

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H04J 13/02

H04Q 7/20



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 02100428.5

[45] 授权公告日 2004 年 6 月 30 日

[11] 授权公告号 CN 1156110C

[22] 申请日 2002.1.30 [21] 申请号 02100428.5

[71] 专利权人 信息产业部电信传输研究所

地址 100045 北京市月坛南街 11 号

共同专利权人 东南大学

[72] 发明人 懂霄剑 高西奇 杨 馨 尤肖虎

蒋良成

审查员 张宗任

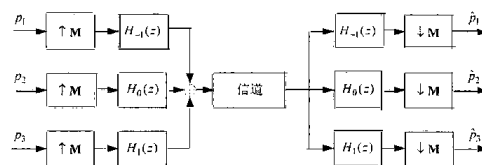
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称 基于多相分解的多载波 CDMA 系统
发送与零中频的接收方法与装置

大限度地节省了硬件资源，使系统的实现更加经济可靠。

[57] 摘要

本发明提出了一种基于调制型滤波器组的多载波 DS-CDMA 系统发送与零中频接收方法及其多相分解的简化实现方法，其基本思路是：在接收端，将多载波 DS-CDMA 接收信号从射频或高中频下变频至基带，以使多个载波的中间一个载波的中心频率为零频率，运用最低的采样频率进行采样，以调制型滤波器组替代多载波数字滤波器，在分离多个载波接收信号并重建原各个载波上的发送信号的同时，利用多相分解简化接收机的实现结构，降低接收机的硬件实现复杂度。在发送端，同样以调制型滤波器组替代多载波数字滤波器，在将各载波预携带的信息并行经过调制型发送滤波器组的同时，利用多相分解简化发射机的实现结构，然后同时上变频到高中频或射频，本发明主要考虑如何在多载波 DS-CDMA 系统中充分发挥数字处理的能力，最



1. 基于多相分解的多载波 CDMA 系统发送与零中频的接收方法，其特征在于：在接收端，首先将多载波 DS-CDMA 接收信号众射频或高中频下变频至基带，以使多个载波的中间的一个载波的中心频率为零频率，然后经过低通滤波器滤掉带外噪声；在发送端，以调制型滤波器组将各载波预携带的信息并行经过调制型发送滤波器组得到基带信号，然后上变频到高中频或射频。

2. 基于多相分解的多载波 CDMA 系统发送与零中频的接收装置，其特征在于：接收装置由 M 倍下采样器装置、滤波器装置、延时装置和矩阵运算装置组成，其中 M 倍下采样器装置输入经过 A/D 采样后的数据，并对每 M 个输入数据采样一次，得到一个数据输出给滤波器装置，滤波器装置对来自 M 倍下采样器装置的数据进行滤波，并输出给矩阵运算装置，完成矩阵运算；发送装置由 M 倍上采样器装置、滤波器装置、延时装置、加法器和矩阵运算装置组成，其中矩阵运算装置输入各载波预携带的信息，并完成矩阵运算，其运算结果送往 M 个滤波器装置，滤波器装置对来自矩阵运算装置的数据进行滤波，并将结果输出到 M 倍上采样器装置，M 倍上采样器装置输入经过滤波后的数据，对每一个输入数据采样一次并输出该数据，且在对下一个输入数据进行采样前再连续输出 M-1 个零，并分别经过对应的延时装置和加法器相加后输出。

基于多相分解的多载波 CDMA 系统

发送与零中频的接收方法与装置

（一）技术领域：

本发明属于 CDMA（码分多址）蜂窝通信系统领域，尤其涉及基于多相分解的多载波 CDMA 系统发送与零中频的接收方法与装置

（二）背景技术：

CDMA 蜂窝通信技术以其频率规划简单、系统容量大、抗多径能力强、通信质量好、电磁干扰小等特点显示出巨大的发展潜力，是包括第三代的未来移动通信的主流技术。其中，多载波 DS-CDMA（直接序列扩频码分多址）系统具有：支持高速数据传输，较高的频带利用率，可以进行有效的频率分集和时间分集以及有效地抑制干扰等的突出优势。

传统的多载波 DS-CDMA 接收机要采用与载波个数相等的高 Q 值的高频模拟匹配滤波器，以分开不同载频上传输的信号；再分别将各个载波上的射频信号下变频到基带；然后分别对各个载波的信号在低频进行采样。这样的接收机需要的射频模拟电路的套数与载波的个数相等；且采样率最低为信号带宽的 2 倍。本发明提出只用一套模拟接收电路将各个载波信号同时从射频或高中频（高中频是指所采用的中频频率远高于调制信号带宽）下变频至基带的零中频接收方法。这里的零中频是指下变频的结果是使得多个载波的中间一个载波的中心频率为零频率。零中频接收机具有以下优点：（1）不需要高 Q 值的高频匹配滤波器。但是在零中频接收机中仍然使用高频滤波器以降低对下变频动态范围的要求，并防止射频信号与本振的谐波分量的混频。（2）由于使用零中频接收，使低通滤波器很容易集成到芯片内部，且使用数字滤波器，充分发挥了数字处理的优势。（3）由于零中频信号为复信号，因此在后续的数字处理时，能够最大可能地降低对采样频率的要求，降低硬件实现的难度。（4）从软件无线电的角度来考虑，使用零中频接收机将使 A/D 采样后的数字处理部分及 RAKE 接收机可方便地设计成单片接收机，仅需一个射频处理装置和 A/D 转换器装置。

（三）发明内容：

本发明的目的是针对现有的多载波 DS-CDMA 系统发送与接收技术的不足，提出一种能够充分发挥数字处理能力、最大可能地降低硬件规模的实用的发送与接收技术，使得系统的实现更经济可靠。

本发明提出了一种基于调制型滤波器组的多载波 DS-CDMA 系统发送与零中频接收方法及其多相分解的简化实现方法，其技术方案是：在接收端，将多载波 DS-CDMA 接收信号从射频或高中频下变频至基带，以使多个载波的中间一个载波的中心频率为零频率，运用最低的采样频率进行采样，以调制型滤波器组替代多载波数字滤波器，在分离多个载波接收信号并重建原各个载波上的发送信号的同时，利用多相分解简化接收机的实现结构，降低接收机的硬件实现复杂度。在发送端，同样以调制型滤波器组替代多载波数字滤波器，在将各载波预携带的信息并行经过调制型发送滤波器组的同时，利用多相分解简化发射机的实现结构，然后同时上变频到高中频或射频。

现结合附图说明其实现装置：

多载波 DS-CDMA 系统的基于调制型滤波器组的发送和零中频的接收方法及其多相分解的简化实现包括以下步骤：在接收端，将多载波信号从射频或高中频直接下变频到基带；对基带多载波接收信号进行采样；采用数字滤波器形成调制型滤波器组结构。在发送端，用数字滤波器形成调制型发送滤波器组结构；将各载波预携带的信息并行经过调制型发送滤波器组，然后同时上变频到射频或高中频。对收发两端的调制型滤波器组采用多相分解的方法进行简化实现。具体分别进行描述。

1、基于调制型滤波器组的发送与零中频的接收方法

在接收端，首先将多载波 DS-CDMA 的接收信号从射频或高中频下变频至基带，使得多个载波中的中间一个载波的中心频率处于零频率位置，再经过低通滤波器滤掉带外噪声。

以 cdma2000 系统三载波配置 cdma2000-3x 为例，具体说明零中频接收实现方法。图 1(a)为接收端三载波信号的频谱示意图。三个载波的中心频率分别为

f_1 、 f_2 、 f_3 ，它们满足

$$f_1 + f_\Delta = f_2 = f_3 - f_\Delta \quad [\text{公式 1}]$$

其中 $f_\Delta = 1.23\text{MHz}$ 。经过下变频处理和低通滤波后，得到如图 1(b) 所示的三载波基带信号频谱，其第二载波信号的中心频率为零。

对图 1(b) 所示的三载波的零中频基带信号进行 A/D 采样，并将采样后的信号送入与载波个数相等的复系数数字滤波器进行处理，以分离不同载波所携带的信号，所得到的接收机称作为基于调制型滤波器组的多载波接收机结构。

在发送端，将各载波预携带的信息先并行经过由与载波个数相等的复系数数字滤波器组成的调制型发送滤波器组，得到具有如图 1(b) 所示的频谱的基带信号；然后再同时上变频到射频或高中频。上变频后的信号具有如图 1(a) 所示的频谱。这样所得到的发射机称作为基于调制型滤波器组的多载波发射机结构。

以 cdma2000 系统三载波配置为例，基于调制型滤波器组的发射机与零中频接收机的结构如图 2 所示。如果信道没有畸变，则采用此结构可以在接收端精确地重建原各个载波上的发送信号。

图 2 中 p_1 、 p_2 、 p_3 分别表示各载波上的发送信息， $\hat{p}_1$ 、 $\hat{p}_2$ 、 $\hat{p}_3$ 分别表示在接收机中重建的各载波上的信息。 $\uparrow M$ 表示 M 倍上采样， $\downarrow M$ 表示 M 倍下采样。在 cdma2000 系统三载波配置中， $M=4$ ； $H_k(z)$ ， $k=-1, 0, 1$ 分别对应第一、二、三载波信号所需的数字滤波器； $H_0(z)$ 为低通原型数字滤波器，其冲激响应系数为 $h(n)$ 。各滤波器的冲激响应系数分别为：

$$h_k(n) = h(n) e^{j\frac{\pi}{2}kn} = h(n) W_4^{kn}, \quad k=-1, 0, 1 \quad [\text{公式 3}]$$

$$\text{其中 } W_M = e^{j\frac{2\pi}{M}}.$$

2、接收端调制型滤波器组的简化实现

设 [公式 3] 中给出的低通原型数字滤波器冲激响应 $h(n)$ 的阶数为 L (对于

cdma2000 系统中的三载波配置，其发送端的低通原型数字滤波器阶数 L 取值为 48。), 其多相分解为:

$$H(z) = \sum_{n=0}^{L-1} h(n)z^{-n} = \sum_{q=0}^3 G_q(z^4)z^{-q} \quad [\text{公式 4}]$$

其中，低通原型滤波器 $H(z)$ 的第 q 个多相元素为:

$$G_q(z) = \sum_{p=0}^{L/4-1} h(4p+q)z^{-p} \quad [\text{公式 5}]$$

则各滤波器的多相分解为:

$$H_k(z) = \sum_{q=0}^3 G_q(z^4)W_4^{kq}z^{-q}, \quad k = -1, 0, 1 \quad [\text{公式 6}]$$

将上式表示成两个矩阵相乘的形式:

$$\begin{bmatrix} H_{-1}(z) \\ H_0(z) \\ H_1(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_4^0 & W_4^{-1} & W_4^{-2} & W_4^{-3} \\ W_4^0 & W_4^0 & W_4^0 & W_4^0 \\ W_4^0 & W_4^1 & W_4^2 & W_4^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_0(z^4) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & G_1(z^4)z^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G_2(z^4)z^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_3(z^4)z^{-3} \end{bmatrix} \quad [\text{公式 7}]$$

由此得到多载波 DS-CDMA 系统接收滤波器组的多相分解的简化实现结构, 如图 3 所示。

图 3 中的矩阵 T 为:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} W_4^0 & W_4^{-1} & W_4^{-2} & W_4^{-3} \\ W_4^0 & W_4^0 & W_4^0 & W_4^0 \\ W_4^0 & W_4^1 & W_4^2 & W_4^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -j & -1 & j \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \end{bmatrix} \quad [\text{公式 8}]$$

3、发送端调制型滤波器组的简化实现

同理, 由图 2 和 [公式 7] 可以得到多载波 DS-CDMA 系统发送滤波器组的多相分解的简化实现结构, 如图 4 所示。图 4 中的矩阵 $\mathbf{T}^H$ 表示矩阵 $\mathbf{T}$ 的共轭转置, 具体取值如下:

$$\mathbf{T}^H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ j & 1 & -j \\ -1 & 1 & -1 \\ -j & 1 & +j \end{bmatrix} \quad [\text{公式 9}]$$

4. 计算复杂性之比较

以 cdma2000 系统三载波配置为例说明本发明在降低实现复杂度方面的优越特性。以每个输入采样处理所需的乘法累加次数作为实现复杂度的衡量标准。

以对于三载波接收机，若采用如图 2 所示的结构加以实现，则对于每个输入采样所需的乘法累加次数为 $3L$ 。若采用如图 4 所示的多相分解简化接收结构，则由于所有的滤波运算仅需在 $1/M$ 倍采样速率上进行，且 M 个滤波器为低通原型滤波器的多相元素，其总长度为 L 。考虑到如[公式 8]所示的运算矩阵 T 无需乘法运算，因而对于每个采样输入信号，图 4 所示的多相分解接收结构所需的乘法累加次数为： L 次乘法累加运算与 12 次加法运算。由此可知，基于多相分解的接收机结构可以使实现复杂度在图 2 所示的接收结构的基础上降低约 $3M=12$ 倍。

对于发送端可以得到类似的结果。采用多相分解的发送装置其实现复杂度较图 2 所示的直接实现方式可降低约 $3M=12$ 倍。

本发明有益效果：本发明针对多载波 DS-CDMA 系统，提出一种能够充分发挥数字处理能力、最大限度地节省了硬件资源的发送与接收方法。其基本特点是在发送端和接收端采用调制型滤波器组的数字处理技术，无需多个平行的模拟处理器件，从而使系统的实现更加经济可靠。采用多相分解对发送端和接收端所需的多个滤波器进行分解与简化，降低了实现复杂度。本发明可用于包括 cdma2000-3x 在内的任何多载波移动通信系统。

（四）附图说明：

图 1(a) 为三载波信号的射频（或高中频）频谱示意图，(b) 为三载波基带信号频谱示意图；

图 2 为三载波的发送及接收的调制型滤波器组的结构示意图；

图 3 为多载波 DS-CDMA 系统接收滤波器组的多相分解的简化实现结构；

图 4 为多载波 DS-CDMA 系统发送滤波器组的多相分解的简化实现结构;

图 5 为基于多相分解的多载波 DS-CDMA 系统接收装置框图;

图 6 为基于多相分解的多载波 DS-CDMA 系统发送装置框图;

图 7 基于多相分解的多载波 DS-CDMA 系统发送装置实施示例

图 8 基于多相分解的多载波 DS-CDMA 系统零中频接收装置实施示例。

(五) 具体实施方式:

下面结合附图和实施例进一步说明本发明的实施装置

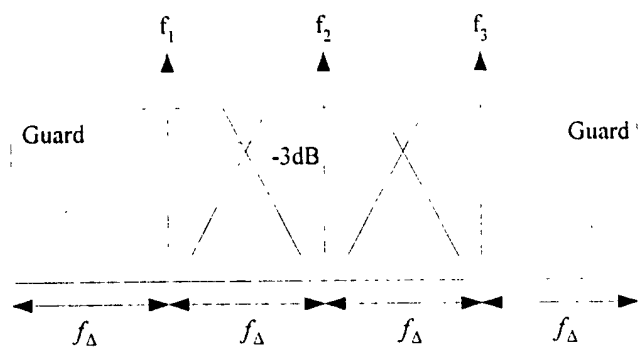
下采样装置 (装置 1), 对每 M 个输入数据采样一次, 得到一个数据输出。
上采样装置 (装置 2), 对每一个输入数据采样一次并输出该数据, 且在对下一个输入数据进行采样之前再连续输出 $M-1$ 个零。滤波器装置 (装置 3), 是一个 FIR 型滤波器, 其冲激响应系数与系统的原型滤波器 $h(n)$ 之间的依赖关系如 [公式 5] 所示。矩阵运算装置 (装置 4/装置 5), 完成如 [公式 7] 所示的两个矩阵的相乘运算。

图 5 基于多相分解的多载波 CDMA 系统的接收装置框图, 它由 M 倍下采样器装置 (装置 1)、滤波器装置 (装置 3)、延时装置和矩阵运算装置 (装置 4) 共四种处理装置组成。对于 M 倍下采样器装置 (装置 1), 它的输入是经过 A/D 采样后的数据, 并对每 M 个输入数据采样一次, 得到一个数据输出。对于滤波器装置 (装置 3), 它对来自 M 倍下采样器装置的数据进行滤波, 完成如 [公式 5] 所示的 FIR 滤波。对于矩阵运算装置 (装置 4), 它的输入来自 M 个滤波器装置的滤波输出, 并完成如 [公式 7] 所示的矩阵运算。对于 cdma2000-3x 系统, 其运算矩阵 T 如 [公式 8] 所示。

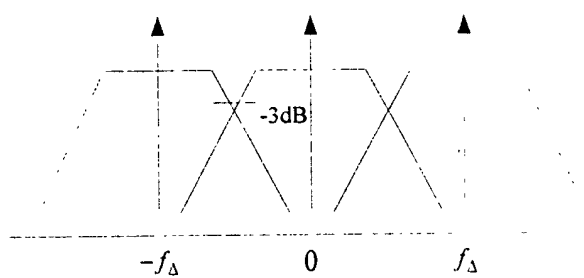
图 6 基于多相分解的多载波 CDMA 系统的发送装置框图, 它由 M 倍上采样器装置 (装置 2)、滤波器装置 (装置 3)、延时装置、加法器和矩阵运算装置 (装置 5) 共五种处理装置组成。对于矩阵运算装置 (装置 5), 它的输入为各载波预携带的信息, 并完成如 [公式 7] 所示的矩阵运算, 对于 cdma2000-3x 系统, 其运算矩阵为如 [公式 9] 所示的 T^H , 运算结果对应送往 M 个滤波器装置。对于滤波器装置 (装置 3), 它对来自矩阵运算装置 (装置 5) 的数据进行滤波, 完成如 [公式 5] 所示的 FIR 滤波, 并将结果输出到 M 倍上采样器装置 (装置 2)。对于 M 倍上采样器装置 (装置 2), 其输入是经过滤波后的数据, 它对每一个输入数据采

样一次并输出该数据，且在对下一个输入数据进行采样前再连续输出 $M-1$ 个零。
 M 个上采样器装置的输出分别经过如图 6 所示的对应的延时及相加后输出。

图 7 和图 8 分别为基于多相分解的多载波 DS-CDMA 系统的发送与零中频接收装置在 cdma2000-3x 系统中实施的示意图。图 7 所示出的发送装置的实施示例包括调制型滤波器组多相分解的发送装置、D/A 转换装置和射频处理装置。其中射频处理装置完成对调制型滤波器组多相分解的发送装置输出信号的上变频处理，即把基带 D/A 输出信号调制至高中频或射频。图 8 所示出的接收装置的实施示例包括射频前端装置、A/D 采样装置、调制型滤波器组多相分解实现装置和多径 RAKE 接收装置。其中射频前端装置完成对接收的射频或高中频多载波信号的下变频处理，使中间载波的中心频率为零频率，并对下变频处理后的基带信号进行低通滤波。A/D 采样装置完成对基带多载波信号的采样输出，其采样频率为 $4 \times 1.2288 \text{ Msps}$ ，采样输出以串行方式送往调制型滤波器组多相分解的实现装置。RAKE 接收机完成对单个载波信号的多径合并接收。



(a).



(b).

图 1

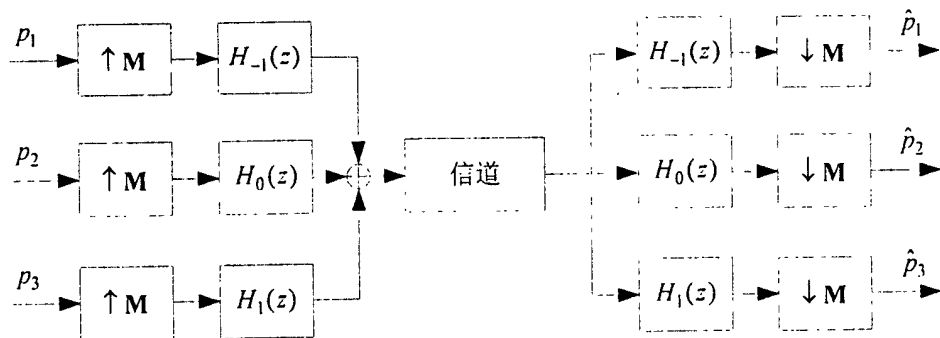


图 2

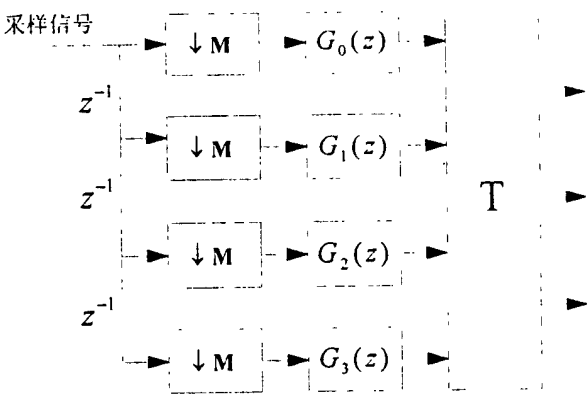


图 3

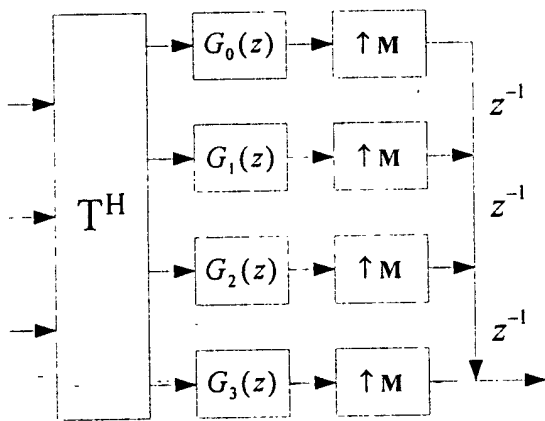


图 4

