

文章编号: 1672-2892(2012)01-0037-05

星上 DVB-S2 载波快速搜索技术

吴慧谦, 黄 焱, 张白愚

(信息工程大学 信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 分析数字视频广播(DVB)-S2 相对 DVB-S 的新特性和发展现状, 提出一种基于 TDQR-C005F 的 DVB-S/S2 载波信号接收参数的搜索方案。重点针对宽带信号载波的中心频率和带宽参数的搜索技术, 以及信号频道的符码率、编码码率和导频参数的三级搜索技术进行分析研究。与传统算法相比, 算法和系统快速有效地解决了对 DVB-S/S2 突发信号的检测识别。实验表明, 除对极少带宽小于 2 MHz 的 DVB 信号难以锁定外, 系统对其他常规 DVB-S/S2 信号实现了准确锁定, 识别搜索率达到 97.5%。

关键词: 载波搜索; 符码率估计; TDQR-C005F 器件; 数字视频广播

中图分类号: TN911.5

文献标识码: A

Quick searching technology for satellite DVB-S/S2 carriers

WU Hui-qian, HUANG Yan, ZHANG Bai-yu

(Information Engineering College, Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450002, China)

Abstract: New features and development status of Digital Video Broadcasting(DVB)-S2 are analyzed compared to DVB-S. This paper proposes a novel search program of the DVB-S2 signal reception parameters based on TDQR-C005F, focusing on the search technologies of carrier center frequency and bandwidth parameters about the broadband signals, and three-step search technology and implementation of the algorithm concerning parameters of the signal channel including symbol rate, coding rate and pilot frequency. The algorithms and systems can meet the detection and identification requirements of the DVB-S2 burst signal compared to traditional algorithms. Experiments show that, the system can lock those conventional DVB-S/S2 signals accurately except for DVB signals whose bandwidth is below 2 MHz, reaching the search rate of 97.5%.

Key words: carrier searching; symbol rate estimation; TDQR-C005F; Digital Video Broadcasting

随着微电子技术、视频压缩技术的不断发展, 基于数字视频广播(DVB)-S 标准的第 1 代卫星广播系统开始受到一些新技术的挑战。第 2 代广播系统 DVB-S2 采用基于低密度奇偶校验码(Low Density Parity Check, LDPC)与 BCH(Bose, Ray Chaudhuri, Hocquenghem)码级联的前向纠错编码技术, 与高阶调制(QPSK, 8PSK, 16APSK 和 32APSK)相结合, 可以工作在距离香农极限仅 0.7 dB~1 dB 处, 充分利用卫星转发器的资源^[1]。目前对 DVB-S2 载波信号的接收技术方面的研究还处在初级阶段, 市场上的 DVB-S2 数字机顶盒主要面向于广播电视业务, 随着 DVB-S2 标准的推广及其承载的数据业务不断增多, 要求 DVB-S2 接收设备不仅要具备数据接收的功能, 而且应该具备一定的控制处理能力, 而现有机顶盒满足不了这些要求。调谐解调器 TDQR-C005F 不具有自动搜索载波信号及其相关参数的功能。本文利用 AT91RM9200 的优良性能, 对 TDQR-C005F 进行了二次系统开发, 实现了对宽带范围内 DVB-S 和 DVB-S2 信号的自动跟踪和解析, 方便了研究工作。

1 载波搜索技术研究

调谐解调器 TDQR-C005F 主要由直下变频调谐器芯片 CX24118 和解调解码芯片 CX24116 组成。CX24118 将 L 波段信号下变频为零中频基带信号^[2], 适合于 8PSK 等先进调制系统, 有较好的相位噪声性能和低操作损耗。

收稿日期: 2011-02-28; 修回日期: 2011-06-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(NO60872142)

CX24116 是集解调与解码于一体的高度集成芯片,在其内部集成了双 8 bit 的模数转换器、I²C 总线控制接口、单路数字自动增益控制(Automatic Gain Control, AGC)、差错控制译码等电路,其内部关系见图 1。

在对 TDQR-C005F 内部结构特性进行研究的基础上,提出了一种针对 DVB-S/S2 信号的自动搜索方案。平台硬件由调谐器 TDQR-C005F 以及嵌入式芯片 AT91RM9200 为整个系统控制核心的控制板构成,系统结构框图见图 2。将对某一段频率范围内的 DVB 信号搜索过程分为 2 个步骤:载波参数搜索和信号频道参数搜索。首先采用宽带信号载波检测技术对载波进行搜索,得到所有载波频率和带宽的估计值;然后在一个较小的符号率搜索空间内对 DVB 信号的符号率、编码码率和导频状态进行 3 级搜索,从而实现了 DVB 信号包括载波频率和信号频道参数的实时获取。

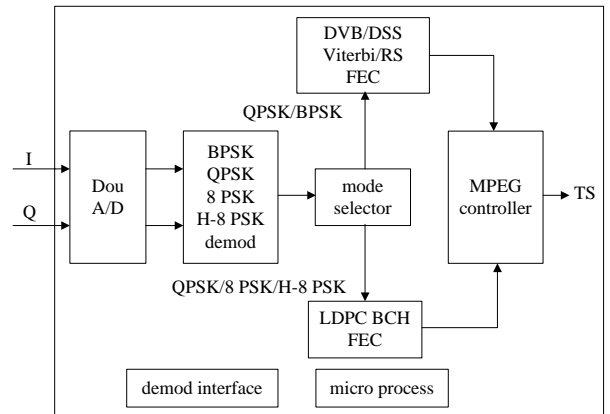


Fig.1 Internal circuit diagram of CX24116
图 1 CX24116 内部电路框图

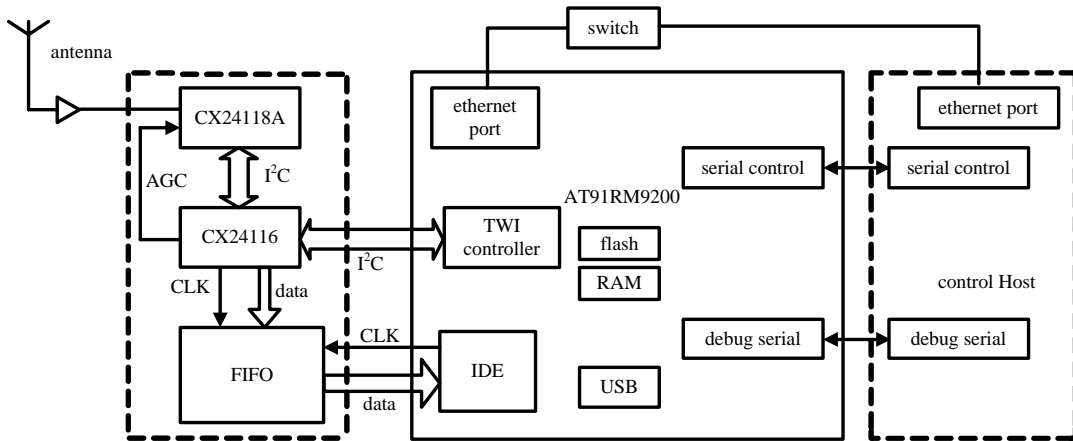


Fig.2 Diagram of system structure
图 2 系统结构图

1.1 载波参数搜索技术研究

载波参数搜索的过程相当于使用频谱分析仪对该频段内宽带信号分析的过程。虽然使用 TDQR-C005F 无法得到频谱分析仪扫频得到的结果,但是可以借鉴这种扫频的方式,本文通过以下 3 个步骤来获取信号的载波参数:

1) 获取信号的 AGC 数据,构成信号的伪频谱数据。CX24116 中相应地址寄存器指示当前 AGC 的强度值,信号载波附近频点的 AGC 值要强于该频段上没有信号的频点,可依据频点上 AGC 值强度反映载波位置^[3]。

对某卫星 L 频段上 950 MHz~1 750 MHz 的信号按照 125 kHz 步进进行载波扫描,同时向主机返回扫描得到的原始 AGC 数据,主机软件画出载波的 AGC 谱图,见图 3。

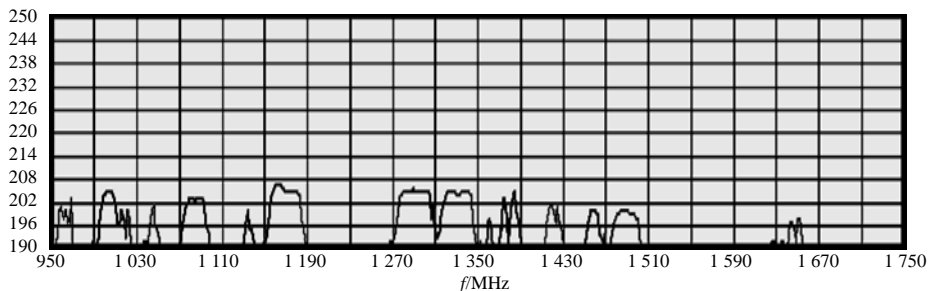


Fig.3 Original AGC intensity spectra of carrier
图 3 载波的原始 AGC 强度谱图

2) 数据预处理,对信号 AGC 数据进行平滑和归一化处理。采用原始 AGC 强度谱图对频段上的信号进行分析,将会存在以下问题: a) 相邻载波靠得过近,导致无法正确区分; b) 载波中心位置有毛刺出现,以致主机软件将其当作干扰而丢弃; c) 载波波形顶部不平坦,主机软件在分析时会错将其当作多个载波来处理; d) 载波幅

度相对较小,使得载波带宽粗估计值过小,致使下一步对信号的频道参数搜索时间加长,甚至无法锁定载波。为了降低后续处理误判的概率,需要对原始数据进行平滑和归一化处理,通过对一些卫星上 DVB 信号 AGC 回传数据进行统计归纳,得出处理关系式为: $AGC1=250-(AGC0-120)\times 0.95$,其中 $AGC0$ 表示原始 AGC 数据, $AGC1$ 表示处理后的数据。

3) 软件处理,将处理后数据交由主机软件,得到载波的 AGC 谱图见图 4。

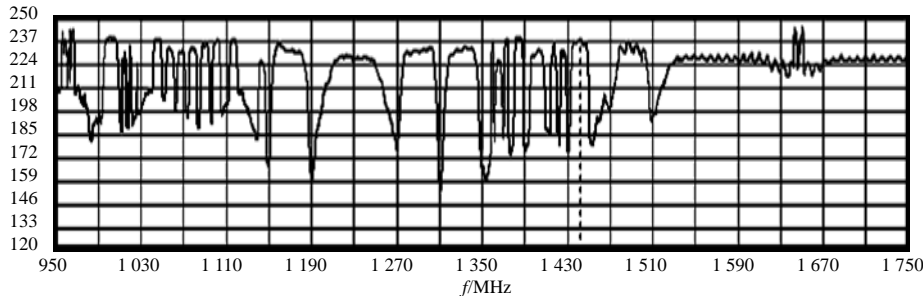


Fig.4 AGC carrier spectrum after data preprocessing
图 4 AGC 数据预处理后的载波谱图

1.2 载波频率和带宽的估计

在载波扫描结束后,就得到了所有的预处理数据与载波中心频率和带宽的粗估计。对平滑后的载波求斜率,就可得到正斜率最大和负斜率最小的 2 个点,2 点之间的距离和 DVB 信号的符号率之间存在一种线性关系^[4]。研究过程中,对一些卫星上的 DVB 信号进行测试,验证了上述结论的正确与可靠。利用这种线性关系,可以进一步将信号频道参数搜索中的符号率搜索空间降到一个较小的范围,加快对符号率的搜索速度。在宽带信号载波搜索结束后,就得到了设定频段内所有宽带信号的载波中心频率和信号带宽估计值。

2 信号频道参数搜索

信号频道参数搜索过程要分析该载波是否为 DVB 信号并确定该信号的符号率、编码码率和导频插入状态。有些文献[5-7]通过综合利用多个尺度的小波变换,改善了符号率估计的性能,但是小尺度可能引入的强噪声使得其不适于低信噪比场合。利用信号的平稳性,采用非线性变换的方法来估计符号率,虽适用于较低信噪比情况,但相应的统计时间更长^[8]。

通过以下 3 个步骤来实现信号的频道参数搜索:

1) 信号类型判断:读取 CX24116 中相应寄存器,判断载波是否为采用 QPSK/8PSK 调制的 DVB 信号。

2) 符号率搜索方案确定:以载波的中心频率作为信号下行频率的估计值,由载波的带宽乘以对应的控制因子给出信号符号率的搜索范围,然后根据信号带宽大小来确定符号率的搜索步进,对不同带宽信号的搜索顺序也不一样。

3) 确定控制因子和步进:控制因子和符号率的搜索步进是在大量实验的基础上,对实验结果和载波带宽统计分析得出的结果,对于不同的带宽,控制因子和步进大小也不同。

对 17 颗卫星的 2 个极化 950 MHz~2 150 MHz 频段范围上的 DVB 信号分别搜索,依据信号带宽不同,统计得出本系统的控制因子参数范围和符号率搜索步进档次见表 1。

其中, $K1$ 表示搜索 DVB 信号时的控制因子参数, $W1$ 表示符号率的搜索步进大小。表中 B 为带宽,符号率搜索范围为 $K1min*B \sim K1max*B$ ($K1min, K1max$ 分别对应控制因子的最小和最大值),对于大带宽信号(10 MHz 以上信号),符号率从 $K1max*B$ 开始按 $Sym=K1max*B-W1$ (Sym 表示符号率大小)的关系进行搜索,直至超出 $K1min*B$;小带宽信号符号率则从 $K1min*B$ 开始按 $Sym=K1min*B-W1$ 的关系进行搜索,直至超出 $K1max*B$ 。

与符号率搜索同时进行的还包括对编码码率和导频的搜索。首先,以 1 个步进对符号率进行第 1 级搜索;进入第 2 级搜索,在编码码率的第 1 种方式,对导频的 2 个状态分别搜索;进入第 3 级搜索,依次对编码码率的其他方式和导频状态进行搜索,对信号的频道参数每进行 1 次 3 级搜索,就相当于将这些频道参数通过 AT91RM9200 处理器发送到一体化调谐解调器中,读取 CX24116 中的锁定标志寄存器,判断锁定结果。

表 1 控制因子和搜索步进参数列表

Table1 Control factors and the search step parameter list

B/kHz	$K1$	$W1/kHz$
2 000-4 000	0.8-1.3	10
4 000-6 000	0.8-1.3	20
6 000-10 000	0.8-1.2	40
10 000-25 000	1.0-1.4	70
>25 000	1.0-1.2	150

研究过程中发现, 信号初步锁定时, 载波的频率偏移值 $Freq_{off}$ 、符号率偏移值 Sym_{off} 并不为零, 这主要是因为 DVB-S2 信号的符号率都可能有 1 个较宽的锁定范围, 而此时搜索出来的值刚好是临界值, 因此需要根据载波的频率和符号率偏移值修正信号的下行频率和符号率的大小, 以便得到精确的 DVB-S2 信号频道参数。将搜索出的频率值 $Freq$ 和符号率值 Sym , 与信号的实际频率值 $Freq_{real}$ 和符号率值 Sym_{real} 相比较, 得出以下关系, 对信号的载波频率和符号率进行修正。

$$Sym_{real} = Sym + sym_{off}$$

$$Freq_{real} = Freq + Freq_{off}$$

系统测试中对亚太地区上空 18 颗卫星的 2 种标准载波进行了搜索, 并对相应信号的解码输出流进行播放和数据分析。结果证明除对 8 个带宽小于 2 MHz 的 DVB 信号难以锁定外, 对其上其他 310 个 DVB-S 信号和其中 6 颗卫星上的 10 个 DVB-S2 信号都可做到正确接收, 并与相关资料公布的数据相符, 总的识别搜索率达到 97.5%。图 5 和图 6 分别是对亚洲三号(105.5° E)下行载波中的信号载波和 DVB-S 以及 DVB-S2 信号的搜索结果。图 6 框中框注部分即为该星上的 DVB-S2 载波及相应参数。

center frequency/kHz	bandwidth/kHz
1045000	4000
1085000	4000
1149000	5000
1190000	4000
1270000	4000
1310000	4000
1335000	6000
1346000	6000
1357000	4000
1365000	5000
1400000	2000
1419000	4000
1427000	1000

Fig.5 Search results of satellite signal

图 5 卫星信号搜索结果

No.	center frequency/kHz	downlink frequency/kHz	symbol rate/(S·s ⁻¹)	quality	record time
1	1149500	4000500	28125000	70	08:09:03
2	1189500	3960500	27499000	73	08:09:06
3	1270500	3879500	27499000	78	08:09:10
4	1310500	3839500	28099000	73	08:09:11
5	1334375	3815625	2889000	80	08:09:19
6	1345375	3804625	3255000	75	08:09:27
7	1364250	3785750	5999000	73	08:09:54
8	1399250	3750750	14322000	70	08:09:54
9	1445750	3704250	4167000	78	08:10:22
10	1520250	3629750	2500000	91	08:10:26

Fig.6 Search results of DVB-S/S2 signal

图 6 DVB-S/S2 信号搜索结果

3 结论

本文利用嵌入式处理器 AT91RM9200 的优良性能, 对不具有自动搜索载波信号及其相关参数的功能的 TDQR-C005F 进行系统开发, 提出了基于 TDQR-C005F 的载波频率和带宽参数的精确估计方法。通过信号类型的判断, 以及对符号率、编码码率和导频状态的 3 级搜索, 得到信号频道参数的精确估计, 实现了对星上 DVB 信号的接收锁定, 并结合实际卫星信号进行了系统实验。结果表明, 系统能有效地解决对带宽大于 2 MHz 的 DVB-S/S2 突发信号的检测识别要求。

参考文献:

- [1] ETSI EN 302307-2009. Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, interactive services, news gathering and other broadband satellite applications[S]. 2009.
- [2] CONEXANT Corporation. CX24118 Datasheet Digital Satellite Tuner[R]. Newport Beach, CA: [s.n.], 2004.
- [3] 黄焱. DVB-S 突发信号检测接收技术研究及实现[D]. 郑州: 信息工程学院, 2007. (HUANG Yan. Research and Implementation of Detection and Receiving for DVB-S Burst Signal[D]. Zhengzhou: Information Engineering College, 2007.)
- [4] 贾永强. DVB-S 突发信号侦察技术研究及实现[D]. 郑州: 信息工程学院, 2006. (JIA Yongqiang. Research and Implementation of Reconnaissance of DVB-S Burst Signal[D]. Zhengzhou: Information Engineering College, 2006.)
- [5] Chan T T, Plews J W, Ho K C. Symbol rate estimation by the wavelet transform[C]// IEEE Intention symposium. Hongkong: [s.n.], 2002:9-12.
- [6] 欧鑫. 基于多种小波基的 MPSK 信号符号速率估计[J]. 信号处理, 2009, 25(3):469-471. (OU Xin. Symbol Rate Estimation of MPSK Based on Many Wavelets[J]. Signal Processing, 2009, 25(3):469-471.)
- [7] 李强, 王其申. 基于小波-Radon 变换的线性调频信号检测与参数估计[J]. 信息与电子工程, 2005, 3(3):192-196. (LI Qiang, WANG Qishen. LFM Signal Detection and Parameter Estimation Based on WT-Radon Transform[J]. Information And Electronic Engineering, 2005, 3(3):192-196.)
- [8] Mazet L, Loubaton P. Cyclic correlation based symbol rate estimation[C]// Signals, systems and computers, 1999. Conference Record of the Thirty-Third Asilomar Conference on. Pacific Grove, CA, USA: [s.n.], 1999, 2:1008-1012.

(下转第 50 页)