

# 改进的基于 FFT 的伪码快速捕获法

窦建华, 李 雪, 王守亚

(合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009)

**摘 要:** 为了更好地适合在低信噪比环境下工作, 对基于 FFT 的伪码快速捕获法进行了改进, 即提出了将多个伪码周期进行相关运算后进行非相干积累。对其原理进行了详细的分析, 并对它的捕获性能进行了仿真。通过分析和仿真结果可以看出, 采用非相干处理的基于 FFT 的伪码快速捕获法捕获时间更短, 并且更适合在低信噪比环境下工作, 具有重要的工程应用价值。

**关键词:** 伪码同步; 捕获; 快速捕获; 非相干积累

中图分类号: TN914.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)15-0063-03

## Improvement of FFT-based pseudo-code fast acquisition method

Dou Jianhua, Li Xue, Wang Shouya

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** In order to fit better in the low SNR environment, FFT-based pseudo-code fast acquisition method is improved in the paper, which put forward to carry out noncoherent accumulation after accomplishing correlation operation of multiply pseudo code cycle. This paper has carried on detailed analysis of its theory, and simulation for its capture performance. Through the analysis and results can be seen that the incoherent processing of FFT-based pseudo-code fast acquisition method to capture time shorter, and more suitable for working in a low SNR environments. It has important value in engineering.

**Key words:** pseudo-code synchronization; acquisition; fast acquisition; noncoherent accumulation

扩频技术是当前通信领域迅速发展起来的一门前沿技术, 它最初用于军事通信中, 由于其抗干扰性强、抗衰落性好、保密性好和可实现多址通信等优点, 现已在通信抗干扰、卫星通信、保密通信、战术跳频电台、计算机无线数据传输、导航、测距和定位等方面有广泛应用<sup>[1]</sup>。

在扩频系统中被用作扩频序列的伪码(PN码)是类似于白噪声统计特性的随机序列, 它的同步是实现扩频通信系统的关键, 同步性能的优劣直接影响整个扩频系统的性能。伪码同步包括捕获<sup>[2]</sup>和跟踪<sup>[3]</sup>两部分, 捕获阶段实现粗同步, 跟踪是在捕获的基础上实现精同步。其中, 捕获一直是伪码同步研究的重点部分。目前, 在伪码捕获的问题上, 国内外提出了许多适应在不同环境下的捕获算法, 现在比较常用的捕获算法主要包括串行捕获法、并行捕获法、匹配滤波器法和基于 FFT 的快速捕获法<sup>[4-6]</sup>等。但是, 还没有特别新颖的捕获技术出现, 也有许多研究人员想通过利用小波变换和神经网络计算原理等技术来实现伪码捕获算法的重大突破, 只是大部分

都停留在理论探索阶段, 离工程实现还有相当的差距。对一个伪码捕获算法来说, 衡量其捕获性能如何的基本标准有: (1) 在低信噪比和高动态环境下有快的捕获速度; (2) 抗干扰能力强, 错捕及漏捕的概率小; (3) 硬件电路较简单, 易于实现。本文提出了一种采用非相干积累的基于 FFT 的快速伪码捕获法, 并与串行捕获法进行了比较。通过 Matlab 仿真分析可知, 其捕获速度较快, 且适合在低信噪比环境下工作。

### 1 伪码捕获原理

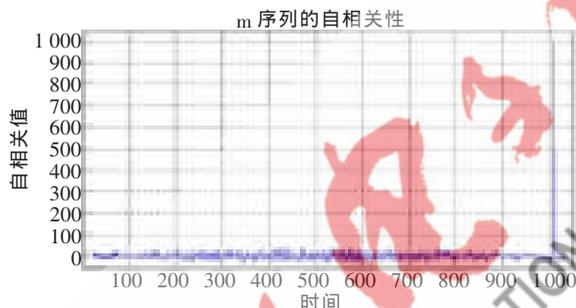
接收机一开始并不知道对方是否发送了信号, 所以, 需要一个在一定的频率和时间范围内搜索和捕获有用信号的搜捕过程, 这就是捕获。这一过程的目的是要把对方发来的信号与本地信号的相位之差保持在一个 PN 码的码片内。

在直扩系统中, 捕获的方法有很多种, 特点也不一样, 比如: 串行捕获法捕获实现简单, 硬件资源消耗少, 但是捕获时间较长, 当 PN 码很长时, 捕获时间让人难

## 网络与通信 Network and Communication

以忍受；并行捕获法和匹配滤波器法捕获时间较短，但是实现较复杂，硬件资源消耗多；基于 FFT 的快速伪码捕获法综合考虑了捕获时间和系统复杂度，它的捕获时间较短，系统复杂度较低。但是，它们都有一个共同点：用本地信号与接收信号作相关运算，得到两信号相似性的值，此处的相似性是指 PN 码自相关特性，所谓自相关性就是度量  $m$  序列（最常用的 PN 码）与其自身逐位移位后序列的相似性，并用此值和一个门限值作比较，如果确认捕获到有用信号，即捕获成功，就紧接着转入跟踪，使系统保持精同步的状态，否则就需要继续搜索。

捕获的基本依据是 PN 码尖锐的自相关特性。为了更好地理解自相关特性，图 1 给出了  $N=1023$  的  $m$  序列的自相关性仿真图。接收端能够从本地序列和接收序列的相关运算中获得不同的相关值。自接收机开始接收发送来的扩频信息时，就不断地调整 and 选择本地的扩频序列相位。在某一时刻，本地的扩频序列和接收扩频信号序列的相位差在一个很小的范围内，就会得到较尖锐的相关值。同时通过设定特定的相关值门限，可以初步判断出接收端是否达到了相位同步。这就是 PN 码捕获的基本原理。

图 1  $N=1023$  的  $m$  序列的自相关性

## 2 伪码捕获算法

## 2.1 串行捕获法

串行捕获法也称为滑动相关捕获法<sup>[7]</sup>，此方法硬件实现简单、节约资源，被认为是一种最简单、最实用的捕获方法。该方法的捕获原理是通过相位控制器控制本地产生的伪随机码与接收信号相对滑动，如果滑动过程中码不重合，则相关值较小，无相关峰出现；当两码接近重合或重合时，则有相关峰值出现，通过相关值与门限值作比较。当相关值小于门限值时，捕获失败，继续捕获；当相关值大于门限值时，捕获成功。捕获原理图如图 2 所示。

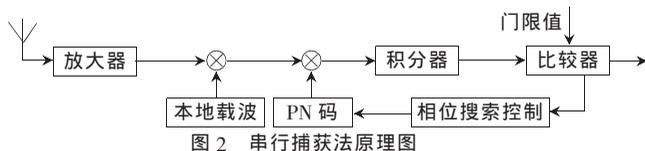


图 2 串行捕获法原理图

## 2.2 采用非相干处理的基于 FFT 的快速伪码捕获法

前面分析的串行捕获法是采用时域相关的思想来完成伪码捕获的，本小节研究的采用非相干处理的基于

FFT 的伪码快速捕获法是在频域中计算相关函数来实现伪码捕获的。该方法利用圆周相关定理，将接收伪码和本地伪码的时域相关运算转换成频域的频谱相乘计算，经过两次 FFT 和一次 IFFT 就可以完成一次相关运算，这样可以借助 FFT 快速算法大大地减少捕获时间，并且由于 FFT 运算将信号能量集中到单个 FFT 单元中，因此适合在低信噪比下工作<sup>[8]</sup>。为了更好地适应低信噪比的工作环境提出了将多个伪码周期的相关运算后进行非相干积累。所谓非相干积累，则是将相关结果取模求平方后再累加，去除了相位信息，仅保留了幅度信息，在信号能量累加的同时，噪声功率也相应增加，在实际应用中，可以适当增加累加次数，来达到满意的效果。在进行相干积累处理后，可以改善相关峰值受噪声的影响，保证了低信噪比下信号的可靠检测。

设接收到的信号为  $x(k)$ ，本地伪码为  $h(k)$ ，相关运算的结果为

$$\begin{aligned} y(n) &= \sum_{k=0}^{N-1} x(k)h(k-n) \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} x(k)h(-(n-k)) \\ &= x(m) \otimes h(-m) \end{aligned} \quad (1)$$

其中， $x(\cdot)_N$  表示进行模  $N$  运算，故  $x(m) \otimes h(-m)$  是一种循环卷积。由于时域的循环卷积等效于频域频谱的乘积，故对式 (1) 两边同时做 FFT 变换，可得

$$Y(k) = x(k)H^*(k) \quad (2)$$

其中， $H^*(k)$  代表  $h(k)$  傅里叶变换的共轭。然后对式 (2) 两边做 IFFT 变换，可得：

$$y(n) = \text{FFT}^{-1}[x(k)H^*(k)] \quad (3)$$

从上面分析可以看出，可以通过 FFT 和 IFFT 两级变化代替时域相关运算，这就是基于 FFT 快速伪码捕获法的基本思想。其实现方法如图 3 所示。

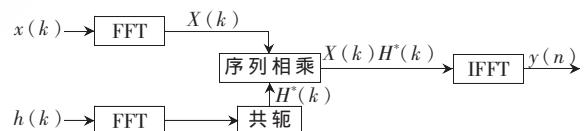


图 3 基于 FFT 的快速相关原理

基于 FFT 的快速伪码捕获过程可以看成是两次 FFT 变换和一次 IFFT 变换的结果，而 FFT 和 IFFT 的计算量是一样的，所以在研究算法运算量的时候可以把上述整个过程看成是 3 次 FFT 变换，而 3 次 FFT 运算的乘法与加法的计算复杂度分别为  $3N/2 \log_2 N$  和  $3M \log_2 N$ ，相对于之前对  $N$  点进行时域相关运算的复杂度（正比于  $N^2$ ）小了许多。可以看出，基于 FFT 的快速伪码捕获法比串行捕获法的捕获时间要小许多，当伪码长度  $N$  越大时，就越明显。

## 3 仿真结果

使用周期为  $N=2^{12}-1=4095$  的  $m$  序列，分别用滑动

## 网络与通信 Network and Communication

相关捕获法和采用非相干处理的基于 FFT 的快速伪码捕获法在不同信噪比环境下进行捕获性能的仿真与分析。

当 SNR=-15 dB 时,采用串行捕获法,得到的仿真图如图 4 所示;当 SNR=-30 dB 时,采用非相干处理的基于 FFT 的快速伪码捕获法,得到的仿真图如图 5 所示。

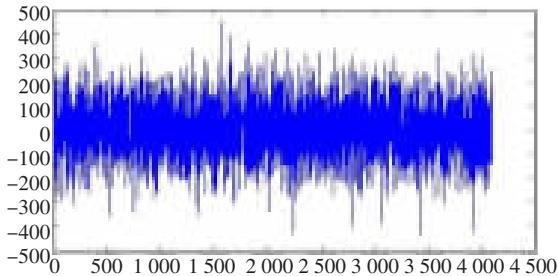


图 4 SNR=-15 dB 时的相关序列

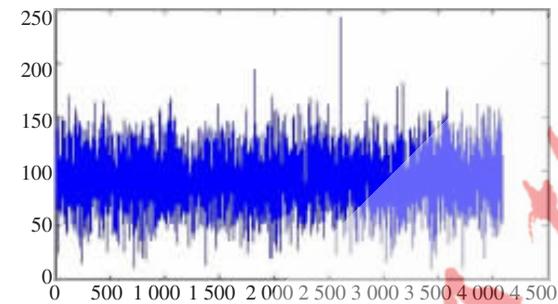


图 5 SNR=-30 dB 时的相关序列

从图 4 可以看出,在信噪比 SNR=-15 dB 时,串行捕获法就无法找到同步的位置了;从图 5 可以看出,在信噪比 SNR=-30 dB 时,采用非相干处理的基于 FFT 的快速伪码捕获法仍能够找出同步的位置。说明了改进的基于 FFT 的快速伪码捕获法更适合在低信噪比环境下工作。

相对于串行捕获法、并行捕获法和匹配滤波器捕获法,基于 FFT 的快速伪码捕获法具有更快的捕获速度,为了更好地适合在更低的信噪比环境下工作,提出了采用非相干处理的基于 FFT 的快速伪码捕获法,仿真结果表明,改进后的捕获算法比较适合在对捕获速度要求较

高和工作条件比较恶劣的环境中使用。

## 参考文献

- [1] 韦惠民.扩频通信技术及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007.
- [2] KIM J, CHONG D, LEE Y. A novel PN code acquisition scheme based on sequential estimation[J]. IEEE Conference Publications, 2011:862-866.
- [3] Zhang Zhong. Pseudo-code tracking technology in spread spectrum communication[J]. IEEE Conference Publications, 2012:331-333.
- [4] GUOLIANG S. A fast acquisition method of DSSS signal based on double FFT layers[J]. IEEE Conference Publications, 2009:452-456.
- [5] Sun Guoliang, Huang Qihua, Zhu Lisen. A fast acquisition algorithm based on FFT for DSSS signal and FPGA realization[J]. IEEE Conference Publications, 2009:341-344.
- [6] Liu Suxiao, Feng Wenquan, Xiong Huangang, et al. FFT based long-code acquisition algorithm suitable for FPGA implementation[J]. IEEE Conference Publications, 2011:5621-5624.
- [7] 朱汉云.扩频码同步技术的研究[D].南京:南京理工大学,2009.
- [8] VAN NEE D J R, COENEN A J R M. New fast GPS code acquisition technique using FFT[J]. IEEE Electronics Letters, 1991, 27(2):158-160.

(收稿日期:2013-04-07)

## 作者简介:

李雪,女,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:通信信号处理。

袁建华,女,1954年生,硕士,副教授,主要研究方向:无线通信与网络通信。

王守亚,男,1989年生,硕士研究生,主要研究方向:通信信号处理。