第21卷 第2期 空 间 科 学 学 报 Vol.21, No.2
2001 年 4 月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Apr., 2001

风云二号 B 星原始云图解调器

张 炜 潘长勇 郭兴波 杨知行
(清华大学电子工程系 北京 100084)

摘 要

介绍了风云二号 B 星原始云图 QPSK 解调器的原理及其实现. 通过使用判决反馈环和可编程比特同步等多项技术, 解调器达到快速捕捉、宽捕捉带宽和低误码率的要求.

关键词 风云二号 B 星— QPSK 解调器—判决反馈环—可编程比特同步器

1 概 述

风云二号 B 星 (以下简称 FY-2B 卫星) 是我国自行制造和发射的第 2 颗地球同步轨道气象卫星, 可全天候对地球进行连续的气象监视. 它的主要功能是通过对地观测, 每小时获取一次原始云图, 并在发送原始云图的间歇转发经地面处理后的低速展宽云图. 其中, 原始云图包括 3 个数据通道: 可见光、红外和水气. 通过处理并转发这些数据, 可以有效地预报天气, 防范自然灾害, 对国民经济、生活具有重要意义. 目前该解调器正样设备已通过验收, 交付中国气象卫星数据接收地面站 (CDAS) 北京站使用.

2 解调器系统组成

FY-2B 卫星的原始云图数传信号是一种周期突发信号, 在它传输的间歇, 信道用于转发展宽云图. 它的周期为 600 ms, 前 42 ms 发送 1 帧原始云图, 后 558 ms 发送一帧展宽云图. 每幅云图持续约 30 min. 原始云图下传为 14 Mb/s 的非限带 QPSK 调制信号, 它的频谱主瓣宽为 14 MHz. 展宽云图信号中心频率为 75.9 MHz, 主瓣宽度为 1.32 MHz. 在原始云图通道内, 由于展宽云图的发射功率较大, 要求采取措施来区分原始云图和展宽云图, 以防止展宽云图干扰原始云图的接收. 在每帧原始云图的数据中, 前导码为 01 交替序列, 长度为 133 kb(约 9.3 ms), 随后为帧头、行号和各种数据等. 如果解调器不能在 9.3ms 内正确解调出数据, 就会丢失整帧数据.

针对这样的信号, 解调器必须满足以下的要求: 快速捕捉能力, 理论上应小于 9.3 ms, 任务书要求小于 3 ms. 为了对抗通道中的频率漂移 (大约 ±20 kHz), 解调器必须有一个能适应此范围的捕捉带和同步带; 为接收到满意质量的图像, 在信噪比为 13.7 dB 时误码率应优于 1×10^{-6}. 解调器系统如图 1 所示.

中频信号经过可变增益放大后, 送入中频滤波器滤除带外噪声和展宽云图信号. 滤波后的信号进行幅度检波, 用于控制 VGC 的增益和中频开关的切换. 系统使用判决反馈环

2000-10-26 收到原稿, 2001-02-15 收到修定稿

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

进行载波同步，可编程比特同步器进行定时同步来恢复并行数据和时钟. 并行数据进行差分译码后送出串行数据和时钟，另外给出数据框信号.

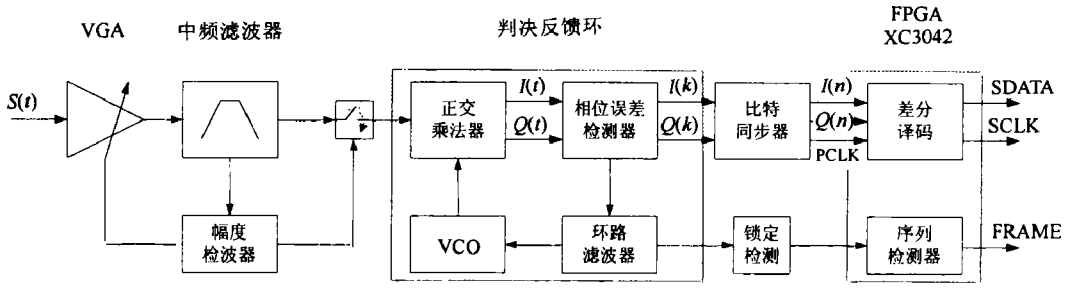


图 1 解调器系统框图

Fig.1 System construction

3 中频通道单元

信号在信道中传输时，由于大气衰落变化、天线指向等各种原因都将引起到达解调器端口电平的变化. 为了保证送到解调模块的中频信号电平稳定，因此，需要有一个自动增益控制电路根据输入信号电平的大小对增益进行自动控制 [1]. 由于 FY-2B 卫星是地球同步卫星，信号电平变化不会很大，因此中频 AGC 控制范围约为 20 dB.

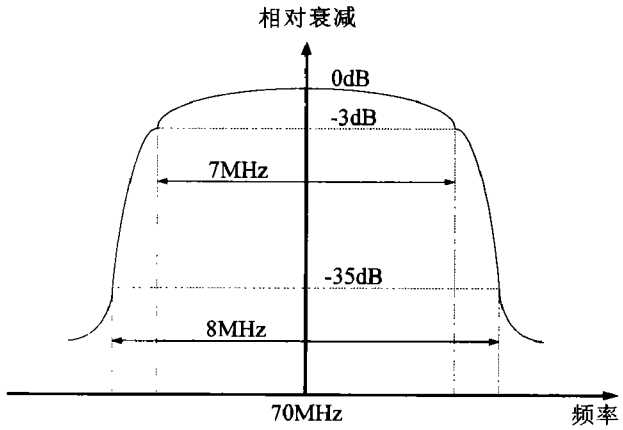


图 2 中频声表面波滤波器

Fig.2 SAW filter for IF

信道输入的信号中除了有用部分外，还混有噪声和干扰. 为了滤除信号带外的噪声和干扰，在设计中使用了中频声表面波 (SAW) 滤波器，它的幅频响应特性如图 2 所示. 使用声表面波器件，是因为它具有通带平坦、带外抑制迅速等特点. 另外，SAW 器件体积小、便于集成. 根据 Nyquist 第一准则，滤波器的通带带宽定制为 7 MHz，可以最大限度的滤除带外噪声，消除数字传输的码间干扰 [2]. 滤波器在偏离中心频率 4 MHz 时抑制可达到 35 dB，这样可以有效地抑制中心频率在 75.9 MHz 处的展宽云图信号 (原始云图的中心频率为 70 MHz).

在中频滤波器后检波，克服了带外噪声和展宽云图的干扰，检出的为原始云图信号的真实功率. 检波电平一方面可以负反馈到 VGC，实现自动增益控制. 另一方面，展宽云图信号经声表过滤后，其功率衰减很大，接近于无信号状态. 这样就可以区分以下 3 种信道中信号的状态：原始云图 + 噪声，展宽云图 + 噪声，噪声. 第一种状态的检波电平明显高于后两种状态. 检波电平判决后，控制中频开关的通断，只有在原始云图信号到来时才

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

打开开关, 防止无用信号对后端产生干扰.

4　载波同步单元

影响解调器捕获时间主要是载波同步环路和定时同步环路. 由于本解调器使用了可编程比特同步器集成电路, 可以保证快速定时同步. 因此, 捕获时间取决于载波同步环路. QPSK 信号载波的快速同步有多种方法 [1], 我们采用了判决反馈环, 其框图如图 3 所示.

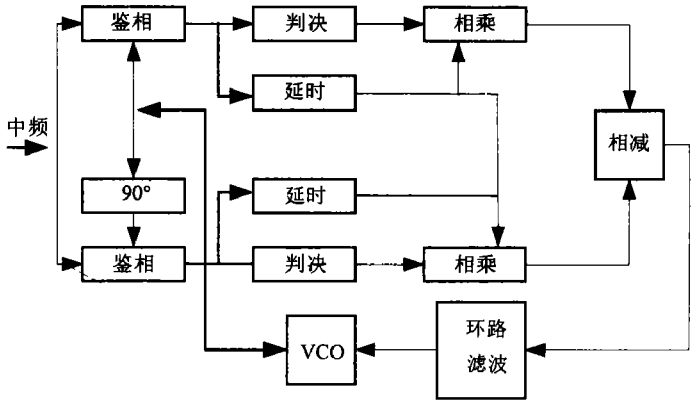


图 3　判决反馈环结构框图

Fig.3　Constration of reverse modulate loop

其鉴相输出为

$$u_{\mathrm{d}}=\begin{cases} K_{\mathrm{d}}\sin\varphi, & \varphi\text{在 1、4、5、8 区域;} \\ -K_{\mathrm{d}}\cos\varphi, & \varphi\text{在 2、3、6、7 区域.} \end{cases}$$

其相位区间见图 4, 鉴相特性如图 5 所示.

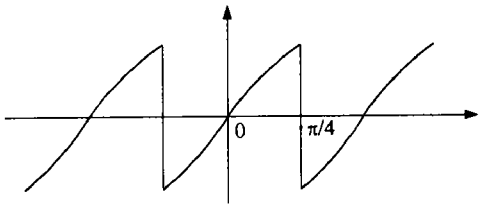


图 4　相位区间

Fig.4　Phase interval

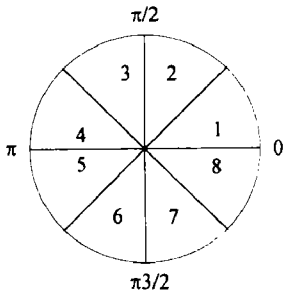


图 5　鉴相特性

Fig.5　Charastic of phase discriminator

同普通的正弦鉴相特性相比, 普通正弦鉴相以 2π 为周期, 而判决反馈环却是以 $\pi/2$ 为周期, 通过逆调制, 可以使环路误差控制在 $\pi/4$ 之内而不是 $\pi/2$. 另外判决反馈环鉴相特性曲线的线性变化范围比较宽, 在没有噪声的情况下判决反馈环的鉴相特性已经接近锯齿形状. 这个特点使相位误差在环路捕获过程中朝锁定点的变化速率加快. 此外同四次

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

方环相比，判决反馈环产生的载波分量的强度比通过非线性变换产生的要强，另外，由于非线性处理少，环路输入端的非线性分量产生的就少，因此环路滤波器的带宽可以相对放宽，这也有利于环路的快速捕获．同逆调制环路相比，虽然它们鉴相特性相同，逆调制环路的处理是在中频进行，需要在中频进行调相并进行检波，实现起来有一定的困难．判决反馈环节省了二次调制，且非线性处理是在基带完成，因此电路的复杂性大大降低，实现起来相对容易一些．

鉴相输出经过环路滤波器过滤后，控制晶体压控振荡器产生相干载波．

综合采用以上措施，实现了载波快速捕捉．经测试，载波、时钟联合锁定时间优于 50 μs，完全满足任务书要求．

5 定时同步单元

判决反馈环路中的判决信号可以直接送入定时同步单元恢复时钟，为了快速地实现同步，使用获得国防专利技术的可编程比特同步技术 (专利号： 96119373.5)．原理如图 6 所示，该电路单元输入 NRZ 码数据，输出恢复的时钟和数据．比特同步器有两个环路：一个数字锁相环 (PLL) 和一个数字锁频环 (FLL)，它们由一个稳定的参考时钟驱动．延时控制电路用以补偿工作条件的变化和器件的离散性，数据再生电路完成输出数据和时钟的同步．由于比特同步器可以在非常宽的频率范围内工作，为了使频率同步快速收敛，设计了一个包括鉴频器、控制电路、频率寄存器和数模变换器的数字锁频环路，并采取频率设定技术以保证数字锁频环能够锁定宽频率范围内的任意频率，它能够将捕捉带扩展到工作频率的 10%．在数字锁频环锁定后数字锁相环开始对时钟的相位进行锁定．数字锁相环 (PLL) 由鉴相器、分频器和电流振荡器组成，鉴相器给出振荡器输出信号和输入信号的相位误差，来控制电流控制振荡器的电流，以保证它们的相位一致．以上措施的使用，保证比特同步器可以在 2 个码元内恢复时钟和数据．

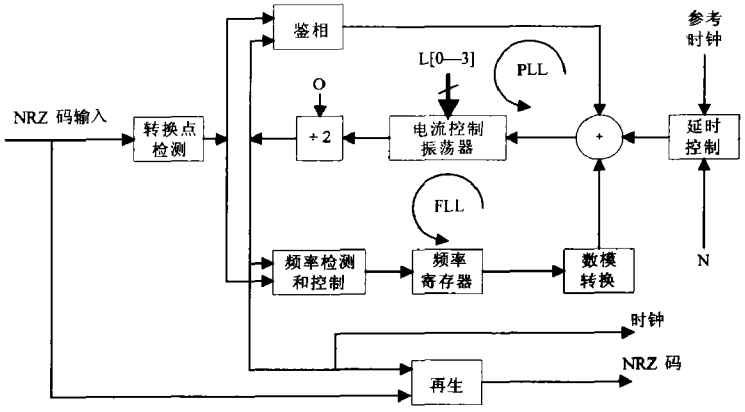


图 6 可编程比特同步器原理框图

Fig.6 Construction of programmable bit synchronous unit

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

6　差分译码单元

由于相干载波会有四相模糊度，即载波同步环路在 2π 区间内有 4 个稳定的锁定点. 为了克服相干载波的模糊度，在发端进行差分编码，在收端为了恢复原来的数据，也要进行差分解码. 相对码变换到绝对码的公式如下：

$$\begin{aligned} I_{绝}(n) =& \overline{I_{相}(n-1)}\ \overline{Q_{相}(n-1)}\ \overline{I_{相}(n)} + \overline{I_{相}(n-1)} Q_{相}(n-1) Q_{相}(n) \\ &+ I_{相}(n-1) Q_{相}(n-1) I_{相}(n) + I_{相}(n-1) \overline{Q_{相}(n-1)}\ \overline{Q_{相}(n)}, \\ Q_{绝}(n) =& \overline{I_{相}(n-1)}\ \overline{Q_{相}(n-1)}\ \overline{Q_{相}(n)} + \overline{I_{相}(n-1)} Q_{相}(n-1) \overline{I_{相}(n)} \\ &+ I_{相}(n-1) Q_{相}(n-1) Q_{相}(n) + I_{相}(n-1) \overline{Q_{相}(n-1)} I_{相}(n). \end{aligned}$$

恢复的并行码变到串行码后，就可以得到发端的基带信号.

为了指示突发的原始云图数据，要向后端提供数据框信号. 如前所述，在载波锁定之后即可认为系统已经同步，可以向后端提供数据. 但是在系统刚刚同步后的短时内，由于误码率较高，会在错误的位置上检出帧头，导致后端的误动作. 所以使用序列检测电路，在载波锁定的指示下开始工作，当检出一定数量的连续正确码字时，表明环路已经处于稳定的跟踪状态，才给出数据框脉冲.

7　现场测试结果

正样设备于 2000 年 4 月投入 CDAS 站现场，先后对风云二号 A 星和国外气象卫星原始云图数据进行了接收解调，图像质量良好. 2000 年 7 月 3 日，航天科技集团五院 503 所、国家卫星气象中心和清华大学在 CDAS 站对解调器设备进行了现场测试. 测试结果如下：

时钟捕捉带宽　400 kHz
时钟同步带宽　550 kHz
载波捕捉带宽　80 kHz
载波同步带宽　150 kHz
捕获时间　$< 50\mu s$

误码率　$E_b/N_0 = 13$ dB 时，$P_e = 4 \times 10^{-8}$.

在误码率为 1×10^{-7} 时，信噪比偏离理论曲线 1.2 dB. 上述各项性能完全达到并远超过任务书要求. 现场测试误码曲线如图 7 所示.

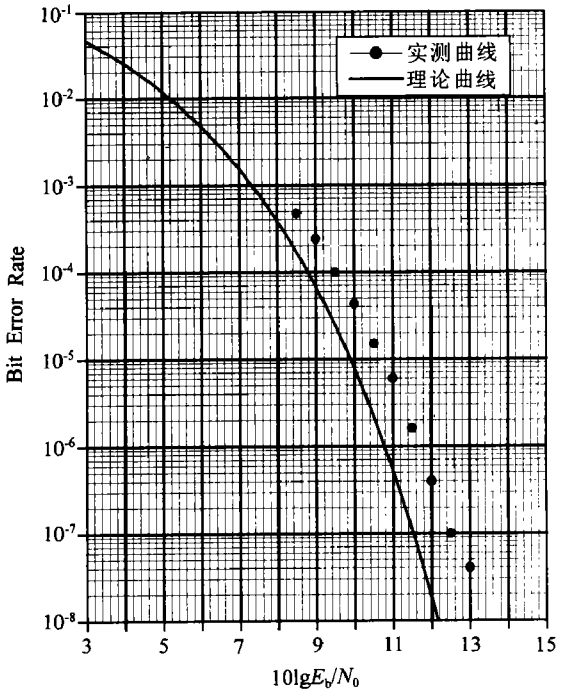


图 7　实测误码性能
Fig.7　BER of field test

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

8 结束语

FY-2B 卫星在 2000 年 6 月 25 日发射升空后，CDAS 北京站于 2000 年 7 月 6 日成功接收到卫星第一次发回的可见光通道数据，经处理出图后，同行专家评价图像质量优秀，随后又陆续接收到了红外通道和水气通道的数据. 目前，该解调器已经在 CDAS 北京站全时运转，同时兼容接收 FY-2A、FY-2B 和国外 3 颗卫星的信号，工作状态良好.

致谢 在解调器及其测试调制器研制的过程中，得到了航天科技集团五院 503 所、国家卫星气象中心有关领导和工作人员的大力支持和热情指导，在此谨表示衷心的感谢.

参 考 文 献

[1] 姚彦等. 数字微波中继通信工程. 北京：人民邮电出版社， 1990. 153—168
[2] 曹志刚，钱亚生. 现代通信原理. 北京：清华大学出版社， 1992. 191—234
[3] 郑继禹，万心平，张厥盛. 锁相环路原理与应用. 北京：人民邮电出版社， 1984. 10—34
[4] Xilinx Databook.California: Xilinx Com., 1999. 3-1—3-65

ORIGINAL NEPHOGRAM DEMODULATOR OF FY-B SATELLITE

ZHANG Wei PAN Changyong GUO Xingbo YANG Zhixing
(*Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing* 100084)

Abstract

Theory and realization of FY-2 B satellite original nephogram demodulator is introduced in this paper. By using Decision-feedback loop and programmable bit synchronizer, the demodulator has the advantage of quick lock, wide lock band and low bit error rate. This device has already been field tested and now using in CDAS Satellite station.

Key words FY-B satellite, QPSK demodulator, Decision-feedback loop, Programmable bit synchronizer

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com