

辅助序列在 CDMA 系统 PN 码捕获中的应用^{*}

杨宗凯 刘光然 何建华

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

摘要 CDMA 技术作为成熟的商业化技术,已经得到了蓬勃发展和应用,并且将下一代无线通信技术中将占据主导地位。在 CDMA 系统(如 IS-95)下行链路中,系统对基站的 PN 导频相位偏移进行了规划分组,并对不同的导频组设置了不同的搜索窗口,大大加快了移动台捕获导频的速度。本文引进一种特殊的辅助序列,采用二进制相位搜索估计,可以事先对 PN 导频的初始相位进行精确的区间定位,然后配合导频组和搜索窗的优势,可以大大加快导频相位的捕获速度。

关键词 CDMA, 辅助序列, 码捕获, PN 码, 二进制相位搜索

Application of Auxiliary Sequence in the CDMA PN Acquisition System

YANG Zong-Kai LIU Guang-Ran He Jian-Hua

(Dept. of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract CDMA as mature commercial technology has achieved great development. Also it will be dominant in next generation wireless communication systems. In the forward link of the CDMA system, such as IS-95, the PN pilot phase of the base station has been planned carefully, grouped into different pilot sets and the searching windows for different pilot sets are set separately. All these approaches can increase the speed of PN acquisition. In this paper, an auxiliary sequence is introduced. With the binary phase estimate strategy, the accurate phase area can be determined at the start. After that, with the advantages of the searching windows, the acquisition speed can be faster.

Keywords CDMA, Auxiliary sequence, Code acquisition, PN code, Binary phase search

1 引言

移动通信与互联网是当今信息业发展的两大热点。移动通信系统自诞生之日起到今天短短的 20 年间,发生了巨大的变化,其发展速度之快,技术应用之新,令人叹为观止。目前,码分多址技术(CDMA)作为一种先进的多址技术,在移动通信中得到了广泛的应用^[1],是移动通信中最重要的多址接入手段,并且在下一代无线通信技术中仍将占据主导地位。

同步的实现是 CDMA 系统中一个关键问题^[2,3]。只有在接收机将本地产生的伪码和接收信号中调制信息的伪码实现同步以后,才有可能发挥直序扩频通信的各种优点。同步过程分为两步来实现:首先是捕获阶段,实现对接收信号中伪码的粗跟踪,然后是跟踪阶段,实现对伪码的精确跟踪。目前的研究主要集中在码捕获过程。对于直接序列扩频系统(DS/SS)中码捕获已经有很多专著及文章,特别需要一提的是在文献中提到的采用辅助序列进行码捕获的思想^[6~9],十分新颖高效。而对于 CDMA 系统码捕获的研究文章还不多见,在文^[10,11]中对于采用传统相关结构的捕获理论和实践分析,已经十分完备了。本文针对这一状况,在 CDMA 码捕获系统中引入辅助序列。理论和仿真分析均表明,这可以大大提高码捕获的速度。并且随着辅助序列数目的增加,捕获速度更快。不过,在实际应用中,捕获速度和系统复杂度之间需要平衡。

本文第 2 节提出 BPSK-CDMA 系统模型框架。第 3 节先简单介绍 CDMA 系统中导频集合搜索窗的概念,然后详细

介绍二进制相位搜索机制。第 4 节给出辅助序列的表达式以及仿真结果,最后总结全文。

2 BPSK-CDMA 系统模型框架

在 CDMA 系统中(如 IS-95)使用了两个短 PN 码,用于对前向链路和后向链路的 I、Q(正交)分量进行扩谱^[4,5]。为了补偿 QPSK 扩频的影响,系统捕获检验装置必须包含交叉连接。QPSK-CDMA 系统与 BPSK-CDMA 系统没有本质的区别,只是在减少多址干扰上具有一定的优势。本文使用如图 1 所示的系统结构作为 CDMA 系统的捕获模块。捕获模块包括两个子系统:上部分是传统的串行单驻留滑动相干结构,下部分是采用辅助序列的二进制相位搜索模块。

基站使用导频信道为所有的移动台提供基准,导频信道为移动台接收机的相干解调提供相位基准,以确保相干检测。导频信道不传送任何消息,并且被分配在 Walsh 码 W_0 的位置。为了简化,本文使用一个 PN 序列,并且分配在 Walsh 码 W_0 的位置。为了简化,本文使用一个 PN 序列 $C(n)$,这个序列不采用插零的操作,故周期为 $N=32767$ 。 $P(t)$ 是成型后的发射脉冲。

$$U(t) = \sum_{n=1}^N C(n)P(t-nT_c) \quad (1)$$

由于基站持续不断地发送该信号,所以 $u(t)$ 是一个以 32767 为周期的信号。对 $u(t)$ 采样后,得到的离散序列 $u(n)$ 也就是 PN 序列的 $C(n)$ 周期重复。然后把 $u(n)$ 输入相位搜索模块,分别与辅助序列 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ 进行相关运算,通过转换

^{*} 本文受国家自然科学基金资助(项目资助号:60202005)。

函数得到相位的精确估计(具体过程见第3部分),把估计的区间输入串行模块,再进行滑动相关搜索。这样可以大大减小

搜索的范围,提高捕获速度。

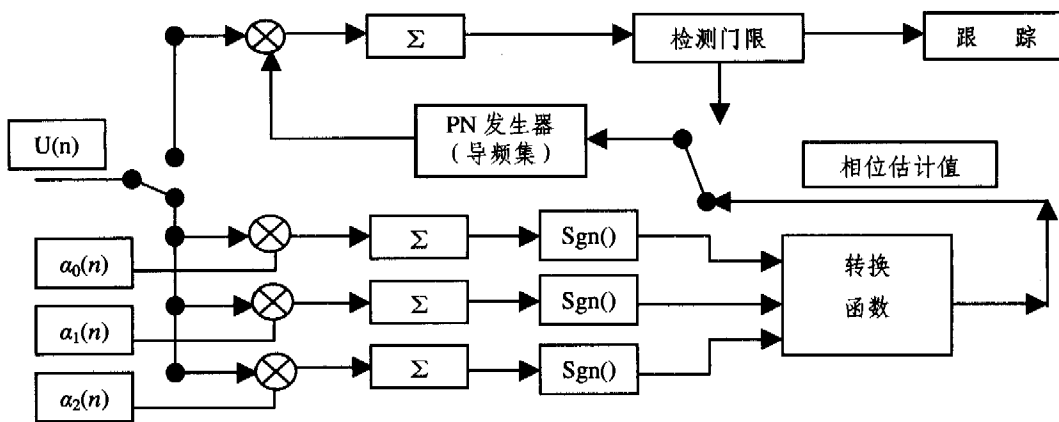


图1 使用辅助序列的捕获接收框图

3 二进制相位搜索

在CDMA系统中,使用同一个PN序列的不同相位来区分不同的基站。特别在IS-95中^[5],使用了一个15级的伪随机序列,周期 $N=2^{15}-1=32767$,通过插零使得周期变为 $N'=2^{15}=32768$ 。每个基站使用一个不同的64个码片偏移量来表示自身的位置,因此可以提供512个不同的基站地址。为了优化系统性能,避免相邻蜂窝小区的干扰,实际系统中一般取偏移量为256个码片偏移来区分基站。移动台将它识别的导频及服务小区(扇区)的导频分为以下四组:活动组、候补组、邻近组、剩余组,并且对每个组都设置了搜索窗口参数。这些举措都可以减小导频相位的搜索区间,大大加快捕获速度。

为了更快地捕获导频,本文引入一种采用辅助序列的二进制相位搜索机制。这种机制的核心就是在对导频进行相关捕获前,通过辅助序列对导频进行相关估计,准确定位导频的相位区间,然后针对具体的导频区间进行搜索,提高捕获速度。二进制相位搜索实际上采用类似于数据排序中的二分法对PN码相位进行逐步确定。首先要搜索的整个相位空间分成相等大小或接近相等的两个小区间,显然需要捕获的相位必定属于这两个区间之一,然后把不符合要求的空间删去。这样,区间的大小减半,进一步采用上述方法逐步减小相位所属区间的大小。通过定位提供的区间信息,可以避免对导频相位的盲目搜索,大大提高捕获速度。

位搜索也就是通过二分法确定相位的区间,具体如下:

1)确定定位区间的精度。如图1所示,如果只需分割2个区间,那么只需1个辅助序列即图中的 α_0 序列就可以了;如果需要分割成4个区间,那么就需要2个辅助序列 α_0, α_1 ;如果需要8个区间,就需要3个辅助序列 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ 。 M 个区间便需要 $L=\log_2 M$ 个辅助序列。

2)通过 L 个辅助序列与输入PN序列进行相关,得到 L 个相关值 R_1, R_2, \dots, R_L 。这些相关值有以下几个特点:a)二值的,可以简便地映射到二值0或1上;b)映射后,如图2所示,0值表征二进制树的左边分支,1值表征二进制树的右边分支。

3)确定的区间完全可以由二进制位串 $R_1 R_2 \dots R_L$ 唯一表征。

如图2所示,本文采用了3个辅助序列,把相位空间分成大致相同的8段(不完全等长)。通过计算 $u(n)$ 和 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ 的相关值 R_0, R_1, R_2 ,图中 $R_0=0, R_1=1, R_2=0$,相位区间对应于010段区间(如图中的黑线条部分所示)。相位区间确定后,在导频集中排除不属于确定相位区间的导频相位,可以减少搜索导频的数目,达到缩短捕获时间的目的。

4 辅助序列仿真

二进制相位搜索最关键的就是选取合适的辅助序列,能够对相位进行合理的分割,达到区分相位空间的目的。如图1所示,通过对输入PN序列与辅助序列做相关运算,来获取定位信息。

现定义辅助序列如下:

$$\alpha_l(n) = \sum_{k=1}^{2^{K(l)}-1} (-1)^{k-\delta_{K(l)}} (1-2\delta_{K(l)}\delta_w(k-1)) * \left(\sum_{i=\omega(l,k)}^{n(i,k)} C(n-i) - C(n+i) \right) \quad (2)$$

式中 $l=0, 1, \dots, \delta_{K(\cdot)}$ 是迪拉克函数, $K(l)=l+\delta_{K(l)}+1$, $W(l,k)=[(N+1)/2^{K(l)}](k-1)+\delta_{K(l)}\delta_w(k-1)$, $P(l,k)=[(N+1)/2^{K(l)}]k-1$ 。

通过相关器后得到的相关值如(3)式所示:

$$R_l(m) = \sum_{n=1}^N C(n-m)\alpha_l(n) \quad (3)$$

式中 m 是导频的偏移。由于 $c(n)$ 和 $\alpha_l(n)$ 都是周期为 N 的周期函数,所以 $R_l(n)$ 也是周期为 N 的周期函数。

本文选取 $l=0, 1, 2$,三个序列分别如下:

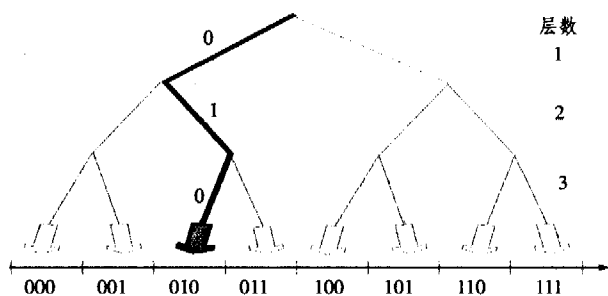


图2 二进制搜索树

如图2所示,二进制搜索树有唯一的起始节点,也就是根节点。每个节点都有两个分支节点,逐步向下扩展,像一棵倒栽的树,根部粗大,分支逐步细小。相位区间搜索定位的过程,就可以类比为从根节点逐步向下,确定小分支的过程。

捕获其实就是PN序列码片偏移的确定过程,二进制相

$$\alpha_0(n) = -\sum_{i=1}^{(N-3)/4} (c(n-i) - c(n+i)) - \sum_{i=(N+1)/4}^{(N-1)/2} (c(n-i) - c(n+i)) \quad (4)$$

$$\alpha_1(n) = -\sum_{i=1}^{(N-3)/4} (c(n-i) - c(n+i)) + \sum_{i=(N+1)/4}^{(N-1)/2} (c(n-i) - c(n+i)) \quad (5)$$

$$\alpha_2(n) = \sum_{i=3(N+1)/8}^{(N-1)/2} (c(n-i) - c(n+i)) - \sum_{i=(N+1)/4}^{(3N-5)/8} (c(n-i) - c(n+i)) + \sum_{i=(N+1)/8}^{(N-3)/4} (c(n-i) - c(n+i)) - \sum_{i=1}^{(N-7)/8} (c(n-i) - c(n+i)) \quad (6)$$

通过 Matlab 仿真 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$, 如图 3 所示 R_0, R_1, R_2 , 如图 4 所示。

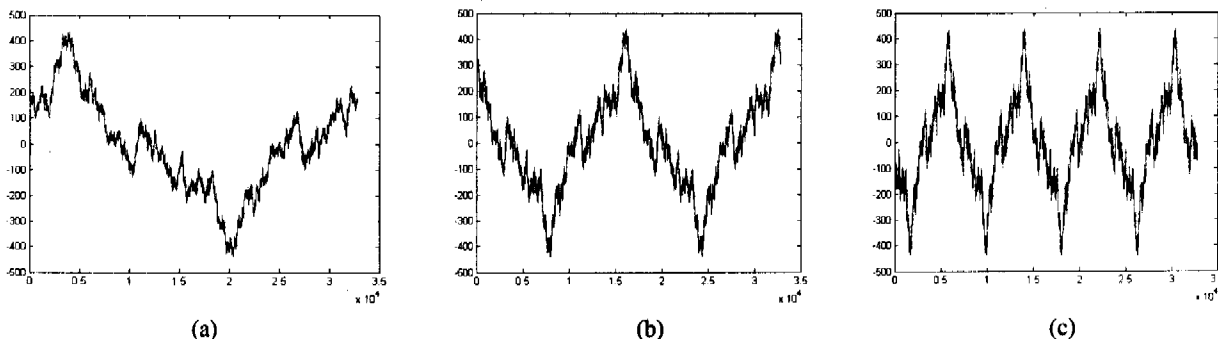


图 3 (a)辅助序列 α_0 , (b)辅助序列 α_1 , (c)辅助序列 α_2

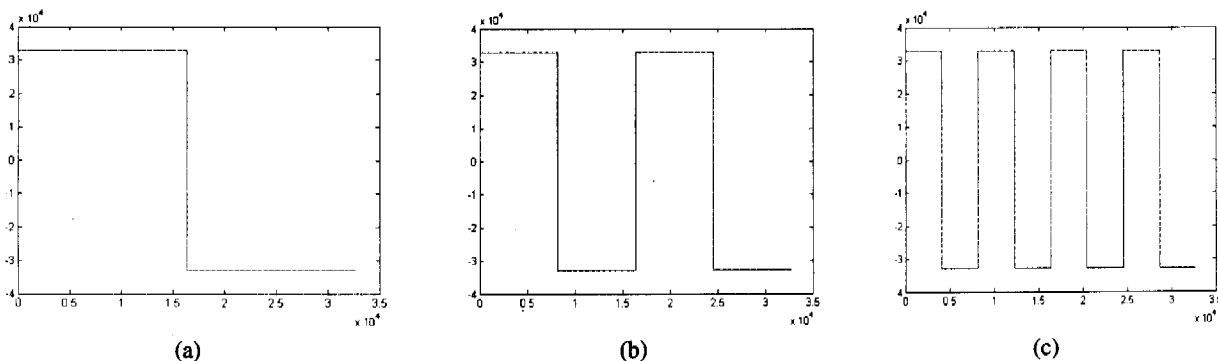


图 4 (a)相关值 R_0 , (b)相关值 R_1 , (c)相关值 R_2

图 4 表明相关值通过符合函数 $\text{sgn}(\cdot)$ 得到的二进制串可以有效地唯一地进行区间的选取, 并且这 8 个区间分别为: $[0, 4095], [4096, 8191], [8192, 12287], [12288, 16383], [16384, 20479], [20480, 24575], [24576, 28671], [28672, 32766]$ 。

结论 目前对码捕获的研究主要集中在对周期较长的码实现捕获的问题, 也就是快速捕获的问题。以前采用的主要是串行捕获方法, 这种方案实现简单, 但捕获速度不能满足要求。而现在大规模集成电路的应用使并行捕获方案成为可能, 但系统的复杂度很高, 因此研究的目标就是实现码捕获时间性能和系统复杂度之间的折衷。在串行捕获方案中, 双停顿时间搜索法和序贯检测法都是缩短捕获时间的有效方法。采用辅助序列的新搜索算法来进一步改进这些系统的性能, 已经成为研究的热点。

参考文献

- 1 维特比 A J. CDMA 扩频通信原理. 李世鹤译. 北京人民邮电出版社, 1997
- 2 Sklar B. 数字通信——基础与应用. 第二版. 徐平平译. 北京电子工业出版社, 2002
- 3 Simon M K. Spread Spectrum Communications Handbook. McGraw-Hill Companies, 2002

- 4 Garg V K. IS-95 CDMA and cdma2000. Prentice Hall, 2000
- 5 Lee J S. CDMA 系统工程手册. 许习斌译. 北京人民邮电出版社, 2002
- 6 Salih M, Tantaratanna S. A closed-loop coherent acquisition scheme for PN sequences using an auxiliary sequence. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1996, 14(8): 1653~1659
- 7 Salih M, Tantaratana S. A closed-loop coherent PN acquisition system with a pre-loop estimator. IEEE Transaction on Communications, 1999, 47(9): 1394~1405
- 8 Delva J, Howitt I. A coherent acquisition method for a PN sequence using binary search and an auxiliary sequence. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2001, 19(12): 2432~2440
- 9 Delva J, Howitt I. PN acquisition for DS/SS using a preloop parallel binary search phase estimator and a closed-loop selective search subsystem. IEEE Transaction on Wireless Communications, 2004, 3(2): 408~417
- 10 Corazza G E, Caini C, Coralli A V, et al. DS-CDMA code acquisition in the presence of correlated fading—part I: theoretical aspects. IEEE Transaction on Communications, 2004, 52(7): 1160~1168
- 11 Caini C, Corazza G E, Coralli A V. DS-CDMA code acquisition in the presence of correlated fading—part II: application to cellular networks. IEEE Transaction on Communications, 2004, 52(8): 1397~1407