

多载波通信中基于 CAZAC 序列的小区搜索结构及其搜索方法

技术领域

本发明属于无线通信技术领域，特别涉及空中信号传输技术。

背景技术

在无线通信系统中，由于正交频分复用（OFDM）具有矩形频谱，以及采用快速傅立叶变换（FFT）而带来的系统低集成度，它能够在较高频谱效率下有效提高下行链路的系统容量，覆盖范围以及数据传输速度。OFDM 作为一种宽带数据通信技术，已经被广泛应用于各类无线射频环境中，例如高速数字用户回路（HDSLs），非对称数字用户环路（ADSLs），以及数字广播。OFDM 将完整的频带分为许多并行的子载波，用来发射并行的数据流。由于插入保护时隙，符号发送时间相对延长，但能有效降低符号间的干扰（ISI）。

在 OFDMA 系统下行链路中，小区搜索具有重要的地位，因为它是用户接入通信网络的初始步骤。有效足够的小区信息是无线通信的基础。OFDM 系统传统的小区搜索方法分为以下三个步骤：1) 帧/片定时和频率同步。一般是采用公共的小区同步训练序列经过传统的同步方法实现；2) 小区辨别。各小区都有唯一标识的小区识别号，接收端通过检测不同的小区识别序列判断小区号；3) 小区其他信息（如系统带宽，天线配置等）的捕获。这些信息的正确解调是依赖于步骤 1) 和 2) 的实现才能完成。对于小区的识别，它是小区搜索的关键。因为小区的很多信息都是依赖于小区的正确识别的。最为传统且常用的小区识别方法是相关检测法，由于它需要对估计到的序列和所有的小区特定序列进行互相关计算。一旦小区数目增大，实现复杂度就变得越来越大。为了降低小区搜索的实现复杂度，摩托罗拉（Motorola）提出了一个基于恒定幅度零自相关（CAZAC）序列的小区搜索方案，它利用差分算法和 DFT/IDFT 来代替小区检测中的大量互相关操作，因此小区搜索的计算复杂度便大大降低了。然而，在 Motorola 的方案中，不同小区/扇区之间的干扰没有仔细考虑。在多小区环境下，特别是当用户在小区边缘，该方案下的小区干扰会变得非常严重，从而不可避免地恶化了系统性能。

OFDM 符号的小区搜索结构由 CAZAC 序列构成。CAZAC 序列表示如下：

$$C_{u_i}(k) = \begin{cases} \exp(-j2\pi k^2 u_i / (2N_u)), & N_u \text{ 为偶数} \\ \exp(-j2\pi k(k+1)u_i / (2N_u)) & N_u \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (1)$$
$$k = 0, 1, 2, \dots, N_u - 1 ; \quad u_i = 0, 1, 2, \dots, N_u - 1$$



其中 k 是某一个特定 CAZAC 序列中的序号, u 用来生成特定的 CAZAC 序列, N_u 表示 CAZAC 序列的长度。

蜂窝通信中的小区结构如图 1 所示。一般小区的基站会通过天线发射角度的不同将小区分为 3 个扇区。Motorola 建议在小区内的所有扇区共享相同的子载波。如图 2 所示。

其中, 频域的数据子载波间隔排列是为了产生时域的周期性, 以及降低载波间干扰(ICI)。然而, 当几个邻近的小区同时发送小区搜索符号, 此方案带来的干扰迅速增大。当用户到达邻接三个小区的边缘时, 例如图 1 中的用户 A, 情况变得更为严重, 此时, 即使是在高信噪比下, 来自小区间的干扰依然很大。

Motorola 小区搜索序列的检测性能如图 3 所示。在没有噪声和多径信道的影响下, 三个小区 u_1 , u_2 和 u_3 各自的检测峰值受到其他两个小区的干扰很大, 几乎会导致检测错误。此时, 如果系统在多径环境下, 由于信道衰减的作用, 情况变得更为严重。

发明内容

为降低小区间的干扰, 本发明在 Motorola 方案的基础上, 提出一种多载波通信中基于 CAZAC 序列的小区搜索结构及其搜索方法。

为达上述目的, 本发明采用如下技术方案:

一种多载波通信中基于 CAZAC 序列的小区搜索结构, 相邻三个小区邻接的三个扇区中至少有两个扇区在频域上互相正交。

作为本发明技术方案的一种改进, 所述相邻三个小区邻接的三个扇区在频域上互相正交。

作为本发明的一种优选方式, 所述扇区的频谱分配为分布式分配。这里有两种不同的扇区频谱分配方案: 分布式分配和集中式分配。所谓分布式分配就是所分别的子载波是不连续的, 等间隔分布在整個频带内; 而集中式分配是指所分配的子载波是连续占用部分频带。由于前者能有效的抗多径衰减, 且对分数倍的载波频偏更为鲁棒; 而后者对整数频偏更为鲁棒。由于小区搜索第一步的初始获取中整数频偏已经得到了纠正, 在本发明的小区搜索方案中分布式频谱分配显然更为合适。

一种多载波通信中基于 CAZAC 序列的小区搜索方法, 采用上述任一小区搜索结构, 包括以下步骤:

- 1) 取三个不同扇区的子载波簇;
- 2) 对 1) 中各子载波序列进行差分计算;



3) 检测 2) 中差分计算后的结果。

作为本发明方法的一种优选方式,所述步骤 3) 中的检测方法为联合检测,具体包括以下步骤:

- (1) 将步骤 3) 中三个不同扇区子载波的差分计算结果相加;
- (2) 将差分后的序列从频域转换到时域。

作为本发明方法的又一优选方式,所述步骤 3) 中的检测方法为独立检测,具体包括以下步骤:经过差分的三个扇区的序列通过三个独立的 N_u 点 IDFT 从频域转换到时域,将输出的三组独立的时域序列分别检测它们的峰值,实现小区搜索。

作为本发明方法的再一优选方式,在所述联合检测前首先进行判断,只要其中一个扇区接收的序列信号能量远低于其中另一个扇区接收的序列信号能量,就将该扇区的接收序列舍弃。

作为本发明方法的再一优选方式,当搜索的小区序号很大时,采用分级搜索的检测搜索的方法。

作为本发明方法的再一优选方式,当搜索的小区序号很大时,采用较长的 CAZAC 序列,分段在多个固定带宽的同步符号中传输。

本发明采用不同的扇区使用不同的子载波簇的技术方案。尤其是在三个邻近小区的中心,此方案的性能超越了三个扇区分配相同的子载波簇的方法。不但有效的增强了多小区环境下的小区搜索能力,而且在原有 Motorola 方案的基础上又可进一步的降低了实现复杂度。

基于 CAZAC 序列的优化小区搜索方案可以在无线宽带通信和移动通信领域获得广泛应用,尤其是在第四代移动通信领域中将有广阔的发展前景。优化方案主要应用于用户初始接入时的小区识别及小区切换时的小区检测。和其它小区搜索方法相比较,扇区间小区同步符号的频率正交性结构设计有效抑制了在小区边缘处的区间干扰,提高了小区检测的性能;基于简单的差分处理和 IDFT/DFT 算法的小区识别降低了系统所需的计算复杂度。使得它在通信系统的空中接口接入端的应用具有无可比拟的优势。

以下结合附图及实施例进一步说明本发明。

附图说明

图 1 为蜂窝通信中的小区结构;

图 2 为现有 Motorola 方案中的频域子载波分配方案;



图 3 为现有 Motorola 小区搜索方案检测峰值;

图 4 为本发明提出的小区搜索频谱分配方案;

图 5 为本发明优化小区搜索结构得到的检测峰值;

图 6 为本发明实施例情形 1 小区边缘中的小区搜索成功概率对比图;

图 7 为本发明实施例情形 2 中小区搜索成功概率对比图;

图 8 为本发明实施例性能检测中邻近小区搜索成功概率对比图。

具体实施方式

一种多载波通信中基于 CAZAC 序列的小区搜索结构,其相邻三个小区邻接的三个扇区在频域上互相正交。其小区搜索频谱分配方案如图 4 所示。

根据图 4 的方案,三个不同扇区,即图 1 中的扇区 1、扇区 2、扇区 3,其搜索序列频谱结构分别表示如下:

$$\begin{aligned} S_{u,1} &= 0,0,\dots,C_u(0),0,0,C_u(1),\dots,C_u(N_u-1),0,0,\dots,0,0 \\ S_{u,2} &= 0,0,\dots,0,C_u(0),0,0,C_u(1),\dots,C_u(N_u-1),0,\dots,0,0 \\ S_{u,3} &= 0,0,\dots,0,0,C_u(0),0,0,C_u(1),\dots,C_u(N_u-1),\dots,0,0 \end{aligned} \quad (2)$$

其中,两边的 0 是作为保护边带用的。注意到在第 u 个小区内,所有扇区采用同样的 CAZAC 序列 C_u ,但占据不同的子载波簇。根据图 1 和图 3 所示的蜂窝和小区结构。相邻三个小区邻接的三个扇区在频域上互相正交,因此也就不存在干扰了。发送的时候,三个扇区将不同频域结构的小区搜索序列通过 N 点 IFFT 从频域转换到时域,然后再发射。

小区搜索时,经过时间和频率同步之后,移动终端将接收到的小区搜索序列通过 N 点 FFT 从时域转换到频域。由于在发射时相邻扇区频谱的正交性,属于不同扇区的三组长度为 N_u 的子载波簇能被独立地提取出来。将这些序列进行差分计算,若假设 N_u 是奇数,则经过差分之后的序列为:

$$D_s(k) = C_{u_s}(k) \cdot C_{u_s}^*(k-1) = e^{\frac{-j2\pi k u_s}{N_u}}, k \in [0, N_u - 1], s = 1, 2, 3 \quad (3)$$

其中 s 表示相邻的三个不同扇区, u_s 是第 s 个扇区隶属的小区标示号。

本实施例中小区的搜索方法可以分为两种:联合检测和独立检测。

一、联合检测

在联合检测中,频域三个差分输出的序列首先相加:



$$D(k) = \sum_{s=1}^3 D_s(k) = e^{\frac{-j2\pi ku_1}{N_u}} + e^{\frac{-j2\pi ku_2}{N_u}} + e^{\frac{-j2\pi ku_3}{N_u}}, k \in [0, N_u - 1] \quad (4)$$

利用 N_u 点 IDFT 将差分后长度为 N_u 的序列 D 从频域转换到时域 $\rho_s(i)$:

$$\rho(i) = \frac{1}{\sqrt{N_u}} IDFT\{D(k)\} = (\delta(i-u_1) + \delta(i-u_2) + \delta(i-u_3)) \quad (5)$$

其中 i 是 $D(k)$ 序列经过 IDFT 变换后的时域序号。

如图 5 所示, 时域就会出现一些脉冲相应, 分别对应不同的小区标识号。将图 5 和图 3 相比, 由于各个频谱分配的正交性, 此方案抑制了扇区间干扰。

从图 5 中可以看到时域序列 $\rho_s(i)$ 的各个峰值点对应不同的小区标识号 u_s 。此方法的优势在于它利用一个 N_u 点 IDFT 取代了大量的相关器, 从而有效降低了计算复杂度。劣势主要是在小区内部时, 如果 3 个不同的扇区序列直接相加后会对目标扇区的检测引入检测干扰。从而会导致小区检测性能的下降。为了提高小区内部的联合检测性能, 可以在联合检测前首先进行判断, 只要其中一个扇区接收的序列信号能量远低于其中另一个扇区接收的序列信号能量, 就将该扇区的接收序列舍弃, 以免对检测带来噪声干扰。

二、独立检测

在独立检测中, 经过差分的三个扇区的序列通过三个独立的 N_u 点 IDFT 从频域转换到时域:

$$\rho_s(i) = \frac{1}{\sqrt{N_u}} IDFT\{D_s(k)\} = (\delta(i-u_s)), k \in [0, N_u - 1], s = 1, 2, 3 \quad (6)$$

将输出的三组独立的时域序列分别检测它们的峰值, 可以实现小区搜索。由于这种检测方法是基于独立扇区的, 因此扇区间的干扰就得到了有效控制。此外, 采用独立检测不但能够提高小区检测的性能, 还能同时捕获扇区的序号 (如果接收端频率捕获正确的话)。当然, 此算法的缺点在于它的计算复杂度上升了如果 IDFT 采用 N 点的 IFFT 来代替实现的话 (N 可取最接近 N_u 且比 N_u 大的整数, 但必须是 2 的幂次), 检测需要 $3 \cdot \frac{N}{2} \cdot \log_2^N$ 次复数相乘和 $3 \cdot N \cdot \log_2^N$ 次复数相加, 几乎是联合检测的 3 倍。

此外, 本发明的方案和 Motorola 的方案相比, 由于优化的搜索结构使用了较小的 N_u , 联合检测的计算复杂度比后者略低些, 而独立检测的计算复杂度会略高于后者。



本发明在实现时首先需要解决载波频率和符号定时同步，这是本发明正常工作的前提。一般小区中都会采用公共的同步参考符号，比如主同步信道（P-SCH）来完成小区的起始同步捕获。此外，考虑到基站一般是采用多天线发射，所以小区搜索也可以利用基站的多发射天线机制来进一步增强性能，比如采用 TSTD（时空发射分集）或者包含 CDD（循环延时发射分集）的技术。由于各扇区中分布式分配的频谱占用了部分频谱资源，所以当频谱资源较少时，此优化结构在一定程度上是限制了频域正交性的导频在 MIMO 系统中的应用。此外，当搜索的小区序号很大时，需要采用分级搜索的检测搜索的方法或采用较长的 CAZAC 序列，分段在多个固定带宽的同步符号中传输。例如，当 CAZAC 序列长度加长一倍时，将产生的长 CAZAC 序列截成两半后，分别映射到两个 OFDM 符号中传输。在接收端只要按同样的方法在扇区子载波簇中提取序列，并将两个 OFDM 符号中相应扇区内提取的序列组合后就够成了完整的长 CAZAC 序列，这样之后的序列检测就可以按前述的方法了。

本发明可根据发射机 IFFT 变换后时域数据块复用数量的不同，衍生出多种的实现结构，除了数据块复用数量为 1 这种情况以外（就是没有复用操作，特指 OFDM 情况），其余都属于本发明方案的具体实现结构和表现形式，均落在本发明的保护范围之内。

本发明还可根据发射机 IFFT 变换大小的不同，衍生出多种的实现结构，除了 IFFT 变换大小为 1 这种情况以外（就是没有 IFFT 变换，特指 SC/FDE 情况），其余都属于本发明方案的具体实现结构和表现形式，均落在本发明的保护范围之内。

以下以一设定了具体的仿真参数的 Motorola 方案和本发明优化实施例，在小区边缘和小区内部进行联合和独立两种检测，进行仿真比较。以进一步说明本发明的有益效果。

仿真参数设定如下：

表 I 仿真参数

带宽	1.25MHz
FFT 长度	128
数据子载波数目	76
信道	AWGN, TU6
邻近小区数目	3
小区标识号 u	随机产生 ($1 \sim Nu$)
定时偏差	0
频率偏差	0



N_u	MOTOROLA 方案: 37. 频域的 CAZAC 序列间隔排放
	优化方案: 23. 一个小区中的三个扇区占据不同的子载波簇, 分配相同的 CAZAC 序列

情形 1:

用户终端在三个小区的边缘, 如图 1 中的点 A 所示, 用户接收到的来自三个基站的小区搜索信号功率相同。

小区边缘中的小区搜索成功概率的仿真结果如图 6 所示。图 6 所示的是在 AWGN 和 TU6 信道中比较的三种不同的方案。其中“1-IFFT”和“3-IFFT”分别表示优化方案中的联合检测和独立检测算法。从图中可以看到由于降低了来自不同小区不同扇区之间的干扰, 优化方案的两种算法性能都优越于 Motorola 的方案。其中在低信噪比时 ($<0\text{dB}$), 采用独立检测的优化方案比 Motorola 方案在高斯信道和 30 公里/小时移动环境下的 TU 信道中都要好 3dB 左右, 而采用联合检测的优化方案比 Motorola 方案在高斯信道下好 1.5dB 左右, 在 30 公里/小时移动环境下的 TU 信道中都要好 1dB 左右。独立检测由于在差分计算中抑制了扇区间的干扰, 因此性能要比联合检测算法来得好, 尤其在多径衰落的信道下。

情形 2:

用户终端在某一个小区内部, 受到其他俩小区干扰, 如图 1 中的点 B 所示。在此情形中, 用户接收到其所在小区基站发送的搜索符号的功率比干扰小区发送信号的功率高 10dB。

图 7 显示了用户在小区内部时的小区检测性能。由图可见, 在低信噪比时 ($<0\text{dB}$), 采用独立检测的优化方案比 Motorola 的方案在高斯信道下好 1.5dB 左右, 在 30 公里/小时移动环境下的 TU 信道中都要好 1dB 左右。该增益主要来自由于优化方案的小区搜索序列缩短而带来的导频发射功率的增强。采用联合检测的优化方案比 Motorola 的方案在高斯信道和 30 公里/小时移动环境时的 TU 信道下也要好 0.25dB。

邻近小区的检测性能

在优化的方案中, 由于采用了频域正交的序列, 所以邻近小区的干扰得到了有效的抑制。同时当用户处于小区边缘时, 还可以同时检测多个相邻小区。这非常有利于小区间的切换和小区宏分集技术的应用。从图 8 的仿真结果可见, 无论是在高斯信道下, 还是在 30 公里/小时移动环境下的 TU 信道中, 优化方案的性能明显的优于 Motorola 的方案。



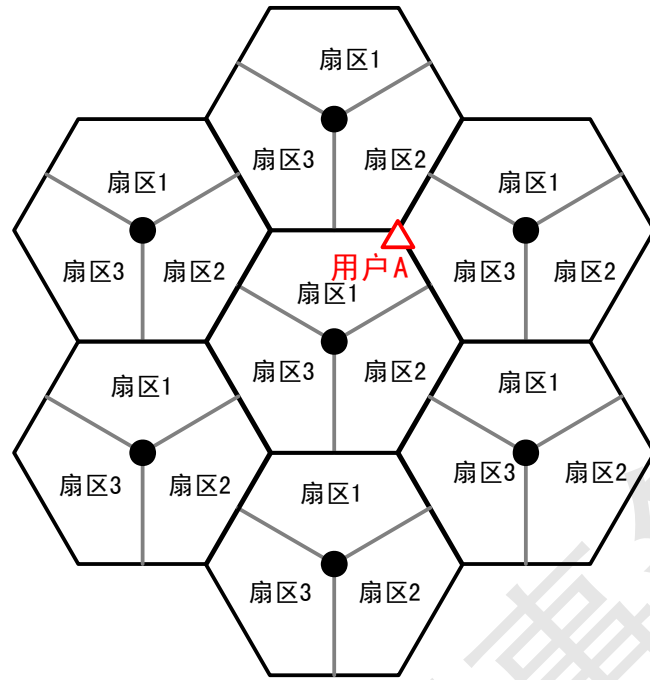


图 1

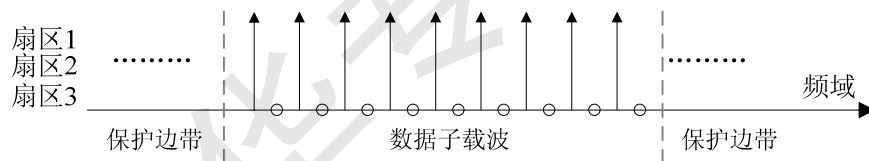


图 2

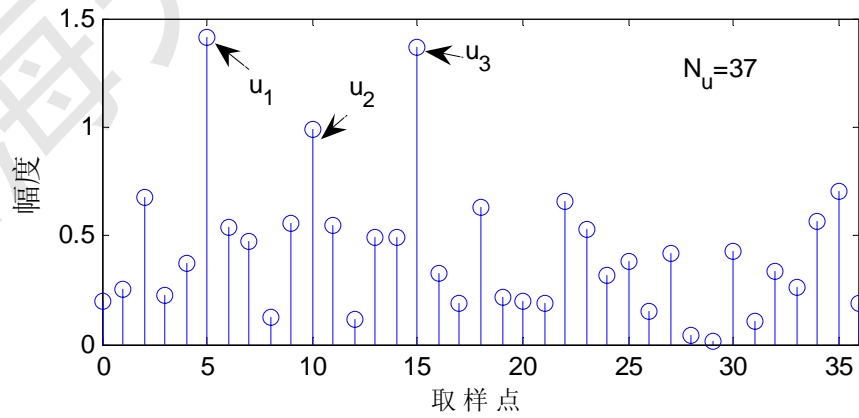


图 3



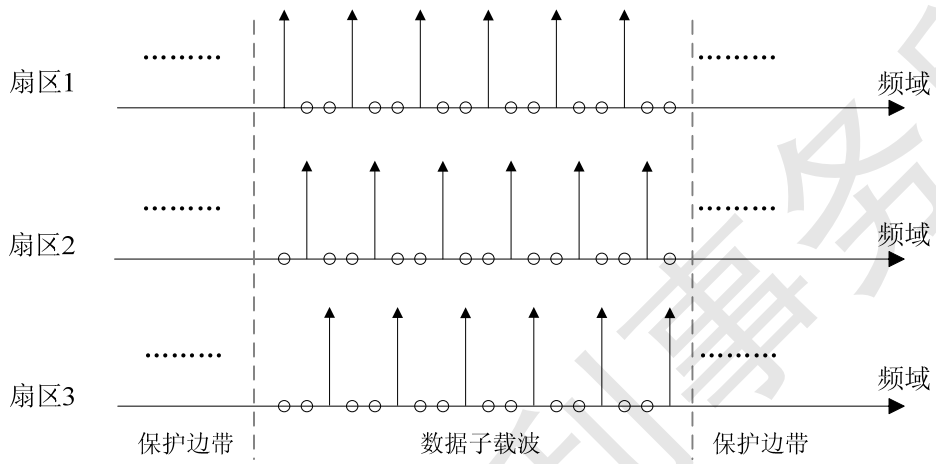


图 4

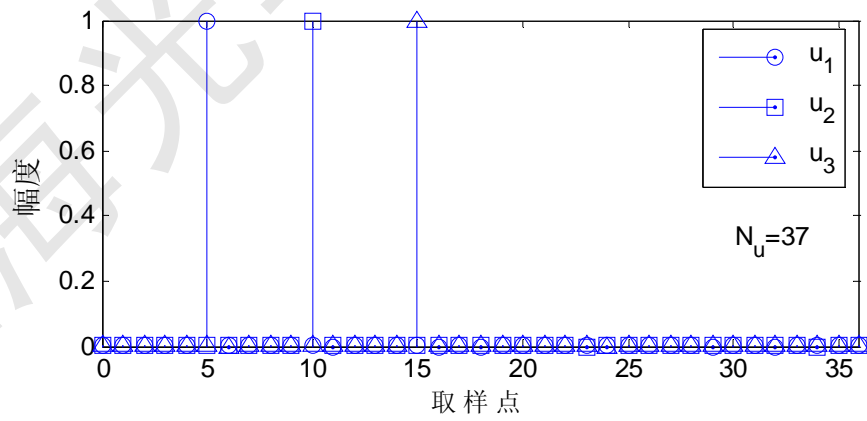


图 5



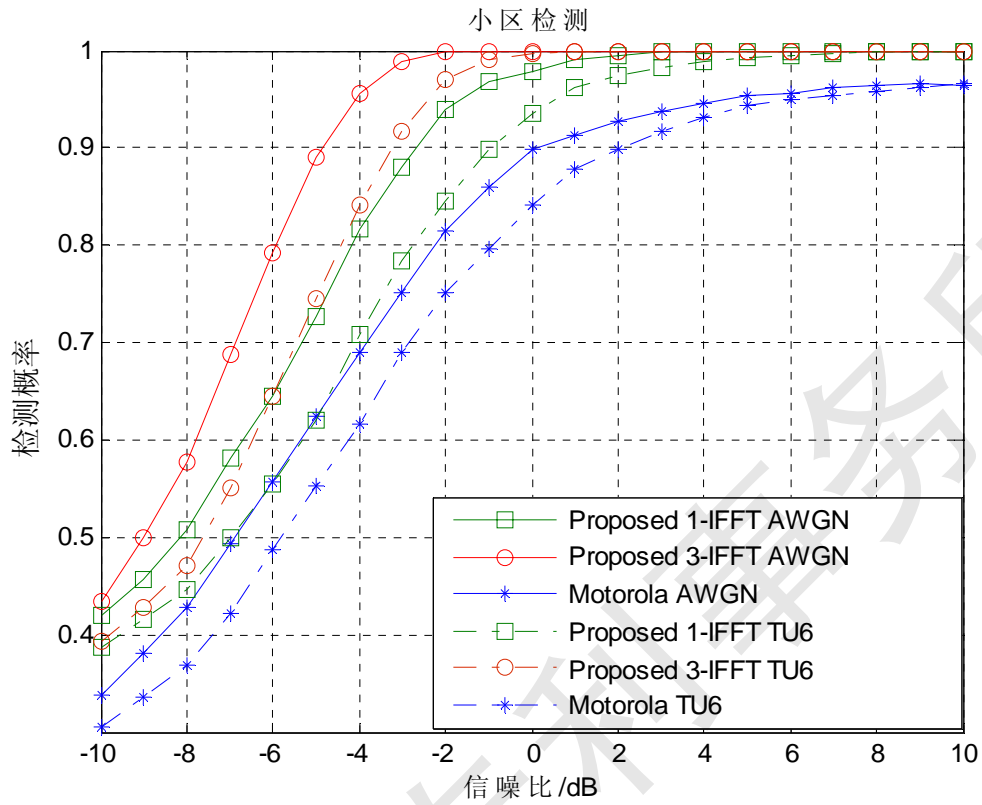


图 6

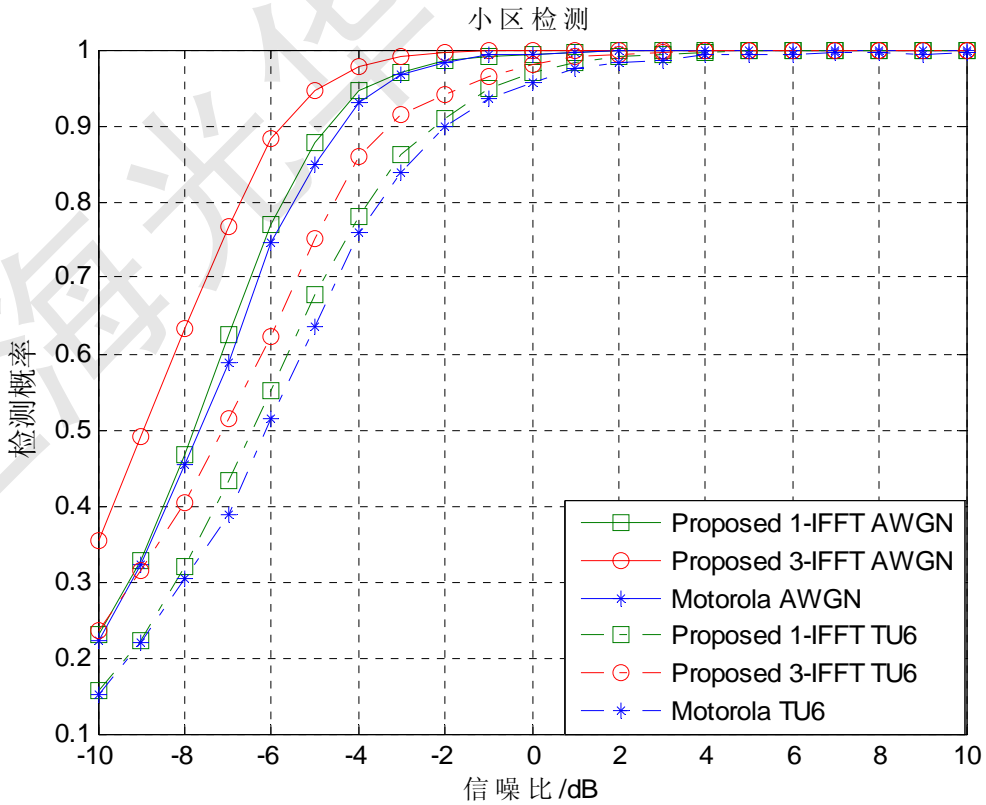


图 7

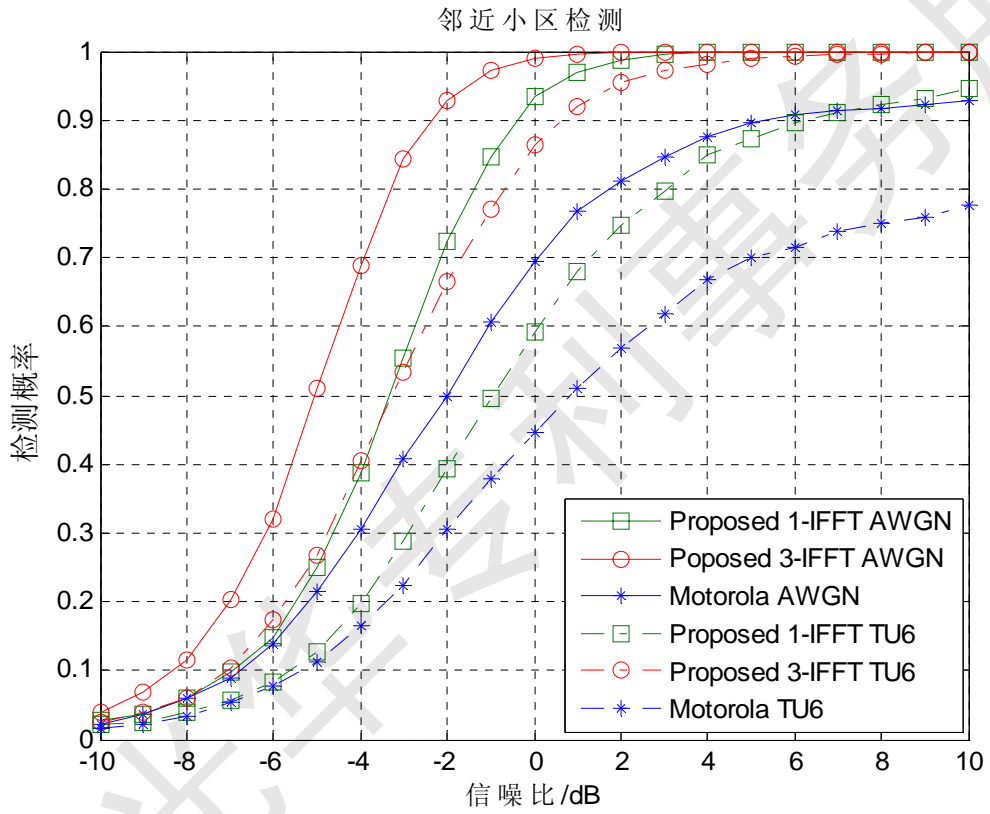


图 8



一、电子领域技术资料准备的说明

技术/产品创新主要基于产品、设备的构造或生产工艺、控制方法的改进，则申请时应考虑提供：

- 1、已有技术/产品的不足：即说明与本专利的内容最相似的技术/产品，需要说明已有电路、产品/设备的主要结构、原理、实用效果，或已有控制方法的步骤、原理、效果，尤其指出与本专利相比，原有技术存在的缺点或不足之处。如有引用文献，需要说明出处；如有参考产品，指出其型号、厂家。对原有技术或电路的介绍尽可能详细，可附结构原理图、电路图或流程图。
- 2、本专利的内容：应说明本专利达到目的或解决问题的技术手段。包括产品、电路的组成、结构，尤其说明各组成部分之间的相互关系，例如连接关系、被作用的工作电流或信号的走向。对于方法，应当说明本方法的主要思路、步骤。写明本专利的工作原理，本专利与现有技术的区别点。
- 3、本专利的效果：有益效果可以由工作性能的提高，制作成本、能量损耗的减少，产率和精度的提高，稳定性的增加，操作、控制、使用的简便，以及其他有用性能的出现等方面反映出来。
- 4、附图与说明：产品构造或装置或设备的图解，图应以电子制图或流程图的标准绘制，而非扫描图。使专利工作人员可直接在附图上编辑修改，实用新型申请必须带附图。
- 5、本专利的具体实施例：对照附图，说明本专利的具体实施方式，必须有详细的工作机理，包括附图中各具体器件功能介绍、及流程图中具体各个流程的功能。最好提供相应的技术参数、数据来具体说明有益效果，可同时提供原有技术的参数数据进行对比。

二、软件领域技术资料准备的说明

以软件系统及实现方法为主：技术/产品创新主要基于软件系统、软件算法，则申请时应考虑提供：

- 1、已有软件/算法的不足：即说明与本专利的内容最相似的软件/算法，需要说明已有软件是由哪些模块主要组成，各模块的连接关系，各模块的作用，可结合模块组成图(若是软件算法，可说明已有算法具体包括什么步骤，可结合流程图)；

同时指出已有软件/算法的效果如何,尤其指出与本专利相比,原有软件/算法存在的缺点或不足之处。如有引用文献,需要说明出处。对原有技术的介绍尽可能详细,可附模块组成图、算法流程图。

2、本专利的内容:应说明本专利达到目的或解决问题的技术手段,包括软件是由哪些模块主要组成,各模块的连接关系,各模块的作用,可结合模块组成图(若是软件算法,可说明已有算法具体包括什么步骤,可结合流程图)。写明本专利的工作原理,本专利与现有技术的区别点。本部分可结合图表说明。

3、本专利的效果:有益效果可以由工作性能的提高,制作成本、能量损耗的减少,稳定性的增加,操作、控制、使用的简便,以及其他有用性能的出现等方面反映出来。

4、附图与说明:软件模块组成、算法流程的图解,附图应以电子制图或流程图的标准绘制,而非扫描图。使专利工作人员可直接在附图上编辑修改,实用新型申请必须带附图。

5、本专利的具体实施例:对照附图,说明本专利的具体实施方式,必须有详细的描述,包括附图中各具体模块功能介绍、及流程图中具体各个流程的功能。最好提供相应的技术参数、数据来具体说明有益效果,可同时提供原有技术的参数数据进行对比。

三、通信领域技术资料准备的说明

专利申请以通信产品、设备、技术为主,产品/设备的创新主要基于产品、设备的构造,技术的创新主要基于技术手段的改进,则申请时应考虑提供:

1、已有技术/产品的不足:即说明与本专利的内容最相似的技术/产品,需要说明已有技术/产品的主要结构、原理、实用效果,尤其指出与本专利相比,原有技术/产品存在的缺点或不足之处。如有引用文献,需要说明出处;如有参考产品,指出其型号、厂家。对原有技术的介绍尽可能详细,可附结构原理图。

2、本专利的内容:应说明本专利达到目的或解决问题的技术手段。包括产品的组成、结构,尤其说明各组成部分之间的相互关系,例如连接关系、被作用的工作电流或信号的走向;还包括技术方法的实现过程,先后顺序,尤其重点说明改进的步骤在哪里。写明本专利的工作原理,本专利与现有技术的区别点。

3、本专利的效果：有益效果可以由工作性能的提高，制作成本、能量损耗的减少，稳定性的增加，操作、控制、使用的简便，以及其他有用性能的出现等方面反映出来。

4、附图与说明：产品构造或装置或设备的图解，图应以电子制图或流程图的标准绘制，而非扫描图。使专利工作人员可直接在附图上编辑修改，实用新型申请必须带附图。

5、本专利的具体实施例：对照附图，说明本专利的具体实施方式，必须有详细的工作机理，包括附图中各具体器件功能介绍、及流程图中具体各个流程的功能。最好提供相应的技术参数、数据来具体说明有益效果，可同时提供原有技术的参数数据进行对比。

四、半导体域技术资料准备的说明

专利申请以产品、方法为主：产品/方法的创新主要基于产品的构造及工艺方法的步骤，则申请时应考虑提供：

1、本专利的任务是什么，或要解决的技术问题是什么？

2、已有产品/方法的不足：即说明与本专利的内容最相似的产品/方法，需要说明已有产品的主要结构、原理、实用效果，或已有工艺、方法的步骤、实用效果，尤其指出与本专利相比，原有产品/方法存在的缺点或不足之处。如有引用文献，需要说明出处；如有参考产品，指出其型号、厂家。对原有技术的介绍尽可能详细，可附结构原理图。

3、本专利的内容：应说明本专利达到目的或解决问题的技术手段。包括产品的组成、结构，尤其说明各组成部分之间的相互关系，例如连接关系、被作用的工作电流或信号的走向。或工艺、方法的流程步骤，还需说明各步骤涉及的重要工艺参数（如时间、温度等）、重要公式。写明本专利的工作原理，本专利与现有技术的区别点。

4、本专利的效果：有益效果可以由工作性能的提高，制作成本、能量损耗的减少，稳定性的增加，操作、控制、使用的简便，以及其他有用性能的出现等方面反映出来，对于工艺、材料的改进，还需给出实验数据加以证明。

5、附图与说明：产品构造或装置或设备的图解，图应以电子制图或流程图的标准绘制，而非扫描图。使专利工作人员可直接在附图上编辑修改，实用新型申请必须带附图。工艺、方法可提供流程图。

6、本专利的具体实施例：对照附图，说明本专利的具体实施方式，必须有详细的操作步骤、工作机理，包括附图中各具体器件功能介绍、及流程图中具体各个流程的功能。最好提供相应的技术参数、数据来具体说明有益效果，可同时提供原有技术的参数数据进行对比。

更详细的信息，您可以咨询上海光华专利事务所电子通信部经理，李律师，
021-51096606*840；email:lyp@iprtop.com。

关于我们的情况，您可以浏览网页：<http://www.iprtop.com>