

DVB-C 信道接收芯片 GX1001 的设计

邢新景 邹志永

本文作者邢新景先生，杭州国芯科技有限公司
项目经理；邹志永先生，系统开发部经理。
本文获 ICTC2005 优秀论文三等奖。

关键词: DVB-C 解调 均衡 载波恢复

根据国家制定的数字电视的发展时间表，有线电视的“模转数”工作如今正在广泛展开，庞大的用户端设备市场展露出巨大的商机，信道接收芯片作为终端设备的核心之一，对整体性能起着决定性作用，也因此成为众多厂商考虑的关键问题之一。杭州国芯科技有限公司的DVB-C信道接收芯片GX1001是在研究了中国有线网络实际情况的前提下，推出的一款具有卓越性能并且非常适合中国市场的信道接收芯片。本文主要介绍GX1001的设计、实现、性能以及典型应用。

号经过AD采样进入芯片，AGC模块根据采样信号的有效值调整高频调谐器的射频增益和中频增益，使得送往后级的信号保持一定的幅度；基带搬移模块将采样后的数据通过复数搬移变换为基带I、Q信号；插值模块根据定时恢复提供的信息将采样频率上的数据转换到实际符号速率上，再经过成型滤波和抽样将数据送去解旋，解旋器利用载波恢复提供的信息校正残余频差和相差，其输出信号经过均衡器消除线性失真，然后经判决、符号到字节映射、解交织、RS解码、解扰码，最后得到TS流输出。

素会有很大的起伏，如果不进行处理，将会引起解调后的判决错误。AGC模块根据AD采样信号的有效值调整高频调谐器的RF和IF放大器增益，使得送往AD的信号保持一定的幅度。

AGC的稳定性和响应速度是AGC模块设计所要考虑的两个因素。稳定性要求AGC正常工作时输出电压足够稳定，不会因输入信号的瞬时扰动而产生明显的变化；另一方面要求AGC模块有足够的响应速度，能够在启动芯片的时候快速将信号调整到正常范围并且跟得上输入信号的低频变化。显然，这两方面性能是相互矛盾的，必须经过权衡才能达到性能的最优，在GX1001设计过程中根据实际情况进行大量分析和测试，对该模块进行了优化，并且将关键参数做为可配置的寄存器，便于用户根据实际情况进一步调整达到最优。

一 系统结构

GX1001前端采用10b ADC，采用直接中频信号输入，完全符合DVB-C标准，支持很宽的符号率变化范围(下限为0.45 MHz，上限大于7 MHz，根据外接晶振频率有所不同)；采用了先进的数字内插技术，降低了对外接晶振的要求，只需一个无源晶振即可；GX1001根据中国有线网络的现状优化了载波恢复和均衡算法，使得GX1001可以在大频偏情况下对抗更加强烈的回波，与同类产品相比能够在更加恶劣的信道环境中工作；TS流输出可灵活配置，既可采用串行输出也可采用并行输出。

图1为GX1001的结构框图，其中只标示出了信号通路上的主要环节。信

1. AGC

AGC(自动增益控制)是信号数字化后经过的第一个模块。对于QAM解调来说，信号幅度中包含了丰富的信息，由于到达接收机的信号强度随时间等因

2. 基带搬移

此模块的作用就是把AD采样进来的中频信号搬移到基带上去，以进行插值和Nyquist滤波。基带搬移后还会有残余频差，由后面的载波恢复模块去除。如果残余频差较大，载波恢复模块就把频差放置到基带搬移模块，以使信号无失真地通过Nyquist滤波器。

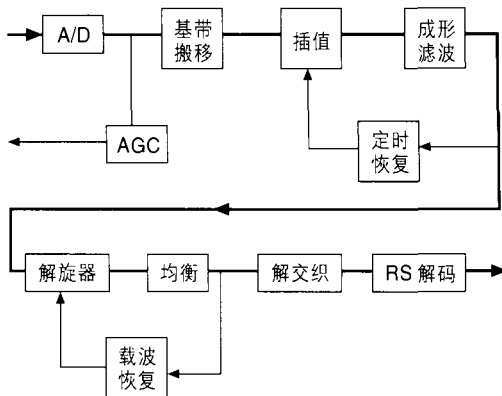


图1 系统结构图

3. 定时恢复

定时恢复也可以理解为符号率变换。接收机 AD 采样的速率就是晶振频率，定时恢复的任务就是把晶振频率上的数据变换到它的实际符号率上去。

定时恢复部分采用全数字方案实现，由抗混叠滤波器、误差提取、环路滤波、本地振荡器、插值器 5 个部分组成。定时恢复结构见图 2。抗混叠滤波器用于在低符号率时滤掉带外的干扰，防止频谱混叠。误差提取部分使用 Gardner 算法，这个经典算法已经被广泛应用，实现简单，性能良好。环路滤波部分使用理想比例积分滤波器，考虑到 Gardner 算法提取出的误差噪声过大，故误差信号在送入理想比率积分滤波器之前先进行预滤波处理。本地振荡器受环路滤波器输出控制，产生插值相位信号。插值器采用失真较小的分段抛物线插值方案，根据相位信号把晶振频率上的数据变换到实际符号率上去。

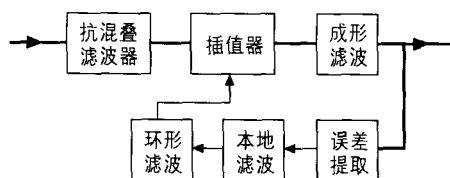


图 2 定时恢复结构

4. 载波恢复

载波恢复主要是为了得到与发送端同频同相的载波，GX1001 在系统稳定工作时，使用判决环进行载波恢复，这种方案实现简单、精度高、抖动小，具有良好的性能。

但在大频偏的情况下，判决环的捕捉范围就不能满足要求了，需要其它辅助手段帮助载波捕捉，GX1001 使用鉴频(FD)和扫频相结合的方法，使系统同时具有较快的捕捉速度和很宽的捕捉范围。

综合两方面的优势，GX1001 的载波捕捉范围在 256 QAM、有噪声、有回波的情况下仍能达到 ± 450 kHz。该性能远优于同类产品，更能适应恶劣的信号条件。

载波恢复前后的星座图见图 3。

5. 均衡器

GX1001 使用 DDLMS 作为均衡器的基本算法，该算法是均衡器的经典算法，稳态条件下误差小，工作稳定可靠，但在大回波的恶劣信道条件下不能工作，必须使用盲均衡(Blind Equalization)帮助均衡器收敛。

有线网络需要大量的接插件和分配/分支件，这些器件本身的质量和安装质量会对信号产生严重的影响，实际测试中多次发现，由于接插件安装的问题会导致信号传输中产生大回波，除此之外传输过程中的放大器、滤波器等都可能产生回波。

为了对付这些在实际中经常出现的大回波情况，GX1001 着重进行了盲均衡算法方面的设计和优化。比较经典的算法有 CMA、SGA、RCA 等等，CMA 算法对相位误差不敏感，但残差大，且在 CMA 和 LMS 之间需要切换；SGA 对相位误差较敏感，但可以平滑过渡到 LMS，综合考虑其它一些方案，GX1001 采用自主改进的 SGA 盲均衡算法。

一般来说，均衡器级数越多，则收敛越慢，捕获范围越小，能够对付的回波幅度越小。GX1001 采用自主改进了均衡器结构，在提高对付回波强度能力的同时，也提高了对付长时延回波的能力。64 QAM 下可对付回波时延 3.6 us，回波强度 -1.8 dB。

实际应用中，频偏和回波经常同时存在，载波恢复的残余频差过大会影响

盲均衡的性能，而盲均衡收敛不好又反过来影响载波捕捉的范围和速度。GX1001 对载波捕捉与盲均衡两个模块进行了联合优化，使这两个模块在捕捉过程中相互辅助，保证其在大频偏和大回波同时存在的条件下仍能迅速捕捉到信号。

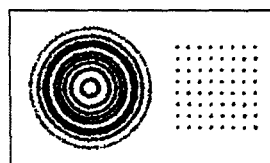


图 3 载波恢复前后的星座图

有回波和频偏时的星座图与恢复后星座图见图 4。

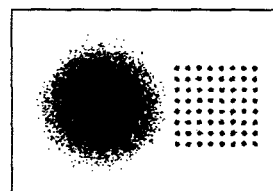


图 4 有回波和频偏时的星座图与恢复后星座图

6. 外部接口，寄存器

作为一个成熟的产品，

GX1001 尽最大努力将可配置参数设计得简单、易懂。与同类产品相比，GX1001 将可配置参数进行了优化，使得需要配置的参数最少，但所实现的功能毫不逊色。以常见的锁相环参数设置为例，一般芯片需要配置环路滤波器的直流增益和积分增益，其带宽和阻尼因子需要换算才能知道，对于芯片应用人员来说既不直观也不方便，并且要求芯片应用人员对相关知识有很好的理解，给芯片的应用带来困难。GX1001 直接把带宽分为几级，在内部把阻尼因子调节到最优，极大方便了应用开发。有些同类产品在使用时要求 MCU 有较强的运算能力(如有乘法和除法运算)，而 GX1001 不需要此类操作。

二 典型应用方案及性能

芯片的应用方案主要可以分为两类：一种是所谓的一体化方案，该方案将芯片直接做进高频调谐器里面，其优点在于总体性能在高频调谐器出厂的时候已经进行了优化，调试工作相对简

DVB-C 信道接收芯片 GX1001 的设计

单；另一种将 GX1001 放在机顶盒主板上，前端采用通用的中频输出高频调谐器(例如 Thomson 7044/7045)，也就是所谓的 Onboard 方案，该方案的优点在于总体成本相对较低，但需要用户自己调整电路以保证总体性能。

无论采用哪种方案，GX1001 表现同样出色：一方面它只需要很少量的外围器件就可以工作；另一方面，驱动程序充分考虑了芯片的易用性，大大降低了软件整合开发的时间。下面分别对软硬件接口进行简单的介绍。

1. 简化的外围电路

图 5 所示为 AGC 控制电路接口，GX1001 采用 PDM 方式输出 AGC 控制信号，外围采用简单的滤波就可以直接送往高频调谐器的增益控制端。

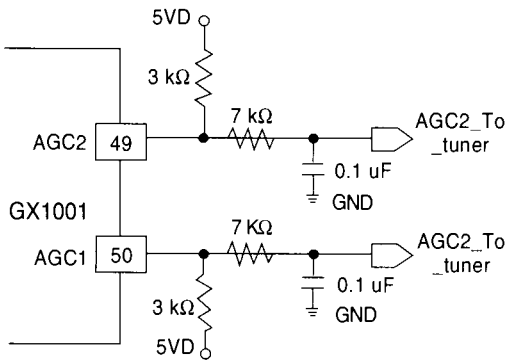


图 5 AGC 接口电路

图 6 所示为采用差分方式输入的 ADC 接口电路，输出为并行或串行的 TS 流。

2. 简单灵活的驱动程序接口

GX1001 将用户软件整合的工作量降到了最低。芯片的驱动程序提供了 3 个基本接口函数：GX_init_chip(), GX_Search_signal(), GX_Read_All_Ok(), 分别对应于芯片的初始化、信号搜索和状态读取功能，其中 GX_Search_Signal() 充分考虑了实际网络

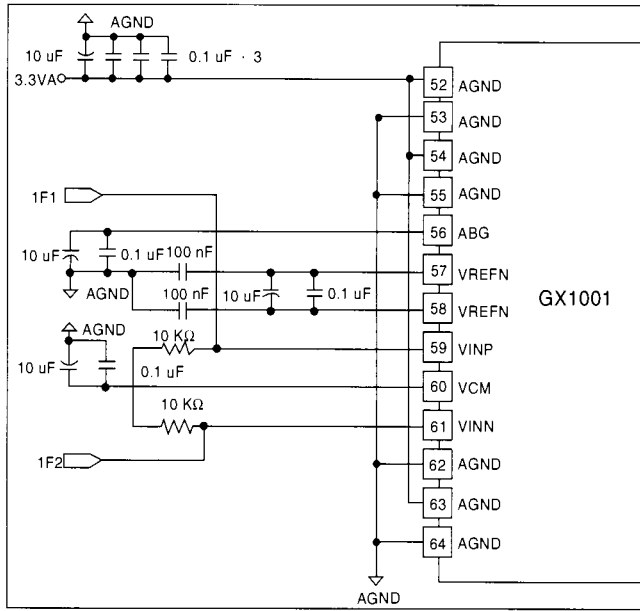


图 6 ADC 接口电路(差分方式)

中可能出现的频谱方向不一致以及符号率不一致的情况，对搜索时间也做了大量优化。同时驱动软件开放底层的工作函数，用户可以通过调用这些函数方便地实现更加丰富多彩的功能。

图 7 为使用 GX_Search_Signal() 进行全频道搜台或手动搜台的基本流程，可以看出通过驱动程序将大量繁琐的细节封装在函数的

内部，用户只需要简单调用函数即可完成所需功能。

3. 总体性能

对采用 GX1001 的多个机型整机的充分测试表明，其性能与采用同类芯片的其他机顶盒产品相比毫不逊色。GX1001 对抗回波

在整个时延迟范围内可以达到甚至超过 -1.8 dB；载波捕获范围达 ±450 kHz，当频差小于 100 kHz (大多数情况) 时捕获时间小于 80 ms，当频差大于 100 kHz 时捕获时间小于 250 ms；符号率捕获范围达到 ±20 kHz；灵敏度、白噪声门限等性能与同类产品相当，且功耗低

于 300 mW；因此 GX1001 的综合性能超过了国外主流产品，非常适合于国内有线网络质量各地差异很大的现实情况。

三 总结

在调谐器方面，目前包括 Thomson 以及无锡元器件六厂在内的几家高频调谐器厂家均有使用 GX1001 的成熟产品面世，同时更多的国内外知名调谐器厂家正在

开发测试使用 GX1001 的产品；创维、天柏、彩视等也相继推出采用 GX1001 芯片的 Tuner 的机顶盒；在 Onboard 方案方面，也涌现了大量成功的案例。[EN]

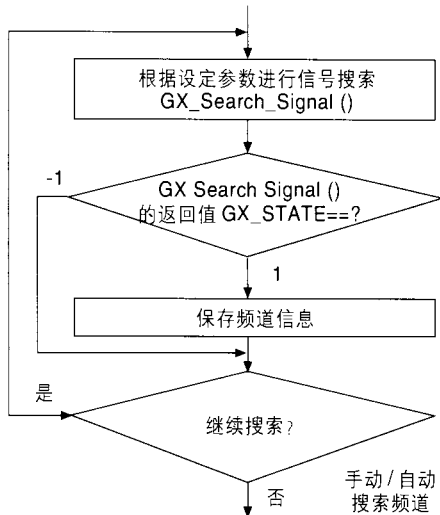


图 7 信号搜索流程