

基于 MAX2769 的软件 GPS 接收机射频前端设计

邵 磊, 刘瑞华

(中国民航大学 航空自动化学院, 天津 300300)

摘要: 介绍了 GPS 前端的基本结构, 并选用 MAX2769 芯片, 提供了完整的中频前端放大器的参考设计。本设计的特点是接收机性能高、体积小、成本低, 同时给出其 USB 输出的参考设计。

关键词: MAX2769; GPS 前端放大器; USB

中图分类号: TN965.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)16-0030-03

Software GPS receiver front-end design based on MAX2769

SHAO Lei, LIU Rui Hua

(Depart. of Aviation Automation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: The MAX2769 is a low cost, single conversion, low IF GPS receiver that offers two integrated LNAs with different specifications, I/Q channel filters with variable bandwidth and order, and a digital IF output that supports 1-bit and 2-bit operation. This article introduced the architecture of the GPS front-end, and provided a reference design of a complete RF front-end for a GPS receiver with MAX2769. The character of this reference design is high performance, small size, and low cost. A reference design of a USB output front-end will be given finally.

Key words: MAX2769; GPS front-end; USB

与传统的硬件接收机相比较, 软件 GPS 接收机需要获取中频采样数据。采样数据的获取一般有两种途径, 一种是通过硬件模拟或硬件直接接收卫星信号, 另一种是通过软件模拟产生信号^[1]。软件方式可以应用在对算法的研究上, 然而在实时接收机中, 设计低成本、高性能的前端放大器是最直接有效的方式。

MAX2769 是业内第一款通用的 GNSS 接收机芯片, 它, 不但可以用于 GPS 还可以应用于 Galileo、GLONASS 导航卫星系统。

MAX2769 采用 Maxim 公司的低功耗工艺技术, 该器件集成了完整的接收机链路, 包括双输入低噪声放大器 (LNA) 以及混频器 (MIXER)、镜像抑制滤波器 (IRF)、可编程增益放大器 (PGA)、VCO、N 分频频率合成器、晶体振荡器以及多位 ADC。MAX2769 所具有的高集成度使其省去了有源天线应用中所需的外部 LNA 以及外部 IF 声表面波滤波器。因此, 该器件仅需少量外部元件, 即可构建完整的低成本 GPS 接收机方案, 实现低达 1.4 dB 的噪声系数。

MAX2769 集成的 $\Sigma-\Delta N$ 分频频率合成器可实现 ± 40 Hz 精度的中频编程, 从而与主机系统所提供的任意基准或晶体频率配合工作。集成的 ADC 输出可以同时为 I

和 Q 通道输出一个或两个量化位或者为 I 通道输出三个量化位。输出数据采用 CMOS 或受限的差分逻辑电平。MAX2769 适合汽车导航、资产跟踪、蜂窝手持设备、便携式导航设备 (PND)、数码相机、笔记本电脑等。通过外围电路的扩展, MAX2769 芯片可以扩展成 USB 输出。

1 GPS 信号的构成

GPS 的信号由三部分组成: 载波、导航数据和扩频序列。载波即为 GPS 卫星 L 波段上的两个无线电频率, 包括链路 L1 和 L2, 其中心频率如下:

$$L1: f_{L1} = 1\,575.42 \text{ MHz}$$

$$L2: f_{L2} = 1\,227.60 \text{ MHz}$$

导航数据包含卫星轨道的相关信息, 比特流为 50 b/s, 扩频序列是由伪随机序列组成的一组码, 包括粗捕获码 (C/A) 和加密精确码 (P(Y))。C/A 为速率为 1.023 MHz 的二相调制信号, 主瓣两个零值之间为 2.046 MHz, C/A 可由多位移位寄存器产生, 由于 C/A 码有很好的自相关性, 所以可以用它来搜索卫星信号。

L1 上的信号可以表示为:

$$S_{L1} = A_p P(t) D(t) \cos(2\pi f_{L1} t + \phi) + A_c C(t) D(t) \sin(2\pi f_{L1} t + \phi) \quad (1)$$

A_p 是 P 码的振幅, $P(t)$ 为 P 码的相位, $D(t)$ 表示数据

《微型机与应用》2010 年 第 29 卷 第 16 期

硬件纵横

Hardware Technique

码, f_1 表示 L1 的频率, A_c 是 C/A 码的振幅, $C(t)$ 表示 C/A 的相位。

GPS 系统属于简单的扩频通信系统。首先, 将 50 bps 的导航数据重复 20 次产生 1000 b/s 的数据流, 然后 C/A 扩频, 这样, 就产生了 1.023 Mb/s 的基带信号。事实上, 接收机接收到的来自卫星的信号是被完全淹没在接收机的噪声当中, 热噪声功率为:

$$P_{\text{热噪声}} = k \cdot t \cdot B \quad (2)$$

其中, k 为玻尔兹曼常数, 其数值为 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J}/^\circ\text{K}$, t 为热力学温度, 单位为 $^\circ\text{K}$, 噪声带宽 A 的单位为 Hz, 经计算得:

$$P_{\text{热噪声}} = 8.004 \times 10^{-15} \text{ W} = -140.97 \text{ dB} \cdot \text{W} \quad (3)$$

卫星信号的功率约为 -160 dB , 显然, 热噪声功率大于接收机卫星信号的功率, 因此, 卫星信号不能从频谱分析仪上直接观察到, 但通过解扩, 接收机总增益可以将淹没于噪声的导航信号恢复出来。

2 GPS L1 前端构成

射频前端主要包括带通滤波器(BPF)、LNA、混频器/振荡器和 ADC, 图 1 是 GPS L1 的前端示意图^[2]。

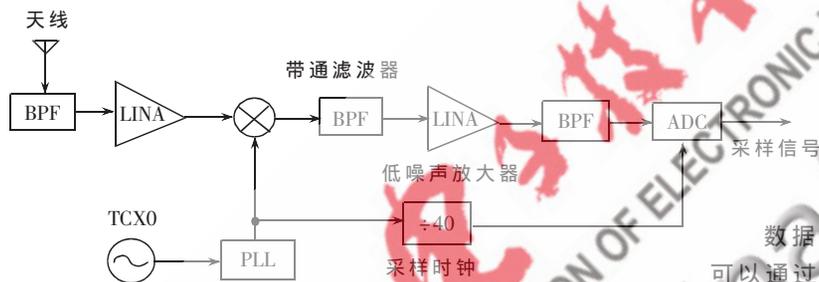


图 1 GPS L1 前端示意图

带通滤波器是一个频率选择性器件, 只允许某些频率通过并使其他频率成份衰减。

混频器/振荡器的功能是把输入的 1575.42 MHz 的 RF 载波转换到更低的中频(IF)上, 同时不改变调制信号的结构。其原理如图 2 所示。

混频器的功能可以用公式(4)表示:

$$\cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) = \frac{1}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t) + \cos(\omega_1 + \omega_2)t \quad (4)$$

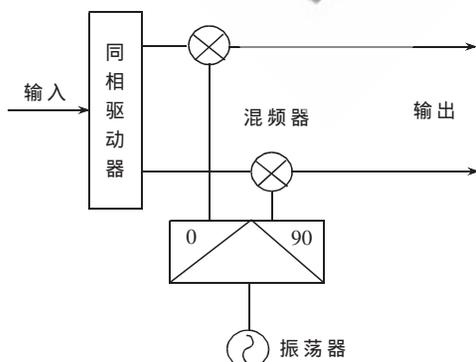


图 2 混频器/振荡器原理图

其中, ω_1 为 GPS L1 的中心频率, ω_2 为本振频率。任何调制, 都可以简化为时变的乘法器:

$$d(t) \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) = \frac{d(t)}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t) + \cos(\omega_1 + \omega_2)t \quad (5)$$

混频器的输出为频率之差与频率之和, 有用的是差频, 也即中频(IF), 而和频可由滤波器滤掉。

模数转换器的功能是将模拟信号转换成数字信号。MAX2769 模数转换器的原理如图 3 所示。MAX2769 的模数转换器支持三种格式, 格式的选择可以通过设置配置寄存器的 0001 地址的 FORMAT 数据位来, 设置成 00 表示采用无符号二进制, 设置成 01 表示采用符号/量值, 设置成 10 或 11 表示双二进制补码, 默认设置为 01。

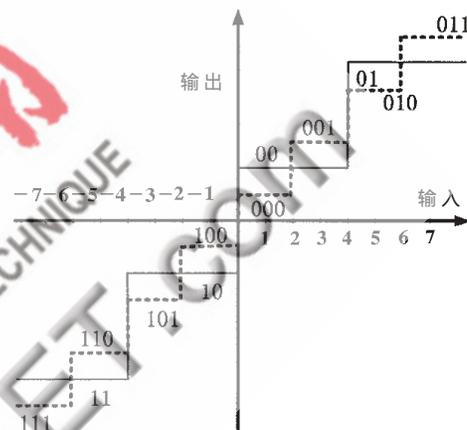


图 3 模数转换器示意图

数据位可以通过 BITS 位来设置, 其他各种设置都可以通过设置寄存器的相应数据位来实现。

3 MAX2769 前端芯片设计

MAX2769 芯片的内部结构及主要管脚功能参见参考文献[3]。

MAX2769 芯片的基本特征为^[3]:

- 适用于 GPS/GLONASS/Galileo 接收机;
- 无需外部中频 SAW 滤波器及独立滤波器;
- 可编程 IF 频率;
- 集成的 VCO 的 Σ - Δ N 分频器, 支持广范围参考频率;
- 为有源与无源天线集成了双通道 LNA;
- 1.4 dB 总级联噪声系数;
- 集成晶振、温度传感器和有源天线传感器;
- 低功耗模式下电流为: 10 mA;
- 供电电压: 2.7 V~3.3 V;
- 28 管脚无铅 QFN 封装;
- 参考时钟: 8 MHz~44 MHz;
- 中频输出: 2.5 MHz(默认);
- 支持波段: 1550 MHz~1 610 MHz;
- 尺寸: 5 mm×5 mm。

由于 MAX2769 所具有的高集成度使其省去了有源

硬件纵横

Hardware Technique

天线应用所需的外部 LNA 以及外部 IF 声表面波滤波器。因此仅需要很少的外围电路就可以实现完整的低成本 GPS 软件接收机。

MAX2769 内置了配置寄存器,许多配置可以通过串行输入端口对相应的寄存器进行设置。

GPS 天线分为有源天线和无源天线,具体使用哪一种,要根据不同的应用情况决定。MAX2769 提供两种方案,并且能够自动检测天线的电流消耗来切换 LNA1 和 LNA2,当插入灵敏度较高的有源天线时,能够自动替代无源天线的应用。在实际使用中,建议设计人员将外部天线接到 LNA2,内部天线接到 LNA1,这样可以实现自动切换。

使用无源天线时, GPS 天线通过 BNC 接头,先通过一个交流耦合电容 C0 接入管脚 LNA1,默认模式下,偏置电流设置为 4 mA,典型的噪声系数为 0.83 dB, IP3 为 -1.1 dBm。

信号经再次滤波后,输入混频器, MAX2769 包括一个正交混频器,可以输出低中频或零中频 I 和 Q 信号。正交混频器需要低端 LO 注入才能将内阻匹配到 50 Ω, LNA 的输出和正交混频器的输入设计在芯片外部,以方便声表面波滤波器的使用。

MAX2769 集成了基带可编程增益放大器(PGA),其增益可以通过设置寄存器的 0001 地址的 GAININ 来更改,设置 GAINREF 可以更改自动增益控制(AGC)模式。

MAX2769 提供了一个控制回路自动调节 PGA 的增益,提供给 ADC 一个输入功率最匹配的转换器并有理想的数据精度。

MAX2769 的基带滤波器可以设置成低通或复杂的带通滤波器,通带 3 dB 带宽可选择为 2.5 MHz、4.2 MHz、8 MHz 或 18 MHz(只用作低通滤波器),当 0000 地址的 FCENX 位设置为 1 时,低通滤波器变为带通滤波器,其中心频率可以由 FCEN 位来设置。

MAX2769 集成了一个 20 位 Σ - Δ 分频合成器,允许设备以 ± 40 Hz 的精度对所需的 VCO 频率进行调节,范围从 8 MHz~44 MHz。

PLL 回路滤波器是合成器的唯一的外部模块,其典型结构为一个 C-R-C 网络。

MAX2769 提供了一个芯片内部晶振,使用时需要一个并行晶振,建议晶振和交流耦合电容一同使用来调节晶振频率的中心。

MAX2769 提供了参考时钟输出,可以通过调整 PLL 配置寄存器的 REFDIV 来调整^[4]。

MAX2769 的 ADC 的最高频率可以达到 50 MHz。输出端口有 2 组,可以通过设置寄存器 IQEN 数据位来更改

输出端口,默认设置为只使用 I 口输出,默认数据位为 2 位。

MAX2769 同时提供了低功耗模式,在这种情况下,总电流消耗可降到 10 mA,总噪声级联系数可以提高到 3.8 dB。

MAX2769 提供了 115 dB 的总增益,捕获灵敏度达 -143 dB,跟踪灵敏度达 -154 dB^[5]。

4 USB 输出扩展

USB 是新型的接口技术,它使用方便、速度快、连接灵活、独立供电,现已广泛应用到鼠标、键盘、游戏手柄、扫描仪、Modem、数码摄像机、网卡、Hub 和显示器中。

USB 接口的 GPS LI 软件接收机把前端放大器、天线和 USB 口转换芯片集成在一起,通过一段 1 m~1.5 m 的线缆连接到 USB 口。USB 接口既可以传递 GPS 定位信息,也可以向模块供电。这种设计非常适合笔记本电脑和车辆导航。在车辆导航时,USB 接收机可以放到车外并吸附到车顶上,最大限度地接收卫星信号。

MAX2769 的 USB 输出扩展原理图如图 4 所示,卫星信号通过 LNA1 进入混频器,然后经过 ADC 进行数字化,接着通过计数器和 USB 接口控制器,控制器的参考晶振为 24 MHz, SPI 用来对 MAX2769 的寄存器进行设置。卫星数据由 USB 协议传输给 PC 机,通过 PC 主机软件执行所有基带功能,可以将定位信息显示在 PC 上。当然,也可以通过 DSP、FPGA、ARM 等进行软件解算。

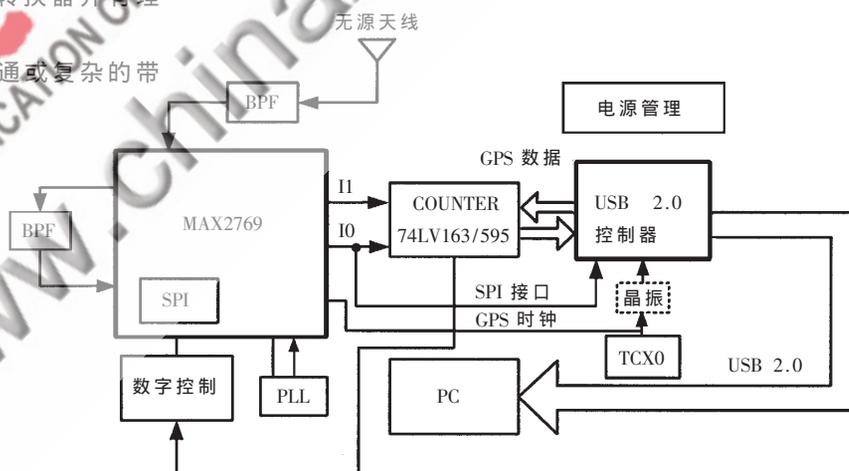


图 4 MAX2769 USB 输出扩展原理图

MAX2769 集成度高、简单易用,为软件 GPS 接收机前端放大器的设计提供了方便,其参数可调的特性可以提供宽范围的输出,MAX2769 成本低、通用性强、性能高、体积小的特性,将会进一步促进软件 GNSS 接收机的发展。

参考文献

[1] JULIEN O, ZHENG Bo, DONG Lei, et al. A complete

- software-based IF GNSS signal generator for software receiver development. Department of Geometrics Engineering, university of Calgary, ION GNSS 2004, Sept.21-24. Long Beach, CA.
- [2] BORRE K. A software-defined GPS and galileo receiver: single-frequency approach. Aalborg University, Dennis Akos, University of Colorado.
- [3] Maxim Universal GPS Receiver, Max2769 chip data sheet
- [4] WEBER D.笔记本电脑借助 GPS RF 前端实现软件基带处理[J].电子技术应用, 2008, 34(1):5-8.
- [5] WEBER D. Universal GPS receiver lets you use a laptop PC for soft baseband processing, Roger, Maxim application notes, 2008, 9(5).
- (收稿日期: 2010-04-23)

作者简介:

邵磊,男,1981年生,硕士,主要研究方向:导航、制导与控制。

刘瑞华,男,1965年生,博士,教授,主要研究方向:导航、制导与控制。

