

文章编号:1001-893X(2012)07-1075-04

复杂环境下低信噪比 WCDMA 信号接收系统总体设计*

蒋宗明

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:根据区域内移动通信网信号接收的需求,提出了一种复杂环境下低信噪比 WCDMA 移动通信信号接收系统的总体设计方案,针对关键环节小区搜索采用了差分相干累积和 RS 译码判决等改进措施,提高了低信噪比 WCDMA 信号的处理性能。仿真和实验证明了改进措施的有效性。

关键词:WCDMA 通信信号;复杂环境;信号截获;差分相干累积;RS 译码

中图分类号:TN929.533 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-893x.2012.07.004

Design of Low SNR WCDMA Signal Reconnaissance System in Complex Environment

JIANG Zong-ming

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: According to the signal reconnaissance of mobile communication system in a certain area, a top design of low SNR WCDMA mobile communication signal receiving and processing system in complex environment is introduced. An optimized cell search scheme is adopted by using differential coherent accumulation and RS decoder and the performance of low SNR WCDMA signal processing is improved. Computation and experiment confirm the effectiveness of the optimized scheme.

Key words: WCDMA signal; complex environment; signal reconnaissance; differential coherent accumulation; RS decoder

1 引言

随着技术的发展,WCDMA 移动通信系统被广泛应用于社会生活的各个领域。相当数量的国家和地区将 WCDMA 等 3G 通信系统作为应急条件下军事通信系统的有效补充,故 WCDMA 移动通信系统的信号截获及分析处理在军事乃至反恐等领域有着重要的意义。

在上述特殊使用环境下,需要对一定区域内的移动通信系统基站、移动终端的无线信号进行接收处理,分离并解析多个目标基站或用户终端信息,为

系统决策提供依据。但此时接收系统面临电磁环境复杂、信号密集交织及严重同频干扰造成的目标信号信噪比恶化等问题,故提高复杂环境下低信噪比 WCDMA 移动通信信号的截获性能是必要的。

目前,公开发表的区域内复杂环境下移动通信信号处理主要针对 GSM 移动通信系统^[1],WCDMA 系统通常针对近距离环境进行设计,采用非相干累积及硬判决等方式进行信号处理,但这是以降低信噪比性能为代价的^[2]。鉴于此,本文在进行系统总体设计时对关键环节小区搜索进行优化,采用差分相干累积及 RS 译码判决等方式,提高了系统在低信噪比环境下取得小区同步和信息截获处理的能力。

* 收稿日期:2012-04-26;修回日期:2012-05-25

2 系统原理及组成

2.1 系统原理

根据 WCDMA 移动通信协议,系统工作时,通过小区搜索可以获取较大区域内移动通信网的主要配置情况以及具体某小区的配置参数。首先通过 SCH 的同步码(PSC 及 SSC)捕获,可以实现时隙同步、帧同步及主扰码组识别;通过 P-CPICH 捕获,得到小区的下行主扰码;根据小区主扰码,检测到 BCH(P-CCPCH),并读取系统消息,从而获取小区的相关信息,由此截获目标专用信道信息并分析处理。

2.2 系统组成

系统主要由接收机和信号处理终端组成,其原理框图参见图 1~2。

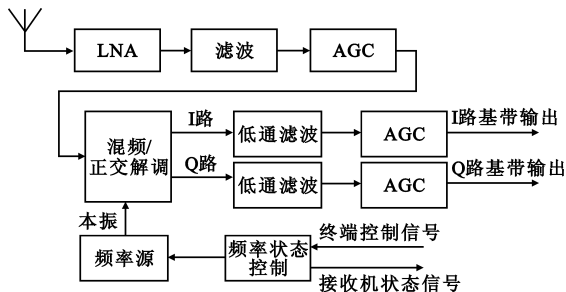


图 1 接收机原理框图
Fig.1 Schematic block diagram of receiver

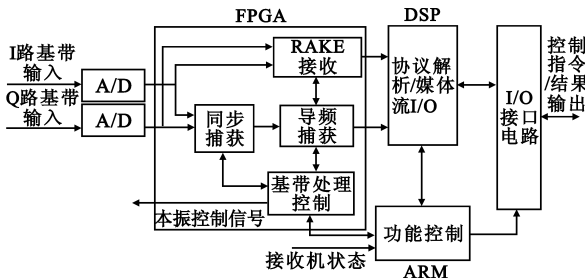


图 2 信号处理终端原理框图
Fig.2 Schematic block diagram of signal processing unit

(1)接收机原理及组成

接收机主要完成空中无线信号的接收及模拟基带信号的输出。空中信号通过天线馈入到接收机,经低噪放大、滤波、混频和正交解调处理后,形成 I/Q 分离的模拟基带信号,输出到信号处理终端。输出采用 AGC 控制,保证了大动态范围并提高了终端处理性能。

(2)信号处理终端原理及组成

信号处理终端实现模拟基带信号的处理,完成

小区搜索和信道截获处理,解析信令和业务信息,通过 I/O 接口输出处理结果。A/D 采样后的数据输入 FPGA 进行处理,FPGA 单元完成时隙同步、帧同步和主扰码识别,并输出捕获指示和扰码信息;然后由功能控制模块通知基带处理开始接收下行公共控制信道,通过 FPGA 对该信道进行 Rake 接收和解调,其处理结果送往 DSP 进行信号处理,判断是否为基站下行公共控制信道信号并进行配置参数解析,然后根据系统指令接收处理业务信道信息。处理结束后结果通过 I/O 接口输出。在 FPGA 中实现 RAKE 接收的优点是易于实现且处理效率较高,在有效降低多径效应不良影响的同时提高了灵敏度。

(3)检测电路原理

终端接收上级系统的自检指令完成自检。接收机频率源的频综锁定信号作为状态显示信号输出,功能控制模块可以据此判断频率源及本振是否正常工作。对 FPGA 和 DSP 的自检通过内部检测协议完成,可以判断 FPGA 和 DSP 工作是否正常工作。

3 关键技术及解决措施

(1)同步码检测优化技术

为提高低信噪比环境下的主辅同步码检测性能,应该尽量减小基带信号处理时的频偏,故在接收机中采用高精度频综以提高输出信号频率精度。设计中采用 0.1 ppm 的温补晶振和高精度锁相环实现频综电路,令接收机输出基带信号频偏降低到 ± 0.5 kHz,提高了同步性能。

(2)时隙同步优化技术

通常在 WCDMA 系统设计中,为克服信道衰落和噪声对 P-SCH 捕获性能的影响,不同时隙的 P-SCH 匹配滤波结果需要通过非相干方式进行累积,可以提高频偏环境下 P-SCH 捕获性能,但这是以降低信噪比性能为代价的。为提高低信噪比环境下的同步性能,采用 FPGA 实现了分段差分相关累积,保证了存在频差时的同步性能^[3]。该方案需要较多的计算资源,但是在现有硬件条件下是可以接受的。

(3)帧同步优化技术

低信噪比环境下进行帧同步时,单个辅同步码检测有一定的错误概率,需要多帧累积后进行译码判决。系统采用 RS 译码器完成 WCDMA 辅同步码译码,实现了主扰码组的 RS 译码判决,在累积结果中误码数不大于 6 时能正确译码,提高了同步性能。

(4)导频捕获性能优化技术

在导频捕获时引入计分竞赛方式进行主扰码判决,对比常用的非相干累积判决方式,提高了低信噪比环境下导频捕获性能^[4]。对于逻辑复杂度增加的问题,在 FPGA 中使用控制转移状态机解决。

(5)接收天线优化技术

为避免复杂城市环境下目标及观测者邻近小区的同频信号对接收的不利影响,使用小型化高指向性天线保证天线增益并抑制背景信号的干扰,提高信号接收信噪比。设计时采用垂直极化的多阵元微带天线,将3 dB波束宽度降低到 8°,则距离5 km处覆盖的区域直径约为702 m,小于标准的宏小区基站距离,可以满足使用要求。

(6)截获信号分级判决处理技术

根据 WCDMA 系统原理,导频信道的捕获要求低于同步信道的捕获条件,在结果处理时需要针对不同信噪比的移动通信信号进行分级处理。在信噪比较高情况下,可以和目标小区同步并获取详细目标信息,为进一步的措施提供引导;在信噪比恶化情况下,无法通过同步信道同步时,通过导频信道的捕获和解析可以得到 WCDMA 信号载波频率等信息,将同步信道解析情况和导频信道解析情况综合处理,为上级系统的决策提供参考,同时为区域性的通信对抗措施提供依据。

4 性能参数计算及分析

4.1 接收灵敏度

系统接收灵敏度取决于接收范围和具体的应用环境。典型的 WCDMA 基站通常采用天线下倾布置,根据所在的城市、郊区或野外环境进行小区的规划,确定天线角度和覆盖范围。同时,由于城市建筑及野外山体树木遮挡,电磁波实际路径损耗需要按照相关的传播模型计算,目前 ESTI 推荐使用 COST - 231 - Walfish - Ikegami 模型。

根据该模型,按照最大损耗路径进行计算,在非视距传播环境下计算路径损耗的表达式(单位为 dB)如下:

$$L_{NLOS} = \begin{cases} L_o + L_{rts} + L_{msd}, & L_{rts} + L_{msd} \geq 0 \\ L_o, & L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中, L_o 表示自由空间损耗, L_{rts} 为屋顶到街面的衍射和散射损耗, L_{msd} 为多遮蔽物衍射损耗, L_{rts} 和 L_{msd} 是非视距参数的函数。

按照中国联通城市环境典型基站参数建立模型,以计算不同距离上基站信号强度。典型 WCDMA 基站采用双极化天线,频率覆盖 GSM 到 WCDMA 频段,下倾角 6°,3 dB波束宽度 11°,最大增益14 dBi,基站发射总功率10 W,各信道功率分配按典型值计算,建筑物平均高度30 m,则不同距离和高度上接收到的基站信号强度如表 1 所示。

表 1 在不同高度上接收到不同距离基站的信号强度
Table 1 Received signal strength in different height from different base station

高度/m	信号强度/dBm			
	距离 1 km	距离 2 km	距离 4 km	距离 5 km
2	- 84.1	- 90.1	- 96.1	- 98.0
20	- 75.1	- 81.1	- 87.2	- 89.1
40	- 60.1	- 66.1	- 72.1	- 74.1

根据表 1 结果,对 5 km 距离内基站信号进行接收,天线增益为12 dBi且馈线损耗3 dB时,接收灵敏度为 - 100 dB即可满足接收要求,并留有约5 dB余量,能保证目标小区信号快速衰减时对弱信号的接收。

4.2 同步性能仿真

使用 MATLAB 对上述方案进行验证。相对于信道总功率,同步信道及主公共导频信道功率均为 - 10 dB,高斯白噪声信道环境,接收小区下行信号频偏为3 kHz,信号接收时采用 10 帧相关值累积,分别在非相干及差分相干等方案下,完成 200 次独立小区同步以计算小区同步概率,结果如图 3 所示。

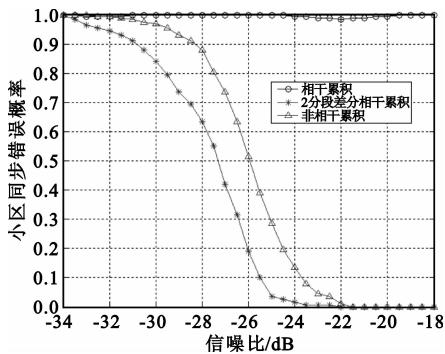


图 3 不同方案的小区同步性能对比
Fig.3 Performance comparison of different scheme for cell synchronization

4.3 导频捕获性能仿真

使用 MATLAB 对上述方案进行验证。分别对 256 chip及512 chip分段条件下的计分竞赛和非相干累积方法进行仿真对比,其余条件参见 4.2 节,完成

200 次独立导频捕获以计算错误概率,结果如图 4 所示。

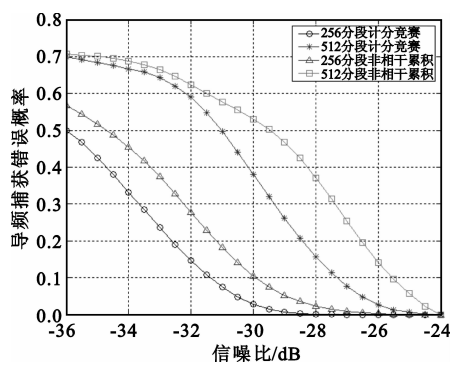


图 4 不同方案的导频捕获性能对比
Fig.4 Performance comparison of different scheme for CPICH acquisition

4.4 仿真结果分析

从图 3 可知,信噪比降低到 - 24 dB 时,小区同步性能开始以较快速度恶化,此时相干累积方案由于频偏的存在已经无法完成同步,但在相同错误概率下,2 分段差分相干累积性能优于非相干累积约 2 dB。由图 4 可知,计分竞赛方案导频捕获性能最优,且分段较小时性能较好。同时,低信噪比环境下导频捕获性能优于同步性能约 5 dB,这是由于导频信号具有扩频增益的缘故。所以系统性能主要取决于小区同步性能,设计时应该以小区同步性能的提高作为重点。

利用 Agilent E5515C 内置 WCDMA 模块的验证测试表明,在高斯白噪声环境下 10 562 ~ 10 838 频道接收时,同步检测性能优于改进前约 2 dB,证明措施是有效的。

5 结 论

在移动通信系统应用日趋广泛的环境下,对区域内的移动通信信号的接收和处理是一个重要的应

用领域。本文提出了一种复杂环境下 WCDMA 信号接收处理的系统总体方案,并在工程中得以应用。具体实验表明,采用该方案的系统架构先进,低信噪比性能优于常规的非相干累积和硬判决同步性能,提高了对大范围内移动通信信号的截获和处理能力。随着技术的进步,系统的发展趋势是轻型化、快速化(截获快、解析快),重点在于发展智能天线、扩频信号高效处理算法及高速信号处理硬件,提高设备的软件化水平,使其能够满足更有弹性的任务需要,应用于更加广阔的领域。

参考文献:

[1] 张浩,钟子发,王红军. GSM 公共信道中 FCCH 的同频分离与捕获[J]. 通信对抗, 2006(1): 36 - 38.
ZHANG Hao, ZHONG Zi - fa, WANG Hong - jun. Separation and Capture of Cochannel FCCH in GSM[J]. Communication Countermeasures, 2006(1): 36 - 38. (in Chinese)

[2] Liao Deng, Qiu Dong - yu, Elhakeem Ahmed K. New Code Synchronization Algorithm for the Secondary Cell - search Stage in WCDMA[C]//Proceedings of International Conference on Communication Software and Networks. Chengdu, China: IEEE, 2009: 87 - 92.

[3] Kang Min Lee, Ji Yong Chun. An Initial Cell Search Scheme Robust to Frequency Error in W CDMA System[C]//Proceedings of International Conference on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. London, UK: IEEE, 2000: 1400 - 1404.

[4] Sheen Wern - Ho, Ho Jan - Shin, Chu Yuan - Sun, et al. Cell Search in WCDMA Under Large - Frequency and Clock Errors: Algorithms to Hardware Implementation[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 2008, 55(2): 659 - 671.

作者简介:

蒋宗明(1975—),男,四川自贡人,2005 年获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为通信对抗。

JIANG Zong - ming was born in Zigong, Sichuan Province, in 1975. He received the M. S. degree in 2005. He is now an engineer. His research concerns communication countermeasures.

Email: jjjmy@sina.com