数増加手段は、 $2^m$  個の前記変調信号のうちの無情報信号以外の変調信号のうちの少なくとも 1 つの変調信号の変調多値数を増加させることを特徴とする請求項 4 に記載のマルチキャリア伝送システム。

【請求項 6】

$2^m$  個の前記変調信号のうちの無情報信号以外の変調信号のうちの少なくとも 1 つの変調信号の電力を増加させる電力増加手段をさらに具備することを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 に記載のマルチキャリア伝送システム。

【請求項 7】

前記送信機は、さらに、前記受信機との間の伝送路の状態を推定する推定手段を具備し、前記変換手段は、前記伝送路の状態に応じて、 $2^m$  個の前記変調信号のうちの無情報信号に設定する変調信号数を調整することを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれかに記載のマルチキャリア伝送システム。

【請求項 8】

前記検出手段は、 $M (= 2^m)$  個の送信された変換信号  $x_k$  ( $k$  は整数、かつ、 $0 \leq k \leq M-1$ ) を  $y_k$  として受信し、  

$$W_M^{pL} y_p + W_M^{(p+N)L} y_{p+N} + W_M^{(p+2N)L} y_{p+2N} + \dots + W_M^{(p+(K-1)N)L} y_{p+(K-1)N},$$
 (ここで、 $W_M = \exp(-j 2\pi / M)$ 、 $j^2 = -1$ 、 $N = 2^n$ 、 $p$  は整数、かつ、 $0 \leq p \leq N-1$ )

の電力がある値以下になる  $p$  を検出することによって、同期検出をすることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれかに記載のマルチキャリア伝送システム。

【請求項 9】

前記検出手段は、 $M (= 2^m)$  個の送信された変換信号  $x_k$  ( $k$  は整数、かつ、 $0 \leq k \leq M-1$ ) を  $y_k$  として受信し、  

$$W_M^{pL} y_p + W_M^{(p+N)L} y_{p+N} + W_M^{(p+2N)L} y_{p+2N} + \dots + W_M^{(p+(K-1)N)L} y_{p+(K-1)N},$$
 (ここで、 $W_M = \exp(-j 2\pi / M)$ 、 $j^2 = -1$ 、 $N = 2^n$ 、 $p$  は整数、かつ、 $0 \leq p \leq N-1$ )

の電力が最小となる  $p$  を検出することによって、同期検出をすることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれかに記載のマルチキャリア伝送システム。

【請求項 10】

前記送信手段は、前記  $2^m$  個の変換信号のうちの後端から  $q$  個 ( $q$  は自然数、かつ、 $1 \leq q < 2^m$ ) の連続した変換信号を前記  $2^m$  個の変換信号より以前に送信することを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載のマルチキャリア伝送システム。

【請求項 11】

前記検出手段は、受信した前記変換信号のうちの、 $2^m - q$  個の連続した変換信号の前の  $q$  個の連続した信号と後の  $q$  個の連続した信号との間の相関値を計算する計算手段をさらに具備し、

該検出手段は、該相関値に基づいて同期検出をすることを特徴とする請求項 10 に記載のマルチキャリア伝送システム。

【請求項 12】

$2^m$  個 ( $m$  は自然数) の変調信号を入力して、該変調信号のうちの  $2^n$  個 ( $n$  は自然数、 $m > n$ ) の入力信号値を情報伝送に使用しない無情報信号に設定し、順に番号を変調信

10

20

30

40

50

号に付与した場合の最初から  $L$  番目の変調信号を無情報信号とし以下  $K$  個 ( $K$  は自然数、 $L$  は整数、かつ、 $K = 2^m - n$ 、 $0 \leq L \leq K - 1$ ) ごとくの変調信号を無情報信号として、これら無情報信号を含んだ変調信号を逆離散フーリエ変換して送信された変換信号を受信するマルチキャリア受信機において、

前記送信された変換信号を受信する受信手段と、

前記変調信号に含まれている前記無情報信号の配置により決定される関係式であって、受信した変換信号に成立する関係式を満たすように、該変換信号の信号列を時間軸上でスライドして、同期検出をする検出手段を具備することを特徴とするマルチキャリア受信機。

#### 【請求項 13】

10

前記検出手段は、前記変換信号の間で成立する関係式である拘束条件に基づいて、同期検出をすることを特徴とする請求項 12 に記載のマルチキャリア受信機。

#### 【請求項 14】

前記検出手段は、 $M (= 2^m)$  個の送信された変換信号  $x_k$  ( $k$  は整数、かつ、 $0 \leq k \leq M - 1$ ) を  $y_k$  として受信し、

$$W_M^{pL} y_p + W_M^{(p+N)L} y_{p+N} + W_M^{(p+2N)L} y_{p+2N} + \dots + W_M^{(p+(K-1)N)L} y_{p+(K-1)N},$$
 (ここで、 $W_M = \exp(-j 2\pi / M)$ 、 $j^2 = -1$ 、 $N = 2^n$ 、 $p$  は整数、かつ、 $0 \leq p \leq N - 1$ )

の電力がある値以下になる  $p$  を検出することによって、同期検出をすることを特徴とする請求項 12 又は請求項 13 に記載のマルチキャリア受信機。

20

#### 【請求項 15】

前記検出手段は、 $M (= 2^m)$  個の送信された変換信号  $x_k$  ( $k$  は整数、かつ、 $0 \leq k \leq M - 1$ ) を  $y_k$  として受信し、

$$W_M^{pL} y_p + W_M^{(p+N)L} y_{p+N} + W_M^{(p+2N)L} y_{p+2N} + \dots + W_M^{(p+(K-1)N)L} y_{p+(K-1)N},$$
 (ここで、 $W_M = \exp(-j 2\pi / M)$ 、 $j^2 = -1$ 、 $N = 2^n$ 、 $p$  は整数、かつ、 $0 \leq p \leq N - 1$ )

の電力が最小となる  $p$  を検出することによって、同期検出をすることを特徴とする請求項 12 又は請求項 13 に記載のマルチキャリア受信機。

#### 【請求項 16】

前記変換信号は送信される場合に、前記  $2^m$  個の変換信号のうちの後端から  $q$  個 ( $q$  は自然数、かつ、 $1 \leq q < 2^m$ ) の連続した変換信号を前記  $2^m$  個の変換信号より以前に送信するように設定されて、

30

前記検出手段は、受信した前記変換信号のうち、 $2^m - q$  個の連続した変換信号前の  $q$  個の連続した信号と後の  $q$  個の連続した信号との間の相関値を計算する計算手段をさらに具備し、

該検出手段は、該相関値に基づいて同期検出をすることを特徴とする請求項 12 から請求項 15 のいずれかに記載のマルチキャリア受信機。

#### 【請求項 17】

$2^m$  個 ( $m$  は自然数) の変調信号を入力して、該変調信号のうちの  $2^n$  個 ( $n$  は自然数、 $m > n$ ) の入力信号値を情報伝送に使用しない無情報信号に設定し、順に番号を変調信号に付与した場合の最初から  $L$  番目の変調信号を無情報信号とし以下  $K$  個 ( $K$  は自然数、 $L$  は整数、かつ、 $K = 2^m - n$ 、 $0 \leq L \leq K - 1$ ) ごとくの変調信号を無情報信号として、これら無情報信号を含んだ変調信号を逆離散フーリエ変換して変換信号が送信された信号を受信し、前記変調信号に含まれている前記無情報信号の配置により決定される関係式であって、受信した変換信号に成立する関係式を満たすように、該変換信号の信号列を時間軸上でスライドして、同期検出をする受信機宛てに前記変換信号を送信する送信機において、

40

前記無情報信号を含んだ変調信号を逆離散フーリエ変換して変換信号とする変換手段と、

該変換信号を送信する送信手段とを具備することを特徴とするマルチキャリア送信機。

50

## 【請求項 18】

前記変換手段は、 $M (= 2^m)$  個の変調信号  $X_k$  ( $k$  は整数、かつ、 $0 \leq k \leq M-1$ ) を、

$$x_k = (1/M) (X_0 + W_M^{-k} X_1 + W_M^{-2k} X_2 + \cdots + W_M^{-(M-1)k} X_{M-1}),$$

(ここで、 $W_M = \exp(-j 2\pi/M)$ 、 $j^2 = -1$ )

で規定される  $x_k$  に変換することを特徴とする請求項 17 に記載のマルチキャリア送信機。

## 【請求項 19】

( $2^m - 2^n$ ) 個の無情報信号でない前記変調信号の伝送ビット数が、 $2^m$  個の前記変調信号が無情報信号を有しない場合の  $2^m$  個の前記変調信号の伝送ビット数以上になるように、 $2^m$  個の前記変調信号のうちの無情報信号以外の変調信号のうちの少なくとも 1 つの変調信号の伝送ビット数を増加させるビット数増加手段をさらに具備することを特徴とする請求項 17 又は請求項 18 に記載のマルチキャリア送信機。 10

## 【請求項 20】

前記ビット数増加手段は、 $2^m$  個の前記変調信号のうちの無情報信号以外の変調信号のうちの少なくとも 1 つの変調信号の変調多値数を増加させることを特徴とする請求項 19 に記載のマルチキャリア送信機。

## 【請求項 21】

$2^m$  個の前記変調信号のうちの無情報信号以外の変調信号のうちの少なくとも 1 つの変調信号の電力を増加させる電力増加手段をさらに具備することを特徴とする請求項 19 又は請求項 20 に記載のマルチキャリア送信機。 20

## 【請求項 22】

前記受信機との間の伝送路の状態を推定する推定手段をさらに具備し、前記変換手段は、前記伝送路の状態に応じて、 $2^m$  個の前記変調信号のうちの無情報信号に設定する変調信号数を調整することを特徴とする請求項 17 から請求項 21 のいずれかに記載のマルチキャリア送信機。

## 【請求項 23】

前記送信手段は、前記  $2^m$  個の変換信号のうちの後端から  $q$  個 ( $q$  は自然数、かつ、 $1 \leq q < 2^m$ ) の連続した変換信号を前記  $2^m$  個の変換信号より以前に送信することを特徴とする請求項 17 から請求項 22 のいずれかに記載のマルチキャリア送信機。 30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

この発明は、デジタルデータ伝送技術に関し、特にマルチキャリアを用いた OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 伝送技術を利用したマルチキャリア伝送システム、マルチキャリア受信機、及び送信機に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

マルチキャリア伝送方式の一種である OFDM は、送信機で周波数軸上の信号を逆離散フーリエ変換器 (IDFT: Inverse Discrete Fourier Transformer) により多重して時間軸上の信号に変換して送信し、受信機で受信した時間軸上の信号を離散フーリエ変換器 (DFT) により周波数軸上の信号に分離することにより、送受信を行う。その他の OFDM に関する動作は既に広く知られているので、その詳細は省略する。 40

## 【0003】

OFDM 受信機で伝送信号を受信するとき、DFT はブロック処理を行うため、ブロック位置の正確な設定、すなわち、シンボル同期が必須である。通常、このシンボル同期を実現するため、送信機で冗長なシンボルを付加して送信することが行われている。

## 【0004】

例えば、ガードシンボルを挿入しこのシンボルに基づいて同期する方法がある。具体的 50

には、例えば、8点のIDFT出力を、 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $\dots$ 、 $x_7$ とすると、後端の4点、 $x_4$ 、 $x_5$ 、 $x_6$ 、 $x_7$ をガードシンボルとして前方にコピーして、全12点を1シンボルとして送信する。受信機で8個の信号点間隔で相関演算をスライドして行くと、4点のガードシンボルと、シンボル後ろの4点は同一であるため相関が強く、シンボル同期位置を特定できる（例えば、特許文献1）。

#### 【0005】

他には、同期用の既知信号をプリアンブルとして送信し、受信側でその既知のプリアンブルを検出することによって、シンボル同期位置を特定するものがある（例えば、特許文献2）。

【特許文献1】特開平7-99486号公報

10

【特許文献2】特開2003-69546号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

上述したマルチキャリア伝送システムにおいては、受信機でシンボル同期を可能とするため、同期用のシンボルを挿入する必要があり、伝送効率が低下するという問題がある。

#### 【0007】

この発明は、上述した従来の技術に鑑み、同期用のシンボルを挿入することなくシンボル同期を実現するマルチキャリア伝送システム、マルチキャリア受信機、及び送信機を実現することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

本発明のマルチキャリア伝送システムは、 $2^m$ 個（ $m$ は自然数）の変調信号を入力して、該変調信号のうちの $2^n$ 個（ $n$ は自然数、 $m > n$ ）の入力信号値を情報伝送に使用しない無情報信号に設定し、順に番号を変調信号に付与した場合の最初から $L$ 番目の変調信号を無情報信号とし以下 $K$ 個（ $K$ は自然数、 $L$ は整数、かつ、 $K = 2^m - 2^n$ 、 $0 \leq L \leq K - 1$ ）ごとの変調信号を無情報信号として、これら無情報信号を含んだ変調信号を逆離散フーリエ変換して変換信号とする変換手段と、該変換信号を送信する送信手段とを具備する送信機と、

前記送信された変換信号を受信する受信手段と、前記変調信号に含まれている前記無情報信号の配置により決定される関係式であって、受信した変換信号に成立する関係式を満たすように、該変換信号の信号列を時間軸上でスライドして、同期検出をする検出手段とを具備する受信機とを具備することを特徴とする。

30

#### 【0009】

本発明のマルチキャリア受信機は、 $2^m$ 個（ $m$ は自然数）の変調信号を入力して、該変調信号のうちの $2^n$ 個（ $n$ は自然数、 $m > n$ ）の入力信号値を情報伝送に使用しない無情報信号に設定し、順に番号を変調信号に付与した場合の最初から $L$ 番目の変調信号を無情報信号とし以下 $K$ 個（ $K$ は自然数、 $L$ は整数、かつ、 $K = 2^m - 2^n$ 、 $0 \leq L \leq K - 1$ ）ごとの変調信号を無情報信号として、これら無情報信号を含んだ変調信号を逆離散フーリエ変換して送信された変換信号を受信するマルチキャリア受信機において、

40

前記送信された変換信号を受信する受信手段と、前記変調信号に含まれている前記無情報信号の配置により決定される関係式であって、受信した変換信号に成立する関係式を満たすように、該変換信号の信号列を時間軸上でスライドして、同期検出をする検出手段を具備することを特徴とする。

#### 【0010】

本発明のマルチキャリア送信機は、 $2^m$ 個（ $m$ は自然数）の変調信号を入力して、該変調信号のうちの $2^n$ 個（ $n$ は自然数、 $m > n$ ）の入力信号値を情報伝送に使用しない無情報信号に設定し、順に番号を変調信号に付与した場合の最初から $L$ 番目の変調信号を無情報信号とし以下 $K$ 個（ $K$ は自然数、 $L$ は整数、かつ、 $K = 2^m - 2^n$ 、 $0 \leq L \leq K - 1$ ）ごとの変調信号を無情報信号として、これら無情報信号を含んだ変調信号を逆離散フーリエ

50

変換して変換信号が送信された信号を受信し、前記変調信号に含まれている前記無情報信号の配置により決定される関係式であって、受信した変換信号に成立する関係式を満たすように、該変換信号の信号列を時間軸上でスライドして、同期検出をする受信機宛てに前記変換信号を送信する送信機において、

前記無情報信号を含んだ変調信号を逆離散フーリエ変換して変換信号とする変換手段と、該変換信号を送信する送信手段とを具備することを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、同期用のシンボルを挿入することなく、シンボル同期を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態に係るマルチキャリア伝送システム、マルチキャリア受信機、及び送信機について詳細に説明する。

マルチキャリア伝送方式の一種であるOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) は、送信機で逆離散フーリエ変換器 (IDFT: Inverse Discrete Fourier Transformer) によって周波数軸上の信号を多重して時間軸上の信号に変換して送信し、受信機で受信した時間軸上の信号を離散フーリエ変換器 (DFT) により周波数軸上の信号に分離することにより、送受信を行う。

【0013】

(第1の実施形態)

本実施形態のマルチキャリア伝送システムの構成を図1を参照して説明する。図1は、本発明の第1及び第2の実施形態に係るマルチキャリア伝送システムのブロック図である。

本発明のマルチキャリア伝送システムは、マルチキャリア送信機10、及び、マルチキャリア受信機20を少なくとも備えている。

マルチキャリア送信機10は、逆離散フーリエ変換器 (IDFT) 11及び送信部12を少なくとも備えている。マルチキャリア受信機20は、受信部21、同期回路22、及び、離散フーリエ変換器 (DFT) 23を少なくとも備えている。また、本実施形態では、図1に示したように、IDFT 11及びDFT 23は共に8点の入出力を有する場合を説明する。しかしながら、IDFT 11及びDFT 23が8点の入出力に限定されるわけではなく、任意の点数で本実施形態のマルチキャリア伝送システム、マルチキャリア受信機、及び送信機は実施可能である。この点に関しては、後述する数式[14]以下で詳細に説明される。

【0014】

IDFT 11は、8個の入力信号である変調信号を入力し、これら8個の変調信号を逆離散フーリエ変換して、変換された変調信号を出力信号として出力する。すなわち、IDFT 11の入力信号を $X_0, X_1, \dots, X_7$ 、出力信号を $x_0, x_1, \dots, x_7$ と定義し、 $W = \exp(-j2\pi/8)$ 、 $j^2 = -1$ とすると、入力信号と出力信号の関係は、

$$x_k = (1/8) (X_0 + W^{-k}X_1 + W^{-2k}X_2 + \dots + W^{-7k}X_7) \dots\dots\dots [1] \quad (k = 0, 1, \dots, 7)$$

で定まる。ここで例えば、 $W^{-2k} = (W)^{-2k}$ であり、 $W^{-2k}$ は $W$ の $-2k$ 乗を示す。IDFT 11は変調信号をこの数式[1]で定まる変換信号に変換する。

【0015】

送信部12は、IDFT 11の出力信号 $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ の8個の信号列をIDFT 11出力の1個の送信シンボルとする。このようにして、IDFT 11は送信シンボルを次々に生成し、送信部12が送信シンボル列を伝送する。

【0016】

本実施形態では、IDFTの入力信号のうち、2点の入力信号 $X_0$ 及び $X_4$ を、

$$X_0 = 0, \quad X_4 = 0 \quad \dots\dots\dots [2]$$

となるように設定する。この場合、数式 [1] に数式 [2] を代入して計算すると、I D F T 1 1 の出力信号において、

$$x_0 + x_2 + x_4 + x_6 = 0 \quad \dots\dots\dots [3-1]$$

$$x_1 + x_3 + x_5 + x_7 = 0 \quad \dots\dots\dots [3-2]$$

の関係式である拘束条件が成立する。

#### 【0017】

受信部 2 1 は、伝送路 3 0 を通過した送信シンボル列を、切れ目のない連なっている信号列として受信する。同期回路 2 2 は、受信部 2 1 から送信シンボル列を受取、その送信シンボル列から連続した 8 個の信号を受信順に抽出してゆき、マルチキャリア送信機 1 0 からの送信信号とマルチキャリア受信機 2 0 の受信信号との間で同期をとる。

10

#### 【0018】

同期回路 2 2 がある時刻で抽出した連続する 8 個の信号を、 $y_0, y_1, \dots, y_7$  とする。そして、D F T 2 3 は、この信号列を離散フーリエ変換して、変換された変調信号を出力信号として出力する。すなわち、D F T 2 3 の入力信号を  $y_0, y_1, \dots, y_7$ 、D F T 2 3 の出力信号を  $Y_0, Y_1, \dots, Y_7$  とすると、入力信号と出力信号の関係は、

$$Y_k = y_0 + W^{1k} y_1 + W^{2k} y_2 + \dots + W^{7k} y_7 \quad \dots\dots\dots [4]$$

$$k = 0, 1, \dots, 7$$

で定まる。

#### 【0019】

20

雑音、マルチパスなどの影響の無い理想的な伝送路を仮定したとき、マルチキャリア送信機 1 0 の I D F T 1 1 から 8 個の信号を出力するタイミングと、マルチキャリア受信機 2 0 の D F T 2 3 に 8 個の信号を入力するタイミングが合致している場合、言い換えると、シンボル同期がとれている場合、D F T 2 3 の入力の時間軸上の信号では、

$$y_0 + y_2 + y_4 + y_6 = 0 \quad \dots\dots\dots [5-1]$$

$$y_1 + y_3 + y_5 + y_7 = 0 \quad \dots\dots\dots [5-2]$$

の関係式が成立する。そして、D F T 2 3 の出力の周波数軸上の信号では、

$$Y_0 = 0, \quad Y_4 = 0 \quad \dots\dots\dots [6]$$

の等号関係が成立している。D F T の入出力は 1 対 1 の関係があり、入力、あるいは、出力の一方の等号が成立すると、他方の等号も成立する。一方、送受信のタイミングがずれている場合、言い換えると、シンボル同期がとれていない場合、上記の数式 [5-1]、[5-2]、及び、[6] の等号関係は成立しない。

30

#### 【0020】

同期回路 2 2 が同期をとる動作を、図 2 を参照して説明する。図 2 は、図 1 の同期回路 2 2 の処理を説明するための図である。

同期回路 2 2 は、時間軸上の受信信号列から、連続した 8 個の信号を 1 信号ずつスライドさせて抽出してゆく。例えば、図 2 で示すように、まず、信号列 s q 1 である  $n-1$  番目の I D F T 1 1 の出力信号列の  $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  を抽出し、次に、1 つスライドして、信号列 s q 2、すなわち  $n-1$  番目の I D F T 1 1 の出力信号列の  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  と  $n$  番目の I D F T 1 1 の出力信号列の  $x_0$  を抽出する。同期回路 2 2 は、以下同様にして順に抽出してゆき、例えば、信号列 s q 6、すなわち  $n-1$  番目の I D F T 1 1 の出力信号列の  $x_5, x_6, x_7$  と  $n$  番目の I D F T 1 1 の出力信号列の  $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4$  を抽出する。

40

#### 【0021】

そして同期回路 2 2 は、抽出した 8 つの信号からなる信号列ごとに、数式 [5-1] 及び数式 [5-2] が成立する信号列を決定する。例えば、図 2 に示した信号列 s q 1 である  $n-1$  番目の I D F T 1 1 の出力信号列の  $x_0, x_1, \dots, x_7$  では対応する受信信号列  $y_0, y_1, \dots, y_7$  の間で数式 [5-1] 及び数式 [5-2] が成立する。他に、図 2 に示した信号列では、信号列 s q 2、信号列 s q 9、及び信号列 s q 10 に対応する受信信号列の間で数式 [5-1] 及び数式 [5-2] が成立する。

50

## 【0022】

このように、同期回路22が、時間軸上の8個の信号に関する等号条件が成立する連続した8個の信号を決定することにより、マルチキャリア送信機10の送信信号に同期した正しいタイミングを得ることができる。

## 【0023】

なお、実際の伝送路では、付加雑音、マルチパスなどの影響で、数式[5-1]及び数式[5-2]が成立しないため、ある値 $v_2$ を定めておき、

$$\begin{aligned} (y_0 + y_2 + y_4 + y_6)^2 &< v_2 \quad \dots\dots\dots [7-1] \\ (y_1 + y_3 + y_5 + y_7)^2 &< v_2 \quad \dots\dots\dots [7-2] \end{aligned}$$

のように、電力が $v_2$ よりも小さくなる信号を抽出するようにする。

10

他に、 $y_0 + y_2 + y_4 + y_6$  及び  $y_1 + y_3 + y_5 + y_7$  が最小となる $y_0, y_1, \dots, y_7$ を探し出し、これら信号に基づいて同期タイミングを決定してもよい。

## 【0024】

上記では、IDFT11の2個の入力信号を0としたときのDFT23の出力信号の条件を利用したがこれには限定されない。すなわち、IDFT11の入力信号のうちの2個を0にすることが本質的ではなく、ほかのケースもあり、いくつかの具体的なケースを図3(A)、(B)、(C)、及び(D)を参照して説明する。図3(A)は、図1のIDFT11に入力される変調信号が全て4-PSK(4-Phase-Shift Keying)の場合の図である。図3(B)は、図3(A)の1つの変調信号が無情報信号である場合の図である。図3(C)は、図3(A)の2つの変調信号が無情報信号である場合の図である。図3(D)は、図3(A)の4つの変調信号が無情報信号である場合の図である。図3(A)は、従来の技術に対応し、 $X_0, X_1, \dots, X_7$ の全ての入力信号が情報を伝達しており、無情報信号を有しない場合である。図3(B)、(C)、及び(D)が本発明の実施形態に対応する。

20

## 【0025】

(ケース1) IDFT11の1個の入力信号が0の場合(図3(B)に対応する)。図3(B)では、

$$X_0 = 0 \quad \dots\dots\dots [8]$$

の場合である。この場合、IDFT11の出力信号に成立する関係式である拘束条件は、

30

$$x_0 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 0 \quad \dots\dots\dots [9]$$

となり、同期回路22が同期位置を探索する際の関係式は、ある電力値 $v_1$ を設定して、

$$(y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7)^2 < v_1 \quad \dots\dots\dots [10]$$

となる。

## 【0026】

(ケース2) IDFT11の2個の信号が0の場合(図3(C)に対応する)。図1を参照して説明した例と同様である。数式[2]の条件の下で、数式[3-1]及び[3-2]が成立する。そして、このとき同期回路22が同期位置を探索する際の関係式は、数式[7-1]及び[7-2]となる。

40

## 【0027】

(ケース3) IDFT11の4個の信号を0の場合(図3(D)に対応する)。図3(C)では、

$$X_0 = 0, \quad X_2 = 0, \quad X_4 = 0, \quad X_6 = 0 \quad \dots\dots\dots [11]$$

の場合である。この場合、IDFT11の出力信号に成立する関係式である拘束条件は、

$$x_0 + x_4 = 0, \quad \dots\dots\dots [12-1]$$

$$x_1 + x_5 = 0, \quad \dots\dots\dots [12-2]$$

$$x_2 + x_6 = 0, \quad \dots\dots\dots [12-3]$$

$$x_3 + x_7 = 0 \quad \dots\dots\dots [12-4]$$

となり、同期回路22が同期位置を探索する際の関係式は、ある電力値 $v_4$ を設定して、

$$(y_0 + y_4)^2 < v_4, \quad \dots\dots\dots [13-1]$$

50

$$\begin{array}{ll}
 (y_1 + y_5)^2 < v_4, & \dots\dots\dots [13-2] \\
 (y_2 + y_6)^2 < v_4, & \dots\dots\dots [13-3] \\
 (y_3 + y_7)^2 < v_4, & \dots\dots\dots [13-4]
 \end{array}$$

となる。

#### 【0028】

上記のいずれの関係式を利用しても、マルチキャリア送信機10とマルチキャリア受信機20との間でシンボル同期を確立することができる。上記の例からわかるように、0信号の挿入数を増加させた方が、多くの条件式を得ることができる。

#### 【0029】

マルチパス伝送路の場合、主到来シンボルから時間遅れの遅延到来シンボルが存在し得る。この遅延到来シンボルが存在する場合は、例えば、 $n$ 番目のIDFT11の $x_0$ に $n-1$ 番目のIDFT11の $x_7$ が混入してしまい、 $x_0$ と $x_7$ が干渉するシンボル間干渉が発生する場合がある。また、伝送路の条件によっては、 $x_1$ までもシンボル間干渉が発生する場合がある。このように、 $x_0$ 、又は、 $x_0$ 及び $x_1$ を含む同期のための条件式(IDFT11の出力信号間に成立する関係式)はシンボル間干渉の影響を受けやすく、正確に同期をとることができない可能性がある。上記のケースのうち、ケース1は、数式[9]でわかるように、 $x_0$ 、又は、 $x_0$ 及び $x_1$ を含む条件式しかないので、ここで述べたシンボル間干渉の影響を取り除くことは難しい。

#### 【0030】

一方、ケース2では、同期のための条件式に $x_0$ を含まない数式[3-2]があるので、この数式を基にした数式[7-2]によってシンボル同期を確立することができる。また、ケース3では、同期のための条件式にケース2の場合と同様に $x_0$ を含まない数式[12-2]、[12-3]、及び[12-4]があるので、この数式を基にして数式[13-2]、[13-3]、及び[13-4]によってシンボル同期を確立することができる。さらに、ケース3では、同期のための条件式に $x_0$ 及び $x_1$ を含まない数式[12-3]及び[12-4]もあるので、 $x_1$ までもシンボル間干渉が発生する場合にもシンボル間干渉の影響を受けることなく、数式[13-3]及び[13-4]シンボル同期を確立することができる。

#### 【0031】

次に、伝送効率に関して図4(A)、(B)、及び(C)を参照して説明する。図4(A)は、図1のIDFTに入力される変調信号が全て4-PSKの場合の図である。図4(B)は、図4(A)の2つの変調信号を無情報信号とし、その他の6つの変調信号を全て4-PSKにした場合の図である。図4(C)は、図4(A)の2つの変調信号を無情報信号とし、その他の2つの変調信号を16-QAM(Quadrature Amplitude Modulation)にした場合の図である。

図4(A)に示したIDFT11の入力信号である $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ が全て無情報信号でない場合に比較して、図4(B)に示したIDFT11の入力信号である $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ のうち $X_0$ 及び $X_4$ がのみが無情報信号である場合は、無情報信号の $X_0$ 及び $X_4$ の伝送ビット数分だけ伝送効率が低下している。

#### 【0032】

そこで、本実施形態では、図4(C)に示すように、1つの入力信号を無情報信号にした場合に、変調回路13が無情報信号でないIDFT11の入力信号のうちの1つの入力信号をより伝送ビット数の大きい信号に変調する。ここで、変調回路13は、入力信号を所定の変調方式に対応した変調信号に変調する回路である。

例えば、変調回路13は、4-PSKよりも1信号当たりの伝送ビット数の大きな16-QAMの変調信号に変調する。16-QAMに限定されるわけではなく他に、64-QAMの変調方式でもよい。

#### 【0033】

図4(C)の例は、図4(A)に示した $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ が全て4-PSKである場合と伝送ビット数が同一になる場合である。16-QAMは、1信号当たりの伝送ビット

10

20

30

40

50

数が4-PSKの倍であるので、無情報信号が2信号である場合に、無情報信号でないIDFT11の入力信号のうちの2信号を16-QAMの変調信号に設定してある。

【0034】

また、 $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ のうち、無情報信号が1つのみの場合は、図3(B)に示してある。さらに、 $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ のうち、無情報信号が4つのみの場合は、図3(D)に示してある。これらは図4(C)で示した事項の応用である。すなわち、16-QAMは、1信号当たりの伝送ビット数が4-PSKの倍であることに基づいている。

【0035】

本実施形態は、上記の図4(C)及び、図3(B)、(D)に示したように16-QAMを使用することには限定されない。例えば、図4(A)の場合と伝送ビット数が同一になる方法は、 $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ のうち、1つの無情報信号当たりに対して無情報信号でない4-PSK方式の2信号の変調方式を8-PSKに変更しても良い。他に図4(A)の場合と伝送ビット数が同一になる方法は、 $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ のうち、2つの無情報信号当たりに対して無情報信号でない4-PSK方式の1信号の変調方式を64-QAMに変更しても良い。

10

【0036】

一方、 $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ のうち、無情報信号がある場合その無情報信号数分の電力が減少すると、誤り耐性が少なくなる。本実施形態では、誤り耐性が少なくなることを防ぐために、図4(C)の $X_0$ 、 $X_1'$ 、 $\dots$ 、 $X_5'$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ の総和電力が、図4(A)の $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ の総和電力と同様になるように、電力調整部14が16-QAM方式の変調信号 $X_1'$ 、 $X_5'$ の電力を増加させる。このように総和電力が同一の場合は、誤り耐性も同一になる。

20

【0037】

以上に示したように、誤り耐性を悪化させず、さらに、1シンボル当たりの伝送ビット数も維持しつつ、IDFT11の入力信号のうちの幾つかの信号を無情報信号に設定することが可能である。すなわち、IDFT11の入力信号が含む全ビット数が同一、かつIDFT11入力信号の全電力が同一という条件で変調方式及び電力を設定することができる。

【0038】

ところで、IDFT11の4-PSKのある入力信号を0にすることによる伝送ビット数の低下が許容されるならば、他の入力信号の変調方式を多値変調にするという処理は行う必要はなく4-PSKのままでよい。また、ある入力信号の変調方式を多値変調にすることによる誤り率の劣化が許容されるならば、電力の調整は不要となる。

30

【0039】

通常のOFDM伝送でもIDFT11の入力信号に無情報信号を含む場合がある。次に、このOFDM伝送に本実施形態のマルチキャリア伝送システムを適用する場合を図5(A)及び(B)を参照して説明する。図5(A)は、図1のIDFT11に入力される変調信号の両端が無情報信号である場合の図である。図5(B)は、図5(A)の無情報信号の信号配置を変更した場合の図である。

【0040】

40

通常のOFDM伝送では、例えば2048点のIDFTを利用する場合、IDFTの全ての入力点に信号は入力せずに、両端の各数100点程度の入力信号は用いず、無情報信号にすることがある。図5(A)は、その象徴的な例として両端の $X_0$ 及び $X_7$ の入力信号が無情報信号になっている場合を示している。図5(A)のような入力信号の配置の場合に本発明を適用するとすれば、図5(B)のように本実施形態の同期をとるための条件(この場合は、数式[2])に適合するように、無情報信号とする入力信号を変更する。この変更は、操作的には単に無情報信号を移動するだけであるので、伝送ビット/シンボルは変わらず伝送効率の低下はない。

【0041】

これら無情報信号の挿入数は、伝送路の状態に応じて変更可能である。この内容に関し

50

て、図 6 (A) 及び図 6 (B) を参照して説明する。図 6 (A) は、基地局 50 から端末 40 への伝送路の帯域と端末 40 から基地局 50 への伝送路の帯域が異なる場合のマルチキャリア伝送システムのブロック図である。図 6 (B) は、基地局 70 から端末 60 への伝送路の帯域と端末 60 から基地局 70 への伝送路の帯域が同一の場合のマルチキャリア伝送システムのブロック図である。

端末 40 又は基地局 70 が伝送路の状態を検出して、OFDM 送信機 52 又は OFDM 送信機 73 に内蔵されている変調回路を制御する。例えば、マルチパス遅延時間が長い場合は無情報信号の挿入数を増やし、逆に、マルチパス遅延時間が短い場合は無情報信号の挿入数を減らすように、OFDM 送信機 52 又は OFDM 送信機 73 に内蔵されている変調回路を制御する。伝送路の状態は、以下のようにして基地局が取得する。

10

図 6 (A) は、基地局 50 と端末 40 との間の上りと下りの伝送帯域が異なる周波数分割通信 (FDD: Frequency Division Duplex) の場合である。通信方式が FDD のとき、基地局 50 から端末 40 の下り伝送路で OFDM 伝送する場合は、下り伝送路の伝送条件を、上り伝送路を介して、基地局 50 が端末 40 から報知してもらう。そして、基地局 50 は、端末 40 からの下り伝送路の伝送条件に基づいて、OFDM 伝送を実行する。

より詳しくは、例えば、端末 40 の OFDM 受信機 41 の受信信号に基づいて、下り伝送路推定器 42 が下り伝送路の状態を推定する。そして、下り伝送路推定器 42 が推定した下り伝送路状態の情報を送信機 43 によって、基地局 50 に送信する。基地局 50 は、受信機 51 によって下り伝送路状態の情報を受信し、その情報を OFDM 送信機 52 に出力する。OFDM 送信機 52 は、入力した下り伝送路状態の情報に基づいて、信号を端末 40 に送信する。

20

#### 【0042】

一方、図 6 (B) は、基地局 70 と端末 60 との間の上りと下りの伝送帯域が同一の时分分割通信 (TDD: Time Division Duplex) の場合である。通信方式が TDD のとき、基地局 70 から端末 60 の下り伝送路で OFDM 伝送する場合は、基地局 70 が受信した受信信号の特性から、下り伝送路の伝送条件を検知する。そして、基地局 70 は、基地局 70 自身が検知した下り伝送路の伝送条件に基づいて、OFDM 伝送を実行する。

より詳しくは、例えば、基地局 70 の受信機 71 の受信信号に基づいて、下り伝送路推定器 72 が下り伝送路の状態を推定する。そして、下り伝送路推定器 72 が推定した下り伝送路状態の情報に基づいて、OFDM 送信機 73 が信号を端末 60 に送信する。

30

#### 【0043】

以上説明した実施形態では、8 点の IDFT 及び DFT に関して説明してきたが、もちろん、本実施形態は 8 点に限定すべきものではなく、任意の点数に拡張することができる。すなわち、送信機では、M 点の IDFT ( $M = 2^m$ ) の入力信号  $X_0, X_1, \dots, X_{M-1}$  のうち、 $X_{pK}$  ( $p = 0, 1, \dots, N-1, M = KN, N = 2^n$ ) を 0 とすると、IDFT の出力信号  $x_0, x_1, \dots, x_{M-1}$  には、

$$x_p + x_{p+N} + \dots + x_{p+(K-1)N} = 0 \quad \dots \dots \dots [14]$$

$$p = 0, 1, \dots, N-1$$

の関係式が成立する。したがって、伝送路を通過した受信信号を  $y_0, y_1, \dots, y_{M-1}$  とするとき、 $v$  を微小な電力とすると、

40

$$(y_p + y_{p+N} + \dots + y_{p+(K-1)N})^2 < v \quad \dots \dots \dots [15]$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1$$

となる位置を検出することによって、シンボル同期が実現される。

#### 【0044】

例えば、 $M = 2048, N = 256, K = 8$  の場合は、2048 点の IDFT の入力信号、 $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{2046}, X_{2047}$  のうち、 $X_0, X_8, X_{16}, \dots, X_{2032}, X_{2040}$  を 0 に設定することになる。この場合、2048 点の IDFT の出力信号、 $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{2046}, x_{2047}$  の拘束条件として、

$$x_0 + x_{256} + x_{512} + \dots + x_{1536} + x_{1792} = 0 \quad \dots \dots \dots [16-1]$$

50

$$\begin{aligned}
 x_1 + x_{257} + x_{513} + \cdots + x_{1537} + x_{1793} &= 0 & \cdots \cdots \cdots [16-2] \\
 x_2 + x_{258} + x_{514} + \cdots + x_{1538} + x_{1794} &= 0 & \cdots \cdots \cdots [16-3] \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_{254} + x_{510} + x_{766} + \cdots + x_{1790} + x_{2046} &= 0 & \cdots \cdots \cdots [16-255] \\
 x_{255} + x_{511} + x_{767} + \cdots + x_{1791} + x_{2047} &= 0 & \cdots \cdots \cdots [16-256]
 \end{aligned}$$

の256個の条件式を得られる。したがって、同期回路は、受信信号  $y_0$ 、 $y_1$ 、 $y_2$ 、 $\cdots$ 、 $y_{2046}$ 、 $y_{2047}$ 、に対して、

$$(y_0 + y_{256} + y_{512} + \cdots + y_{1536} + y_{1792})^2 < v \cdots \cdots \cdots [17-1] \quad 10$$

$$(y_1 + y_{257} + y_{513} + \cdots + y_{1537} + y_{1793})^2 < v \cdots \cdots \cdots [17-2]$$

$$(y_2 + y_{258} + y_{514} + \cdots + y_{1538} + y_{1794})^2 < v \cdots \cdots \cdots [17-3]$$

$$\begin{aligned}
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

$$(y_{254} + y_{510} + y_{766} + \cdots + y_{1790} + y_{2046})^2 < v \cdots \cdots \cdots [17-255]$$

$$(y_{255} + y_{511} + y_{767} + \cdots + y_{1791} + y_{2047})^2 < v \cdots \cdots \cdots [17-256]$$

の演算で、シンボル同期位置を探索する。なお、電力値  $v$  ではなく、電圧値で演算する方法も考えられる。

また、点数の多いDFT、IDFTの演算は、高速フーリエ変換（FFT：Fast Fourier Transform）、及び、逆高速フーリエ変換（IFFT：Inverse FFT）のアルゴリズムを適用する。 20

#### 【0045】

（第2の実施形態）

上述した第1の実施例では、送信機では、 $M$ 点のIDFT（ $M = 2^m$ ）の入力信号  $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\cdots$ 、 $X_{M-1}$ のうち、 $X_0$ から始まる $K$ 個ごとの信号 $X_{pK}$ （ $p = 0, 1, \cdots, N-1$ 、 $M = KN$ 、 $N = 2^n$ ）を無情報信号に設定した。本実施形態では、第1の実施形態を一般化して、 $X_0$ から始まることに限定せず、 $X_i$ から始まる $K$ 個ごとの信号すなわち、 $X_{i+pK}$ （ $i = 0, 1, \cdots, K-1$ ）を無情報信号に設定する。

#### 【0046】

IDFTの入力信号を $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\cdots$ 、 $X_{M-1}$ 、IDFTの出力信号を $x_0$ 、 $x_1$ 、 $\cdots$ 、 $x_{M-1}$ とし、 $W_M = \exp(-j2\pi/M)$ 、 $j^2 = -1$ とすると、入力信号と出力信号の関係は、

$$\begin{aligned}
 x_k &= (1/M) (X_0 + W_M^{-k} X_1 + W_M^{-2k} X_2 + \cdots \\
 &\quad + W_M^{-(M-1)k} X_{M-1}) \cdots \cdots \cdots [18] \\
 &\quad (k \text{ は整数、かつ、} 0 \leq k \leq M-1)
 \end{aligned}$$

となる。また、IDFTの出力信号 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $\cdots$ 、 $x_{M-1}$ に対して、次式[19]で $u_p$ を定義する。

#### 【0047】

$$\begin{aligned}
 u_p &= W_M^{pi} x_p + W_M^{(p+N)i} x_{p+N} + W_M^{(p+2N)i} x_{p+2N} + \cdots \\
 &\quad + W_M^{(p+(K-1)N)i} x_{p+(K-1)N} \cdots \cdots \cdots [19] \\
 &\quad (p \text{ は整数、かつ、} 0 \leq p \leq N-1)
 \end{aligned} \quad 40$$

この $u_0$ 、 $u_1$ 、 $\cdots$ 、 $u_{N-1}$ を $N$ 点のDFTに入力した場合の出力信号 $U_k$ （ $k$ は整数、かつ、 $0 \leq k \leq M-1$ ）は、

$$\begin{aligned}
 U_k &= u_0 + W_N^k u_1 + W_N^{2k} u_2 + \cdots \\
 &\quad + W_N^{(N-1)k} u_{N-1} \cdots \cdots \cdots [20]
 \end{aligned}$$

となる。ここで、 $W_N = \exp(-j2\pi/N) = W_M^K$ であり、さらに数式[19]を使用して、数式[20]は次式[21]に変形することができる。

#### 【0048】

$$U_k = x_0 + W_M^{(i+kK)} x_1 + W_M^{2(i+kK)} x_2 + \cdots \quad 50$$

$$+ W_M^{(M-1)(i+kK)} x_{M-1} \quad \dots \quad [21]$$

一方、 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $\dots$ 、 $x_{M-1}$ 、をM点のDFTに入力したときの出力信号 $X_k$  ( $k$ は整数、かつ、 $0 \leq k \leq M-1$ )は、

$$X_k = x_0 + W_M^k x_1 + W_M^{2k} x_2 + \dots + W_M^{(M-1)k} x_{M-1} \quad \dots \quad [22]$$

となる。したがって、数式[21]及び数式[22]から、

$$X_{i+pK} = U_p \quad \dots \quad [23]$$

$$p = 0, 1, \dots, N-1, \quad i = 0, 1, \dots, K-1$$

が得られる。

#### 【0049】

10

数式[23]において、 $X_{i+pK} = U_p = 0$ と置くと、 $U_0$ 、 $U_1$ 、 $\dots$ 、 $U_{N-1}$ 、をN点のIDFTに入力したときの出力信号 $u_p$ は当然、 $u_p = 0$ 、( $p = 0, 1, \dots, N-1$ )となる。したがって、数式[19]より、

$$W_M^{pi} x_p + W_M^{(p+N)i} x_{p+N} + W_M^{(p+2N)i} x_{p+2N} + \dots + W_M^{(p+(K-1)N)i} x_{p+(K-1)N} = 0 \quad \dots \quad [24]$$

$$p = 0, 1, \dots, N-1, \quad i = 0, 1, \dots, K-1$$

が得られる。この数式[24]が $X_{i+pK}$  ( $i = 0, 1, \dots, K-1$ 、 $p = 0, 1, \dots, N-1$ 、 $M = KN$ 、 $N = 2^n$ )を0と設定する場合の、M点のIDFT出力の拘束条件になる。

#### 【0050】

20

例えば、 $i = 0$ の場合は、

$$x_p + x_{p+N} + x_{p+2N} + \dots + x_{p+(K-1)N} = 0 \quad \dots \quad [25]$$

$$p = 0, 1, \dots, N-1$$

とり、第1の実施形態における拘束条件となる。例えば、 $M = 8$ 、 $N = 4$ とすれば、 $K = 2$ であり数式[25]は、

$$x_p + x_{p+4} = 0, \quad p = 0, 1, 2, 3 \quad \dots \quad [26]$$

となり、数式[26]は、第1の実施形態で導出した数式[12-1]、[12-2]、[12-3]、及び[12-4]に等しくなる。

#### 【0051】

一般的には、受信した連続したM個の信号 $y_0$ 、 $y_1$ 、 $\dots$ 、 $y_{M-1}$ に対し 30

て、同期回路が検出することのできる微小な電力 $v$ を定めておき、

$$W_M^{pi} y_p + W_M^{(p+N)i} y_{p+N} + W_M^{(p+2N)i} y_{p+2N} + \dots + W_M^{(p+(K-1)N)i} y_{p+(K-1)N} < v \quad \dots \quad [27]$$

$$p = 0, 1, \dots, N-1, \quad i = 0, 1, \dots, K-1$$

が成立する位置を探索して、同期確立が行える。本実施形態は、第1の実施形態を含めた一般的な場合に対応し、送信側で無情報信号を設定する位置の自由度が増す。

#### 【0052】

具体的な例を図7(A)、図7(B)、図7(C)、図7(D)を参照して説明する。図7(A)は、本発明の第2の実施形態に係るマルチキャリア伝送システムでの無情報信号を2つ入れる場合の図である。図7(B)は、図7(A)の無情報信号の信号位置を1 40

つ移動した場合の図である。図7(C)は、図7(A)の無情報信号の信号位置を2つ移動した場合の図である。図7(D)は、図7(A)の無情報信号の信号位置を3つ移動した場合の図である。

図7(A)、図7(B)、図7(C)、図7(D)は、 $M = 8$ 、 $N = 2$ 、 $K = 4$ の場合で、それぞれ $i = 0, 1, 2, 3$ に対する0の配置位置を示している。このうち、 $i = 0$ の場合は図7(A)に対応し、同期のための条件式は既に説明したように上記の数式[25]になる。数式[25]に $M = 8$ 、 $N = 2$ 、 $K = 4$ を代入すると、

$$x_p + x_{p+2} + x_{p+4} + x_{p+6} = 0, \quad p = 0, 1 \quad \dots \quad [28]$$

となり、数式[28]は第1の実施形態で導出した数式[5-1]及び[5-2]に等し 50

くなる。

【0053】

$i = 1$  の場合は図7 (B) に対応する。同期のための条件式は数式 [24] より

、

$$W_M^p x_p + W_M^{(p+N)} x_{p+N} + W_M^{(p+2N)} x_{p+2N} + \dots \\ + W_M^{(p+(K-1)N)} x_{p+(K-1)N} = 0 \quad \dots \dots [29]$$

となる。数式 [29] に  $M = 8$ 、 $N = 2$ 、 $K = 4$  を代入すると、

$$W_M^p x_p + W_M^{(p+2)} x_{p+2} + W_M^{(p+4)} x_{p+4} \\ + W_M^{(p+6)} x_{p+6} = 0 \quad , \quad p = 0, 1 \quad \dots \dots [30]$$

となり、この式が、 $i = 1$ 、 $M = 8$ 、 $N = 2$ 、 $K = 4$  の場合の同期のための条件式である。 10

【0054】

$i = 2$  の場合は図7 (C) に対応する。同期のための条件式は数式 [24] より

、

$$W_M^{2p} x_p + W_M^{2(p+N)} x_{p+N} + W_M^{2(p+2N)} x_{p+2N} + \dots \\ + W_M^{2(p+(K-1)N)} x_{p+(K-1)N} = 0 \quad \dots \dots [31]$$

となる。数式 [31] に  $M = 8$ 、 $N = 2$ 、 $K = 4$  を代入すると、

$$W_M^{2p} x_p + W_M^{2(p+2)} x_{p+2} + W_M^{2(p+4)} x_{p+4} \\ + W_M^{2(p+6)} x_{p+6} = 0 \quad , \quad p = 0, 1 \quad \dots \dots [32]$$

となり、この式が、 $i = 2$ 、 $M = 8$ 、 $N = 2$ 、 $K = 4$  の場合の同期のための条件式である。 20

【0055】

$i = 3$  の場合は図7 (D) に対応する。同期のための条件式は数式 [24] より

、

$$W_M^{3p} x_p + W_M^{3(p+N)} x_{p+N} + W_M^{3(p+2N)} x_{p+2N} + \dots \\ + W_M^{3(p+(K-1)N)} x_{p+(K-1)N} = 0 \quad \dots \dots [33]$$

となる。数式 [33] に  $M = 8$ 、 $N = 2$ 、 $K = 4$  を代入すると、

$$W_M^{3p} x_p + W_M^{3(p+2)} x_{p+2} + W_M^{3(p+4)} x_{p+4} \\ + W_M^{3(p+6)} x_{p+6} = 0 \quad , \quad p = 0, 1 \quad \dots \dots [34]$$

となり、この式が、 $i = 3$ 、 $M = 8$ 、 $N = 2$ 、 $K = 4$  の場合の同期のための条件式である。 30

【0056】

以上に説明したように、本実施形態によれば、無情報信号を設定する位置を自在に変更することができる。

【0057】

(第3の実施形態)

本実施形態は、第1の実施形態に、ガードシンボルを用いた同期検出手法を組み合わせたものである。ガードシンボルを用いた同期検出手法は、IDFTの出力信号のうち後端の何点かの出力信号をガードシンボルとして出力信号の前端の前にコピーして、ガードシンボルとコピー元の出力信号との間の相関に基づいて、シンボル同期を確立するものである。 40

本実施形態では、本発明の第1の実施形態の構成と同様に、送信機に8点のIDFT 11、受信機に8点のDFT 23を有する場合に関して、図8を参照して詳細に説明する。図8は、本発明の第3の実施形態に係るマルチキャリア伝送システムのブロック図である。また、送信機では、IDFT 11の入力信号を、 $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_7$ 、出力信号を、 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $\dots$ 、 $x_7$ と定義する。さらに、第1の実施形態の数式 [2] と同様に、 $X_0 = 0$ 、 $X_4 = 0$ と定める。このとき、IDFTの出力信号では、数式 [3-1] 及び [3-2] に示したように、

$$x_0 + x_2 + x_4 + x_6 = 0 \\ x_1 + x_3 + x_5 + x_7 = 0$$

の関係式が成立している。

#### 【0058】

本実施形態では、ガードシンボルを設定するために、 $x_6$ 、及び $x_7$ 、の信号をコピーとして $x_0$ の直前に配置するように図8に示したように配線される。すなわち、IDFT11の出力信号、 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 、 $x_5$ 、 $x_6$ 、 $x_7$ の後端の2個の信号 $x_6$ 、 $x_7$ をガードシンボルとして、 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 、 $x_5$ 、 $x_6$ 、 $x_7$ に前置するように配線されている。その結果、 $x_6$ 、 $x_7$ 、 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 、 $x_5$ 、 $x_6$ 、 $x_7$ が1個の送信シンボルとなる。このようにして、送信シンボルを次々に生成し、送信シンボル列を伝送路30を介して伝送する。

#### 【0059】

受信機では、伝送路を通過した送信シンボル列を、切れ目のない連なっている信号列として受信し、その中から、あるタイミングで連続した8個の信号を抽出して、それを、 $y_0$ 、 $y_1$ 、 $\dots$ 、 $y_7$ とする。雑音やマルチパスがない状況で、もしも、正しいタイミングで抽出されていると、

$$\begin{aligned} y_0 + y_2 + y_4 + y_6 &= 0 \\ y_1 + y_3 + y_5 + y_7 &= 0 \end{aligned}$$

が成立している。この関係式を利用して、抽出する8個の信号の位置をスライドさせていき、上記の関係の成立する信号を抽出したタイミングを同期タイミングとする。なお、雑音などが存在する現実の伝送では、同期回路221が、上記の関係式で信号和の電力値が最小となるタイミングを探索する。また、数式〔7-1〕及び〔7-2〕のようにある電力値よりも小さくなる信号を抽出して同期タイミングを抽出してもよい。

#### 【0060】

一方、送信シンボルは、 $x_6$ 、 $x_7$ 、 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 、 $x_5$ 、 $x_6$ 、 $x_7$ 、であったため、受信シンボルは、 $y_0$ 、 $y_1$ 、 $\dots$ 、 $y_7$ に $y_6$ 、 $y_7$ 、が前置されている。すなわち、正しいタイミングで連続した8個の信号を抽出した場合、その8個の信号が含む後端の2個の信号と、8個の信号の前の2個の信号は等しい。言い換えると、6個の信号 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 、 $x_5$ 、に隔てられて、その前後に各々2個の信号の同一の $x_6$ 、 $x_7$ 、が存在している。

同期回路221は、この規則を利用して、6個の信号で隔てられた2個の信号をスライドさせて抽出していき、相関値が最大となるタイミング、すなわち、乗算値の加算結果が最大となるタイミングを、同期タイミングとする。

#### 【0061】

雑音、マルチパスなどが存在する劣悪な現実の伝送では、第1の実施の形態における上記の受信信号の関係式の信号和の電力値は増加し、ガードシンボルを用いた同期検出手法での相関値は減少する。劣悪な伝送環境では、これらを併用することにより、同期検出精度の劣化を抑制することができる。

#### 【0062】

例えば、同期回路221は、比較的良好な伝送環境ではガードシンボルを用いた同期検出手法を実行し、劣悪な伝送環境では第1の実施形態で説明した同期検出手法も実行して、これら2つの手法が共に同期点と判定する位置を同期タイミングとする。

#### 【0063】

上述した実施形態は、基地局端末間の無線通信に限定されず、放送形式の無線伝送、又は有線伝送に適用することができる。

なお、本発明は上記実施形態そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組合せにより、種々の発明を形成できる。例えば、実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0064】

10

20

30

40

50

【図 1】本発明の第 1 及び第 2 の実施形態に係るマルチキャリア伝送システムのブロック図。

【図 2】図 1 の同期回路の処理を説明するための図。

【図 3】(A) は、図 1 の I D F T に入力される変調信号が全て 4 - P S K の場合の図。

(B) は、図 3 (A) の 1 つの変調信号が無情報信号である場合の図。(C) は、図 3 (A) の 2 つの変調信号が無情報信号である場合の図。(D) は、図 3 (A) の 4 つの変調信号が無情報信号である場合の図。

【図 4】(A) は、図 1 の I D F T に入力される変調信号が全て 4 - P S K の場合の図。

(B) は、図 4 (A) の 2 つの変調信号を無情報信号とし、その他の 6 つの変調信号を全て 4 - P S K にした場合の図。(C) は、図 4 (A) の 2 つの変調信号を無情報信号とし、その他の 2 つの変調信号を 1 6 - Q A M にした場合の図。

10

【図 5】(A) は、図 1 の I D F T に入力される変調信号の両端が無情報信号である場合の図。(B) は、図 5 (A) の無情報信号の信号配置を変更した場合の図。

【図 6】(A) は、基地局から端末への伝送路の帯域と端末から基地局への伝送路の帯域が異なる場合のマルチキャリア伝送システムのブロック図。(B) は、基地局から端末への伝送路の帯域と端末から基地局への伝送路の帯域が同一の場合のマルチキャリア伝送システムのブロック図。

【図 7】(A) は、本発明の第 2 の実施形態に係るマルチキャリア伝送システムでの無情報信号を 2 つ入れる場合の図。(B) は、図 7 (A) の無情報信号の信号位置を 1 つ移動した場合の図。(C) は、図 7 (A) の無情報信号の信号位置を 2 つ移動した場合の図。

20

(D) は、図 7 (A) の無情報信号の信号位置を 3 つ移動した場合の図。

【図 8】本発明の第 3 の実施形態に係るマルチキャリア伝送システムのブロック図。

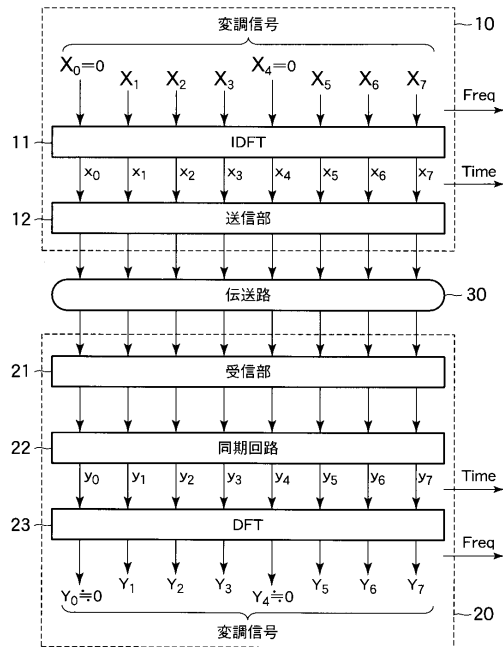
【符号の説明】

【0065】

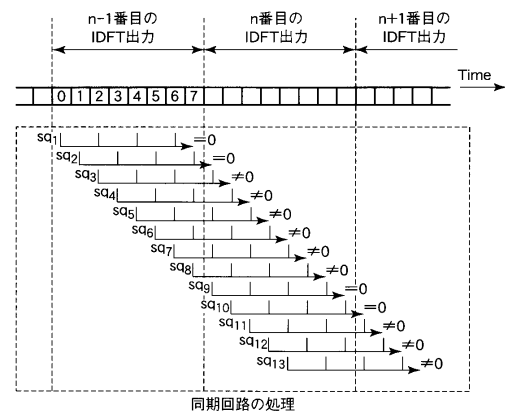
1 0 . . . マルチキャリア送信機、1 1 . . . 逆離散フーリエ変換器 ( I D F T )、1 2 . . . 送信部、1 3 . . . 変調回路、1 4 . . . 電力調整部、2 0 . . . マルチキャリア受信機、2 1 . . . 受信部、2 2、2 2 1 . . . 同期回路、2 3 . . . 離散フーリエ変換器 ( D F T )、3 0 . . . 伝送路、4 0、6 0 . . . 端末、4 1 . . . O F D M 受信機、4 2、7 2 . . . 下り伝送路推定器、4 3 . . . 送信機、5 0、7 0 . . . 基地局、5 1、7 1 . . . 受信機、5 2、7 3 O F D M 送信機

30

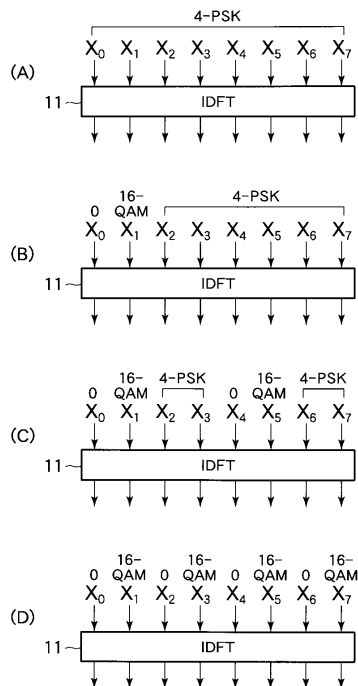
【図 1】



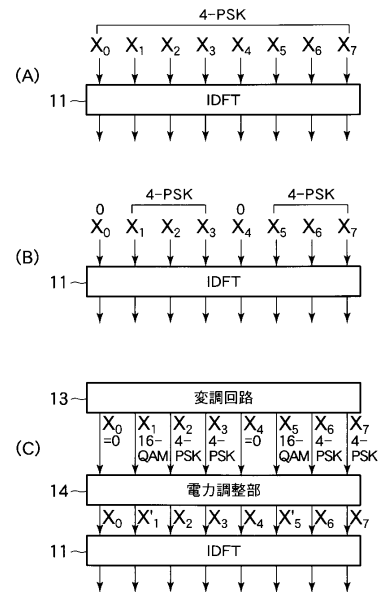
【図 2】



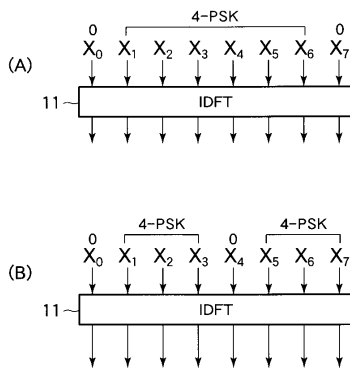
【図 3】



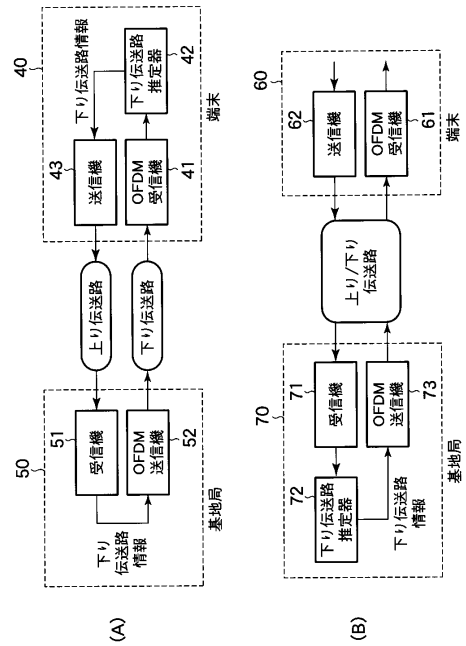
【図 4】



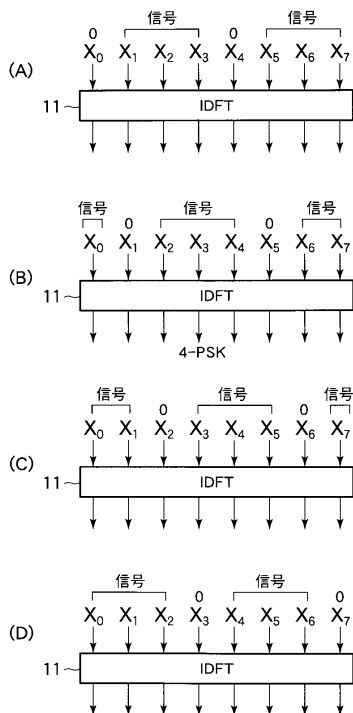
【図 5】



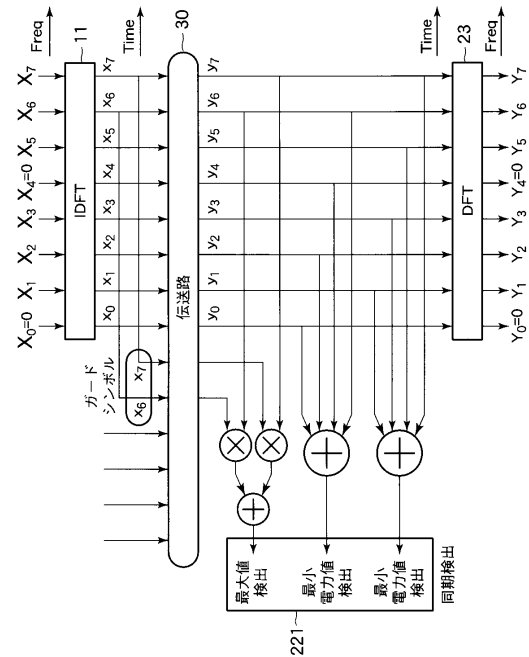
【図 6】



【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

(72)発明者 山嵜 彰一郎  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

審査官 高野 洋

(56)参考文献 特開2000-092009 (JP, A)  
特開平09-205411 (JP, A)  
特開平10-22973 (JP, A)  
特開平11-145929 (JP, A)  
特開平7-273733 (JP, A)  
特開2002-9734 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H04J 11/00