

一种新型调频广播授时信号体制研究

胡召鹏^{*①②} 李实锋^① 向渝^①

^①(中国科学院国家授时中心 西安 710600)

^②(桂林电子科技大学广西精密导航技术与应用重点实验室 桂林 541004)

摘要: 利用调频广播附加信道作为载波进行时间信息的传递为调频广播授时奠定了基础, 该文基于对调频广播附加信道的研究, 提出新的授时扩频码设计方法并详细设计了扩频码内容, 既符合信道条件要求, 又有利于接收端的精确捕获跟踪, 从而进行时间信息的传递并实现授时功能, 实测结果验证了该方法的可行性和准确性。

关键词: 授时; 调频广播; 扩频码; 附加信道

中图分类号: TN966.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2020)07-1661-05

DOI: 10.11999/JEIT190123

Research on a New FM Broadcasting Timing Signal System

HU Zhaopeng^{①②} LI Shifeng^① XIANG Yu^①

^①(National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China)

^②(Key Laboratory of Precision Navigation Technology and Application in Guangxi, Guilin University of Electronic Science and Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Use of FM radio of additional information channel as a carrier lays a solid foundation for time pass for FM radio. Based on the research of FM radio additional channels, a new design method of time-sharing spread spectrum code is proposed and the content of spread spectrum code is designed in detail. It not only conforms to the requirements of the channel conditions, but also is helpful for accurate tracking capture at the receiving end, and for the time information transmission and timing functions. The measured results show the feasibility and accuracy of the method.

Key words: Timing; FM radio; Spreading code; Additional channel

1 引言

调频广播系统是人们生活中十分常见的无线电广播系统。在FM调频广播系统中,除了包含单声道,立体声和导频信道外,RDS和SCA信道可以提供辅助的数据服务。按照国家标准(GB431113-845)规定,我国调频广播的频率范围为87.5~108 MHz,各电台间频道间隔为200 kHz,最大频偏为75 kHz,最高调制频率为15 kHz。53~100 kHz几乎是闲置的,可扩展出多个副信道,RDS频段副载波频率为57 kHz;SCA1频段为61~73 kHz,SCA2频段为86~98 kHz,可以传送数据和其它信息。附加信道可用来发送授时信息。因此,以调频广播作为载波,选用FM-SCA信道广播一定精度的授时信号,可以对调频广播系统的应用领域实现扩充,同时也为无线电授时技术提供了新的思路。由于使用附加信道进行授时功能的扩展,因此在保证较高授时精度的同时,不会对其他广播信道产生干扰^[1,2]。

授时技术发展至今,各种授时手段都发挥着重要的作用。目前,星基授时技术具有纳秒级的授时精度,可覆盖全球,但由于星基授时信号易受干扰和遮挡,不便于进行区域授时。长短波等陆基授时技术同样拥有毫秒级以上的授时精度,且作为星基授时的一种补充手段仍然发挥着重要的作用。本文提出的调频广播授时技术作为一种新的授时手段,相比其他常用授时手段,使用更方便快捷,具有较高的授时精度,预计可达亚毫秒级的授时精度,可满足区域授时及战场编队时间同步等应用需求^[3,4]。

2 信号体制设计

2.1 信号结构方案

授时信号采用BPSK调制方式,采用“测距码+授时电文”调制在载波上面,信号结构为

$$S^j(t) = AC^j(t)D^j(t) \cos(2\pi f_1 t + \varphi^j) \quad (1)$$

j 表示授时站点编号; A 表示信号幅度; C^j 表示信号测距码; D^j 表示调制在测距码上面的数据码; f_1 和 φ^j 表示信号载频和初始相位。

2.2 帧结构设计

在综合考虑伪距测量精度和TOD数据传输率的基础上,采用127 bit的伪随机序列进行扩频。该扩频序列的生成多项式为

$$G(X) = X^7 + X^3 + 1 \quad (2)$$

生成的PN序列码周期为40 ms,每秒调制数据25 bit,占用带宽3.175 kHz。每秒PPS(秒脉冲)起始时刻开始扩频调制,每个PN序列周期调制1 bit的授时电文。其授时体制如图1所示^[5]。

2.3 授时电文插播

通过对调频广播原有信号体制的研究,设计了用于插播的时间信息格式,其基本结构设计如图2所示。一个授时信息bit长度是40 ms,速率是25 bps,与周期为127个码片的帧头扩频码相乘,得到调制后的扩频码流,设计扩频码码率是3.175 kbps^[5]。

2.4 帧同步码

每帧起始的11 bit为帧同步码(pre),由巴克码组成。由于移动通信系统中,数据传输之前,集中插入帧同步码以实现数据帧识别,要求插入的帧同步码具有良好的自相关性能,以降低伪同步可能性,因此使用巴克码作为帧同步码十分适用。

2.5 授时信息

授时电文每帧历时4 s,每秒起始时刻调制11 bit的Baker码便于信号的捕获与跟踪以及1 PPS的输出。随后为2 bit的授时帧序号,该值取值为0~3,表示本秒发送的数据在授时电文中的排列顺序,最后是要发送的12 bit的授时电文。授时电文由34时间信息、8 bitCRC校验位和6 bit保留位组成,总共为48位^[6]。

时间信息由年,月,日,时,分,秒,共34 bit组成,具体编码如下:

- (1) 年份编码:共8 bit,表示以2000年为基准,到当前时间的年数,年份可表示到2127年;
- (2) 月份编码:共4 bit,表示当前时间的月,取值1~12,表示1~12月;
- (3) 日期编码:共5 bit,表示当前时间的日,取值1~31,表示1~31日;
- (4) 小时编码:共5 bit,表示当前时间的时,取值0~23;
- (5) 分钟编码:共6 bit,表示当前时间的分,取值0~59;
- (6) 秒钟编码:共6 bit,表示当前时间的秒,取值0~59。

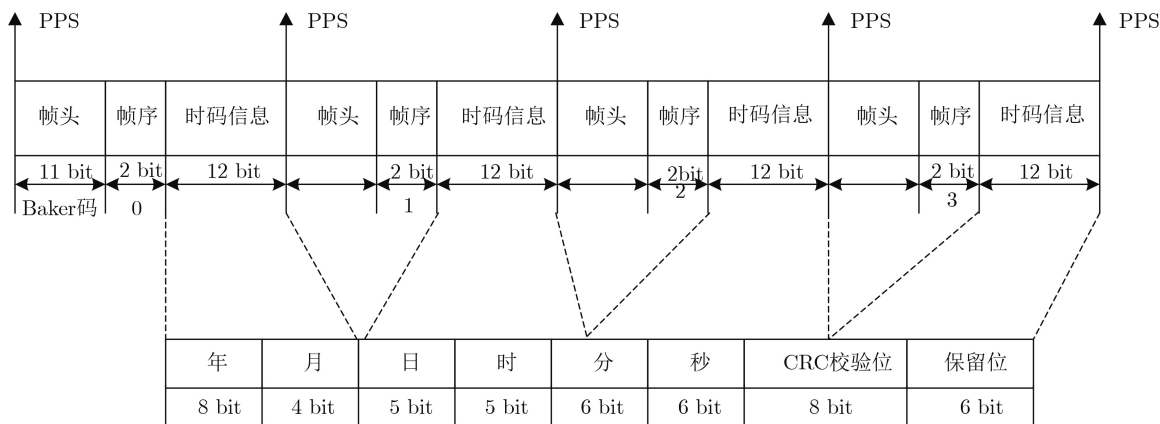


图1 调频广播授时体制

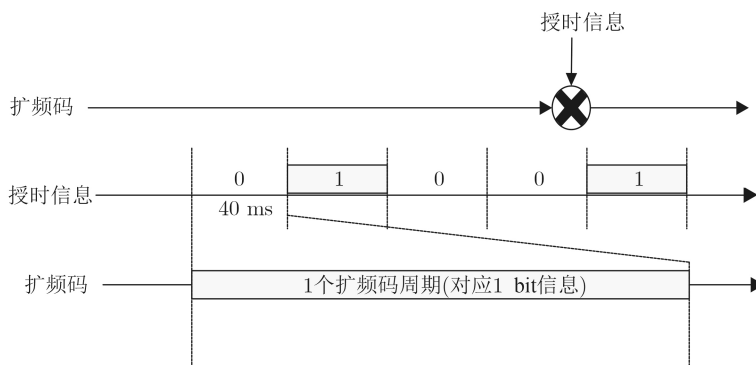


图2 插播授时信息基本结构

以上编码都是高位在前，低位在后，按照年月日时分秒的顺序依次排列。

如果表示2017年10月23日9时46分58秒，时间编码内容如表1所示。

表1 时间编码

序号	时间信息	数值	编码内容
1	年	17	00010001
2	月	10	1010
3	日	23	10111
4	时	9	01001
5	分	46	1011110
6	秒	58	111010

时间编码 0001000110101011101001101110111010 时间编码

2.6 奇偶校验信息

每帧的35~42 bit为CRC(循环冗余校验)校验信息，共8 bit，完成对34 bit的时间信息校验，该校验采用与GPS类似的CRC校验。CRC生成多项式如式(3)所示^[7,8]：

$$G(X) = X^8 + X^2 + X + 1 \quad (3)$$

保留位以6 bit组成，以0填充。

3 信号的接收部分设计

3.1 捕获

捕获主要是指1 PPS帧头信号的扩频码捕获。扩频码捕获采用滑动相关技术，先保存好完整的一周期本地扩频码数据和接收到的数据，然后用高速时钟驱动进行相关运算，如图3所示。当相关峰出现并超过门限值时候，判断捕获成功。如果相关峰没有出现，等待接收数据输入1 bit，滑动一个相位，然后再进行相关，一直重复进行^[9]。

3.2 跟踪

捕获成功以后，随即启动信息bit对应的扩频码的跟踪，就是启动码发生器输出码流，输入数据和码发生器都在码时钟的驱动下进行滑动相关，因

为1 PPS帧头的扩频码和信息bit的扩频码在时间上是相连的，所以相位是相同的。根据跟踪得到的相关峰信息提取，得到信息bit。然后判断帧头成功以后，把授时信息提取出来，并进行CRC校验，如果校验成功，就输出时间信息和1 PPS秒脉冲，如果出现校验错误，则由本地时钟计数器输出时间信息和1 PPS脉冲^[10]。

4 授时精度测试与分析

测试内容是将授时信号发生器链接FM广播电台激励器，由电台发射机进行广播，利用授时接收实验平台进行实地接收并输出授时时间信息和1 PPS信号，并与发射端本地时间信息对比。然后以高精度的GNSS接收机作为基准，通过分析两者的1 PPS信号时延可得出该实验的授时精度。测试方法如图4所示。

本次测试是将调频广播授时实验平台接入江苏广播某台发射系统中，在其停播检修时段进行的实际测试，在进行授时信号收发试验的同时，对其他正常发播的广播节目进行了在线监测分析。由于附加信道的频率已超出普通立体声接收机的工作范围，因此只要对频偏控制得当，不会影响立体声节目的正常播出的。监测分析结果表明，实测附加信道的最大频偏小于主频道最大频偏的1/10，在进行授时功能测试的同时，实验并未对该频段及其他广播信道的正常发播产生影响，各项数据都处于正常范围^[11]。

首次测试结果如图5所示，通过图5可以看出调频广播实验平台得到的1 PPS信号与高精度的GNSS接收机1 PPS信号比对的标准差值为75.57 μs，测试结果波动稳定，数据并无明显偏移。第2次测试更换了测试地点和调频广播频段，并采用了动态测试的手段，测试结果如图6所示，标准差值为155.4 μs。测试结果虽然发生一定变化，但仍然相对稳定，这是由于接收平台变化位置而引起的波动。通过多次动态静态测试分析可知，使用调频广播附加信道进行授时功能的扩展，预计可提供亚毫秒级精度的授时服务。

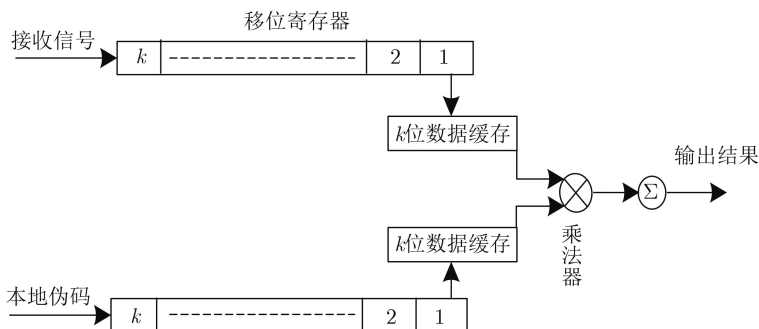


图3 滑动相关法示意图

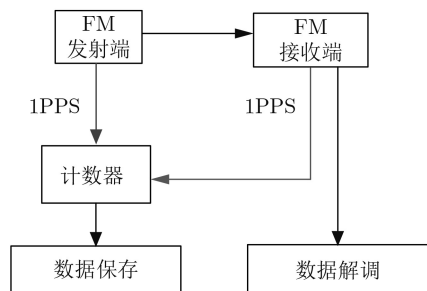


图4 授时精度测试方法流程图

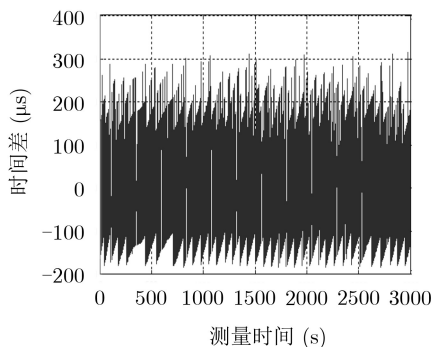


图5 第1次授时精度测试结果

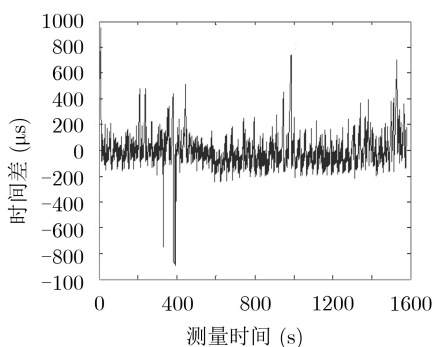


图6 第2次授时精度测试结果

5 结束语

无线电授时技术的发展已经经历了很长一段时间，许多授时方法与技术已经日趋成熟。长短波授时、低频时码授时以及GNSS卫星授时技术等都是在专用授时频率进行时间频率的传递。随着无线通信技术的快速发展和广泛应用，无线频率资源变得越来越紧张，获取专有的授时频率资源异常艰难，在这样的条件下对无线电授时新方法的研究提出了挑战。本文针对调频广播附加信道的优势和特性，拓展出一种基于调频广播信号的授时新方法。本文方法使用了成熟的授时信号收发技术，设计了新的信号体制，文中还将新的体制运用于调频广播授时实验平台的设计和实现中，实测结果验证了该信号体制的可行性，实验数据表明了本文方法的有效性和准确性。为继续提高调频广播的授时精度，可通过对各种误差进行分析与修正(包括调频广播

链路时延、传播时延、时间溯源误差等)，预计调频广播授时精度将与短波授时精度相当^[12]。

参考文献

- [1] 国家广播电影电视总局. GY/T 268.1-2013调频频段数字音频广播 第1部分: 数字广播信道帧结构、信道编码和调制[S]. 北京: 国家新闻出版广电总局, 2013.
The State Press and Publication Administration of radio, film and television. GY/T 268.1-2013 Digital audio broadcasting in FM band—Part 1: Framing structure, channel coding and modulation for digital broadcasting channel[S]. Beijing: The State Press and Publication Administration of Radio, Film and Television, 2013.
- [2] GB 4311.3-1984调频广播 立体声带附加信道[S]. 北京: 中华人民共和国国家标准, 1984.
GB 4311.3-1984 FM broadcasting--Stereo with supplementary channel[S]. Beijing: State Standard of the People's Republic of China, 1984.
- [3] 中国技术监督局. GB/T 4311-2000米波调频广播技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 4311-2000 Technical specifications for FM sound broadcasting at VHF[S]. Beijing: China Standard Press, 2004.
- [4] 国家广播电影电视总局. GY/T 268.2-2013调频频段数字音频广播 第2部分: 复用[S]. 北京: 中华人民共和国广播电影电视行业标准, 2013.
State Administration of Radio, Film, and Television. GY/T 268.2-2013 Digital audio broadcasting in FM band—Part 2: Multiplexing[S]. Beijing: The State Press and Publication Administration of Radio, Film and Television, 2013.
- [5] 胡召鹏. 调频广播授时方法与关键技术研究[D]. [学位论文], 中国科学院大学(中国科学院国家授时中心), 2017: 45-62.
HU Zhaopeng. Study on the timing method and Key technology of FM broadcasting[D]. [Ph. D. dissertation], The University of Chinese Academy of Sciences (NTSC), 2017: 45-62.
- [6] 刘越智, 裴峥, 陈子春, 等. 基于隐马尔可夫模型的调频广播信号整点报时特性识别方法[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2017, 36(4): 5-12, 26. doi: 10.3969/j.issn.1673-159X.2017.04.002.
LIU Yuezhi, PEI Zheng, CHEN Zichun, et al. Time announcing feature recognition of frequency modulation broadcast signals based on hidden Markov model[J]. *Journal of Xihua University: Natural Science Edition*, 2017, 36(4): 5-12, 26. doi: 10.3969/j.issn.1673-159X.2017.04.002.
- [7] YU Wei, LUO Ying, and PI Youguo. Fractional order modeling and control for permanent magnet synchronous motor velocity servo system[J]. *Mechatronics*, 2013, 23(7):

- 813–820. doi: [10.1016/j.mechatronics.2013.03.012](https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2013.03.012).
- [8] 李玉锋. 双基地无源雷达信号检测技术研究[D]. [硕士论文], 哈尔滨工程大学, 2012: 12–34.
- LI Yufeng. Research on signal detection in bistatic passive radar[D]. [Master dissertation], Harbin Institute of Technology, 2012: 12–34.
- [9] LIN J C. Differentially coherent PN code acquisition based on a matched filter for chip-asynchronous DS/SS communications[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2002, 51(6): 1596–1599. doi: [10.1109/tvt.2002.804867](https://doi.org/10.1109/tvt.2002.804867).
- [10] 刘志超. TC-OFDM室内定位接收机的弱信号捕获算法研究与实现[D]. [硕士论文], 北京邮电大学, 2018: 12–22.
- LIU Zhichao. Research and implementation of weak signal acquisition algorithm for TC-OFDM indoor location receiver[D]. [Master dissertation], Beijing University of Post and Telecommunications, 2018: 12–22.
- [11] 张弛. 直扩通信系统伪码捕获的研究及其FPGA实现[D]. [硕士论文], 哈尔滨工业大学, 2016: 12–42.
- ZHANG Chi. Research on acquisition in DS-SS system and its implementation based on FPGA[D]. [Master dissertation], Harbin Institute of Technology, 2016: 12–42.
- [12] 华宇, 郭伟, 燕保荣, 等. 我国授时服务体系发展现状分析[J]. *时间频率学报*, 2016, 39(3): 193–201. doi: [10.13875/j.issn.1674-0637.2016-03-0193-09](https://doi.org/10.13875/j.issn.1674-0637.2016-03-0193-09).
- HUA Yu, GUO Wei, YAN Baorong, *et al.* Developing status of national time service architecture[J]. *Journal of Time and Frequency*, 2016, 39(3): 193–201. doi: [10.13875/j.issn.1674-0637.2016-03-0193-09](https://doi.org/10.13875/j.issn.1674-0637.2016-03-0193-09).
- 胡召鹏: 男, 1986年生, 博士, 助理研究员, 研究方向为无线电导航与授时技术.
- 李实锋: 男, 1983年生, 博士, 副研究员, 研究方向为无线电导航与授时技术.
- 向渝: 男, 1980年生, 博士, 副研究员, 研究方向为无线电导航与授时技术.

责任编辑: 陈倩