

引用格式:陈富,张峰干,谭志浩,等.基于FFT的卫星检测识别系统设计与实现[J].电光与控制,2018,25(7):73-76. CHEN F, ZHANG F G, TAN Z H, et al. FFT based design and implementation of a satellite detection and identification system[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(7): 73-76.

## 基于FFT的卫星检测识别系统设计与实现

陈富, 张峰干, 谭志浩, 郑浩  
(火箭军工程大学, 西安 710025)

**摘要:** 卫星检测识别是移动通信天线跟踪系统中的关键技术。设计并实现了一种基于FFT的卫星信号检测识别系统,该系统通过检测卫星信标信号识别卫星,保证了识别率。在卫星跟踪阶段通过FFT实时纠正频偏,使频偏稳定在一定范围以内,提高了天线跟踪目标卫星的精度和稳定性。

**关键词:** 卫星识别; 信号检测; 信号强度; 卫星跟踪; 频偏

中图分类号: TN927+.23 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2018.07.015

## FFT Based Design and Implementation of a Satellite Detection and Identification System

CHEN Fu, ZHANG Feng-gan, TAN Zhi-hao, ZHENG Hao  
(Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** The satellite detection and identification is critical to the mobile communication antenna tracking system. A satellite signal detection and recognition system based on FFT was designed and implemented. In the system, the recognition rate is ensured by detecting the satellite beacon signal for satellite recognition, and the frequency deviation is corrected by real-time FFT at the satellite tracking stage, so that the frequency deviation is kept within a certain range. Therefore, the accuracy and stability of the antenna in target-satellite tracking are improved.

**Key words:** satellite recognition; signal detection; signal intensity; satellite tracking; frequency deviation

### 0 引言

随着卫星通信技术的迅速发展,在运动中实现连续稳定地与卫星实时数据交换变得越来越普遍。运动中,卫星通信质量的高低取决于天线跟踪目标卫星的精度,目前移动通信系统大部分采用检测卫星特征信号识别卫星,并根据检测的信号强度补偿传感器漂移误差,实时调整天线指向使波束精确对准目标卫星,从而实现运动中精确、稳定的通信。因此卫星识别与信号检测是移动通信的关键技术,是系统功能实现和精度提高的关键环节<sup>[1]</sup>。

目前移动通信系统普遍采用信标机检测识别卫星,信标机检测具有检测频带窄、识别率高的特性,但检测设备成本高、复杂度高,而且在跟踪过程中信标信

号频率波动变化,若不加以处理,会影响卫星跟踪精度,甚至造成丢失卫星的情况<sup>[2]</sup>。鉴于此,本文设计了一种基于FFT的卫星检测识别系统,解决了上述成本高、系统复杂度高的问题,同时在卫星跟踪阶段,利用FFT实时纠正频偏、锁定信标信号,提高了卫星跟踪的精度与稳定性。

### 1 系统检测识别原理

卫星检测识别是指通过检测卫星转发的特有信号判断所对卫星是否为目标卫星,以及通过检测其强度值为调整天线波束指向作参考的过程<sup>[3-4]</sup>。本系统通过检测信标信号识别卫星,系统采用调谐器将接收的射频信号直接下变频为基带信号,通过低通滤波器滤除高频信号,输入到对数放大器,对数放大器对输入的信号进行线性放大,最终输出与信号幅度成正比的电压值。接收到的信号越强,其信号幅度越大,则系统输出的电压值越大,因此系统输出电压值即可表示接收信号的信号强度。

当移动通信设备处于初始捕获即对星阶段时,本

收稿日期:2017-07-06 修回日期:2017-08-24

基金项目:国家自然科学基金(61179005)

作者简介:陈富(1993—),男,河南泌阳人,硕士生,研究方向为宽带移动卫星通信与智能天线技术。

系统根据目标卫星信标信号参数设置调谐器本振频率,然后采集信号强度值,当信号强度大于设定的阈值时,系统检测到信标信号,即识别目标卫星。

## 2 系统设计

系统的核心功能是检测卫星信标信号强度、识别目标卫星,并通过实时 FFT 纠正频偏,锁定卫星信标信号<sup>[5]</sup>。检测的信标信号强度能够反映天线波束指向对星的程度,指向偏差越大,信号强度越小,则可根据检测的信号强度大小来识别卫星。同时,当处于卫星跟踪阶段时,系统采集低通滤波器输出值,利用 FFT 实时计算频偏(实际信标信号频率与本振频率之间的频差),调整本振频率,使频偏值处于一定的范围之内,则低通滤波器通过信标信号,滤除高频信号,从而使系统实时锁定目标卫星信标信号,进而实现在卫星跟踪阶段稳定、精确的通信。

### 2.1 硬件电路组成

系统硬件组成主要包含调谐器、低通滤波器、对数放大器、ARM 控制器和电源 5 个部分<sup>[6-7]</sup>,其电路组成如图 1 所示。

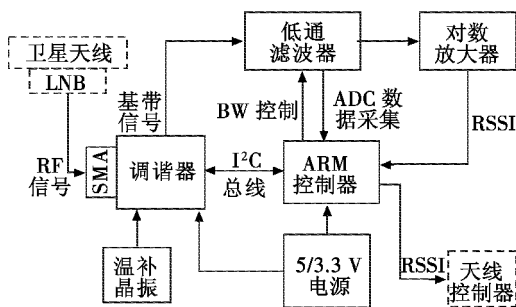


图 1 硬件电路组成

Fig. 1 Hardware circuit composition

1) 调谐器主要用来将 LNB(高频头)输入的射频信号(950 ~ 2150 MHz)直接下变频至基带信号。本系统选用美国 Maxim 公司 MAX2112 芯片,该芯片集成了可编程的 7 阶巴特沃斯滤波器,提供了 4 ~ 40 MHz 带宽的滤波范围,输出信号带宽可通过程序设置。

2) 低通滤波器主要用来滤除高频信号,通过窄带的信标信号用于检测,其带宽可通过程序设置,因在移动通信中,信标信号波动较大,带宽设置过小易造成检测不到信标信号的现象,因此一般设置在 35 ~ 45 kHz 之间。

3) 对数放大器用于对输入的信号进行线性放大,最终输出与信号幅度成正比的电压值。

4) ARM 控制器用来控制和协调各模块电路的工作。主要完成调谐器的初始化、低通滤波器的带宽设置、ADC 采集滤波后的数据进行 FFT 求频率偏移、信

号强度采集、通过 UART 串口把信号强度数据传输到天线控制器等功能。

5) 电源为系统各模块供电。

硬件电路工作原理为:系统工作时,根据目标卫星信标信号参数设置调谐器本振频率,移动通信天线接收卫星信号经 LNB 下变频至 950 ~ 2150 MHz 的射频信号,射频信号通过天线接头(Sub-Miniature-A, SMA)传输到调谐器,与本振频率进行混频,直接把射频信号下变频至基带信号,基带信号经低通滤波器滤除高频信号,通过窄带的信标信号,传输至对数放大器进行线性放大,最终输出与信号幅度成正比的电压值;ARM 控制两路 ADC 数据采集,当系统处于识别并捕获目标卫星阶段时,采集信号强度值,通过 UART 串口传输到天线控制器,为控制天线指向提供参考。当系统捕获卫星进入卫星跟踪阶段时,采集低通滤波后的数据进行 FFT 求频率偏移,根据频偏调整调谐器本振频率,使信标信号频率与本振频率混频后的频差时刻小于 1 kHz,则低通滤波器通过的只有信标信号,即在卫星跟踪阶段,系统能够时刻锁定信标信号,从而实现稳定的检测。

### 2.2 软件设计

基于 FFT 的卫星信号检测系统的软件主要包括以下两个部分。

#### 2.2.1 ARM 控制程序

ARM 控制程序主要是控制和协调各个模块的工作,程序分为 6 个部分。

1) 初始化任务。对使用到的 ARM 芯片端口、UART 串口、按键显示、ADC 数据采集进行初始化。

2) I<sup>2</sup>C 总线串行通信任务。控制调谐器完成初始化(初始化过程包括根据目标卫星信标信号参数设置调谐器本振频率),读取调谐器工作状态,根据 FFT 求得频偏调整本振频率。

3) 端口控制任务。控制 ARM 芯片部分端口电平高低设置滤波器带宽。

4) 数据采集及 FFT 求频偏任务。采集滤波后的数据进行 FFT 求频偏,采集对数放大器最终输出电压值。

5) UART 串口通信任务。将采集到的信号强度值传输到天线控制器。

6) 按键显示扫描任务。扫描按键,刷新显示数据。

#### 2.2.2 调谐器调谐程序

调谐器调谐程序主要是完成 MAX2112 初始化,根据目标卫星信标信号参数(信标信号频率)设置本振频率、数字可变增益、调谐器内部滤波器带宽等参数。

软件设计的整体流程如图 2 所示。从流程图中可以看到有一个判断频偏是否大于 1 kHz 的过程,这是因为在卫星跟踪过程中,信标信号频率会受移动设备速

度、多普勒频移等影响变化不定,使得测得的频差变化不定,甚至出现突变的现象<sup>[8-9]</sup>。加此判断条件可增加系统的稳定性,使得频率偏移值稳定在 1 kHz 以内,可保证卫星跟踪时高精度、稳定的通信。

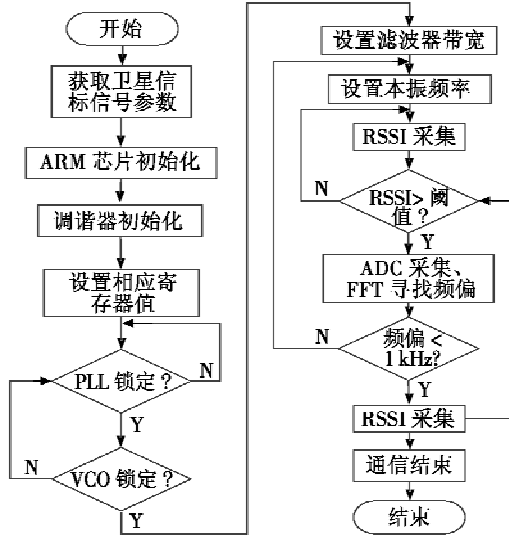


图2 系统工作流程图

Fig.2 Flow chart of system operation

### 3 系统测试

系统设计完成后,为验证本系统的可行性,将样板板连接到移动通信设备,进行静止下的寻星过程,并与上位机相连传输采集的数据。实验选取亚太七号为目标卫星(信标频率为 12 749.313 MHz),在移动设备静止情况下全方位搜索目标卫星的过程中,实时采集检测的信号强度,通过串口传给上位机,绘制出信号强度变化曲线。

图3是系统检测信标信号强度的变化图,从图中可以看到,第1个峰值是移动通信设备天线搜索到目标卫星;第2,3,4个波峰代表移动通信设备根据检测的信标信号强度调整天线方位角,使天线在方位上对准信号强度最大的方向,即在方位上对准卫星;第5个波峰是移动通信设备调整天线俯仰使天线在俯仰上对准卫星,最终系统锁定目标卫星,信号强度值趋于稳定。

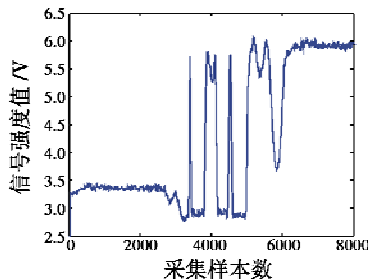


图3 信标信号强度变化曲线

Fig.3 Change of beacon signal intensity

移动通信设备在运动中通信时,多普勒效应会使检测到的信标信号频率波动变化,致使在卫星跟踪过程中频率偏移值起伏不定,甚至会造成丢失目标卫星的情况。为此实验设置初始的调谐器本振频率为 1 449.293 MHz,产生初始频率偏移 20 kHz。实验采集实时纠正的频率偏移值、频偏纠正前 FFT 数据及纠正后 FFT 数据,绘制变化曲线,如图4~图6所示。

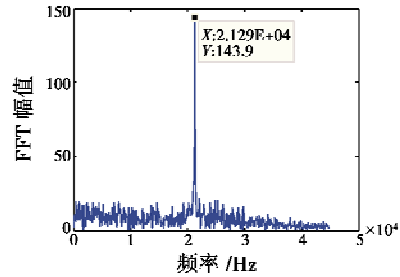


图4 纠正前频偏值

Fig.4 The frequency deviation value before correction

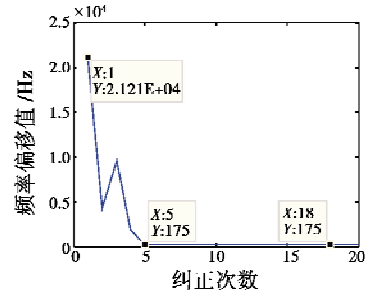


图5 频偏变化曲线

Fig.5 Frequency deviation curve

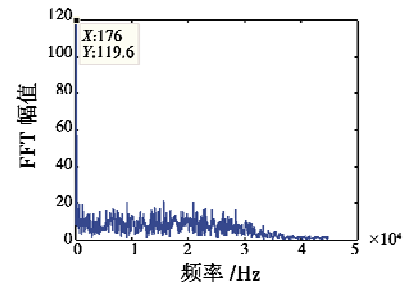


图6 纠正后频偏值

Fig.6 The frequency deviation value after correction

从图4和图5中可看出,对准卫星后,检测纠正前的频率偏移值与实时纠正频偏的初始频偏值很相近,但与设置的初始频偏值相差 1.2 kHz 左右,这是因为用频谱仪测得实际的亚太七号信标信号频率为 1 449.314 28 MHz,与查资料得到的信标信号频率有所偏差,但所测的频率偏差与实际所设的频率偏差很相近。从图4中可以看出,随着纠正次数的增加,频偏越来越小,渐趋于一个稳定值 175 Hz,且与图6纠正后求得的频率偏移值相近,此时系统锁定信标信号,因频偏小于 1 kHz,系统自动停止纠正<sup>[10-11]</sup>。

由实验数据分析可知,在误差允许的范围内,本系统能够检测信标信号用于识别卫星,并将检测的信号强度传输给天线控制系统,为控制天线指向作参考;在卫星跟踪阶段,通过 FFT 实时纠正频偏,可使频率偏移值稳定在 1 kHz 以内,提高了卫星跟踪时通信的精度及稳定性。

#### 4 结束语

为提高移动通信在卫星跟踪阶段的精度和稳定性,本文提出了基于 FFT 的信号检测识别方案,系统设计简单实用,其成本和复杂度都远低于信标机。创新之处在于在卫星跟踪阶段利用 FFT 实时纠正频偏,使得频偏稳定在一定范围内,提高了卫星跟踪阶段通信的精度和稳定性,同时本系统通过检测信标信号识别卫星,保证了高识别率的特性,整个系统结构简单,易于实现,具有广阔的应用前景。

#### 参 考 文 献

- [1] 裴立业. 卫星信号自动检测与识别技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2013.
- [2] 王博,李锋,焦海松,等. 北斗接收机主要指标测试方法与分析[J]. 导航定位学报,2015,3(2):19-23.
- [3] 刘冰,卢伟. 卫星干扰信号识别与测量系统设计[J]. 中国新通信,2012,14(6):75-77.
- [4] 李学军. 基于 DVB-S 的“动中通”卫星信号检测系统[J]. 计算机光盘软件与应用,2014(9):275-276.
- [5] PULLELA R, CHANG G, RAMESH S. Method and system for guard band detection and frequency offset detection; US 20150256248[P]. 20150910.
- [6] 陈茹梅,张晔,姚乐乐. 基于 FFT 的卫星遥测数据载波捕获方法[J]. 电子设计工程,2017,25(5):103-106.
- [7] COLAVOLPE G, FOGGI T, UGOLINI A, et al. A highly efficient receiver for satellite-based automatic identification system signal detection[C]//Advanced Satellite Multimedia Systems Conference and the 13th Signal Processing for Space Communications Workshop, IEEE, 2014:120-127.
- [8] 祁东杰. 大频偏、高动态扩频信号捕获跟踪技术及其 FPGA 实现[D]. 北京:北京理工大学,2015.
- [9] 唐崇楠. 基于 FPGA 的数字信标接收机设计[D]. 南京:南京邮电大学,2012.
- [10] 魏婵娟,张春水,闻长远,等. 卫星导航信号并行频率搜索频点修正 FFT 方法研究[C]//中国卫星导航学术年会,西安,2015:43-48.
- [11] YAN K, ZIEDAN N I, ZHANG H, et al. Weak GPS signal tracking using FFT discriminator in open loop receiver[J]. GPS Solutions, 2016, 20(2):225-237.
- (上接第 72 页)
- [7] 张中华,李鹏松,付景超. 基于中心流形理论的小水电并网系统 Hopf 分岔分析[J]. 振动与冲击,2015,34(2):50-54.
- [8] RAY A, WU M K, DAI X, et al. Damage-mitigating control of space propulsion systems for high performance and extended life[C]//The 29th Joint Propulsion Conference and Exhibit, 1993:2080-2093.
- [9] LI D, CHEN T, MARQUEZ H J, et al. Damage modeling and life extending control of a boiler-turbines system[C]//Proceedings of the American Control Conference, IEEE, 2003:2317-2322.
- [10] 谢金标,姚卫星. 疲劳 S-N 曲线拟合的双加权最小二乘法[J]. 宇航学报,2010,31(6):1661-1665.
- [11] 吴志强,张建伟. 二元机翼极限环颤振复杂分岔[J]. 工程力学,2008,25(2):52-55.
- [12] 郑国勇,杨翊仁. 结构非线性机翼的超音速和高超音速颤振[J]. 西南交通大学学报,2007,42(5):578-582.
- [13] CAPLIN J, RAY A, JOSHI S M. Damage-mitigating control of aircraft for enhanced structural durability[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2001, 37(3):849-862.
- [14] DOWLING N E. Mean stress effects in stress-life and strain-life fatigue[R]. Warrendale;SAE Technical Paper, 2004.
- [15] 杨超,许赞,谢长川. 高超声速飞行器气动弹性力学研究综述[J]. 航空学报,2010,31(1):1-11.
- [16] BOLLER C, SEEGER T. Materials data for cyclic loading: low-alloy steels[M]. Amsterdam;Elsevier, 2013.
- [17] 殷之平,谢伟. 结构疲劳与断裂[M]. 西安:西北工业大学出版社,2012.