

UHF RFID 阅读器中基于 ROM 的成型滤波电路设计

徐智勇, 庄奕琪, 靳 刚

(西安电子科技大学 微电子学院, 陕西 西安 710071)

摘 要: 提出了一种应用于 UHF RFID 阅读器中的成型滤波电路设计方法. 与传统的用升余弦滤波器实现成型滤波不同, 将 RFID 系统中的 PIE 编码和成型滤波相结合, 使设计的电路同时完成编码和成型滤波. 与传统实现方式相比, 设计的成型滤波电路的阶数、滚降系数等参数可灵活配置, 电路开销小, 延时短.

关键词: 成型滤波电路; ROM; UHF RFID 阅读器; PIE 编码

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)12-0088-05

A Design of Pulse Shaping Filter Circuit Based on ROM in UHF RFID Reader

XU Zhi-yong, ZHUANG Yi-qi, JING Gang

(School of Microelectronics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A design method for pulse shaping filter circuit applying in UHF RFID reader is proposed. Different from the available, the method combines the PIE coding in RFID system with pulse shaping, accomplishing PIE coding and shaping filtering together. The designed pulse shaping filter circuit has adjustable order and roll-off, small circuit area, and short delay.

Key words: pulse shaping filter circuit; ROM; UHF RFID reader; PIE code

1 引言

RFID(Radio Frequency Identification)是无线射频识别的简称,是一种通过电磁感应和电磁传播,对目标进行非接触识别和通信的自动识别技术^[1]. 超高频(UHF) RFID 属于其一种,其工作频率为 860~960 MHz,相关标准化组织制定了 UHF RFID 空中接口协议,用于规范 RFID 设备设计,ISO/IEC 18000-6 Type C 是其最新版本.

在 RFID 系统中,由于基带信号的频谱范围比较宽,为了让信号在一定带宽的信道中传输,需要在发送端把信号在频谱上进行必要的压缩. 而信号在频域上的压缩将导致在时域上的展宽,由此就会引入码间干扰. 为了使传输误码率足够小,必须最大限度减小码间干扰.

为使阅读器可工作在多询问机和密集询问机等

环境下,RFID 协议对于阅读器和标签间通信的射频包络及其频谱有明确的要求. 为了满足协议中上述要求,以及减小码间干扰,要对基带信号进行成型滤波.

通信系统中一般使用升余弦滤波器实现基带成型滤波的功能. 本文基于升余弦滤波器原理,结合 UHF RFID 阅读器发射链路 PIE 编码,提出一种新型的成型滤波电路,可同时完成基带信号的 PIE 编码和成型滤波.

2 协议要求和成型滤波原理分析

2.1 协议要求

ISO/IEC 18000-6 Type C 协议中对射频包络的要求如图 1 所示,其对射频包络上升时间、下降时间,过冲(M_{hh})和负脉冲(M_{hl})幅度和调频时信号电平(M_{hs})都有规定,详细数值要求见协议^[2].

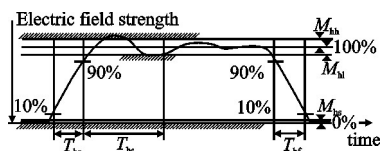


图1 FHSS询问机射频包

图2为Type-C协议和我国相关法规对射频发射频谱按信道划分的模板示意图^[3].根据相关法规规定,我国UHF RFID设备信道带宽为250 kHz,相邻信道间功率衰减需达到40 dB,Type-C中对于信道间功率衰减幅度要求依次为30 dB,60 dB和65 dB.成型滤波的目的就是为了满足上述协议和我国法规对射频包络和发射模板的要求.

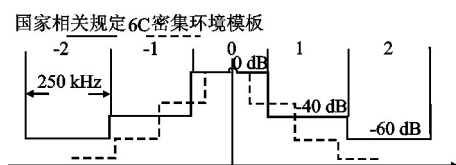


图2 我国相关法规和Type-C协议密集环境下发射模板

PIE编码用于UHF RFID阅读器发射链路,用于从RFID阅读器到标签芯片的通信. PIE编码方式如图3所示,数据“0”编码为持续高电平加低电平, T_{ari} 为数据“0”的持续时间,一般占空比设为50%;数据“1”的编码持续时间为 $1.5 T_{ari}$ 到 $2 T_{ari}$. 但两者的低电平持续时间相同. 这种编码方式适用于无源系统,数据“0”和“1”都有一段持续时间的高电平,在给接收系统提供信息的同时还可提供其工作的能量(在接收系统工作所需能量比较低的情况下).

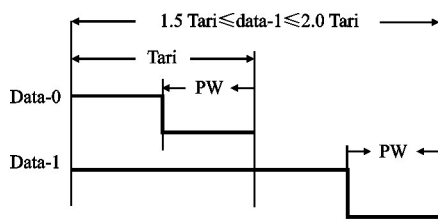


图3 PIE编码规则

2.2 基带成型滤波器原理

正如引言中所分析的,普通的矩形脉冲信号(如PIE编码)由于存在码间干扰(ISI)不适合直接发射,需用脉冲成型技术来调节数字信号的带宽和减少码间干扰. Nyquist准则表明任何滤波器只要其冲激响应满足

$$h(t) = \frac{\sin(\pi t / T_s)}{\pi t},$$

就可以消除码间干扰,升余弦滚降滤波器是移动通信中最普遍的脉冲成型滤波器,其冲击响应为^[4]

$$h(t) = \left[\frac{\sin(\pi t / T_s)}{\pi t / T_s} \right] \left[\frac{\cos(a\pi t / T_s)}{1 - (4a^2 t^2 / T_s^2)} \right]$$

它的传递函数为

$$H_{RC}(f) =$$

$$\begin{cases} 1 & 0 \leq |f| \leq (1-a)/2T_s \\ \frac{1}{2} [1 + \cos \frac{\pi(2T_s |f| - 1 + a)}{2a}] & (1-a)/2T_s < |f| \leq (1+a)/2T_s \\ 0 & |f| > (1+a)/2T_s \end{cases}$$

式中, a 是滚降因子,取值范围为0到1, T_s 为1比特符号时间. 升余弦滤波器的性能主要受滚降系数 a 、滤波器阶数和过采样率影响^[5].

滚降系数 a 影响码间干扰大小, $a = 0$ 时,相邻符号间干扰最大,随着 a 增加码间干扰减小.

图4和图5为不同 a 值升余弦滤波器的传递函数和单位冲击响应图. 由图4可得,当滚降系数 $a = 0$ 时,升余弦滚降滤波器对应于具有最小带宽的矩形滤波器,随着滚降因子 a 的增加,滤波器的带宽也相应增加. 从单位冲击响应图5可知,当 $a = 0$ 时,相邻符号间的干扰最大,随着 a 的增加,冲击响应衰减得越快,当 $a = 1$ 时,在过零点处衰减得最快,快速衰减使得其在截断时,性能与理论值差别不大,这就意味着增加 a 可以减少对定时抖动的敏感度,但增加了占用的带宽.

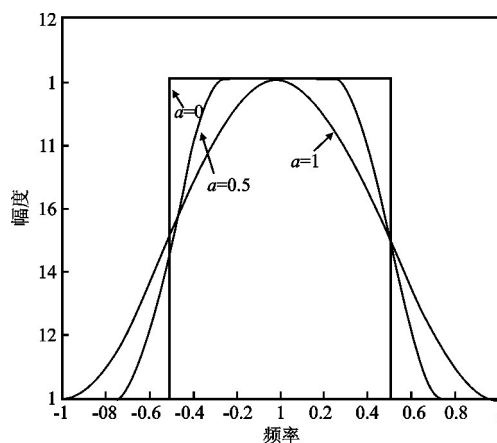


图4 传递函数

升余弦滤波器的阶数对其性能有很大影响,阶数越高,滤波器对带外频谱的抑制就越好. 过采样率也是一个重要的参数,过采样率越高,滤波器对带外频谱的抑制越好,此外过采样率(M)和滤波器抽头系数(N)存在以下关系:

$$N = M * D \quad (4)$$

式中, D 是冲击响应跨越的码元数.

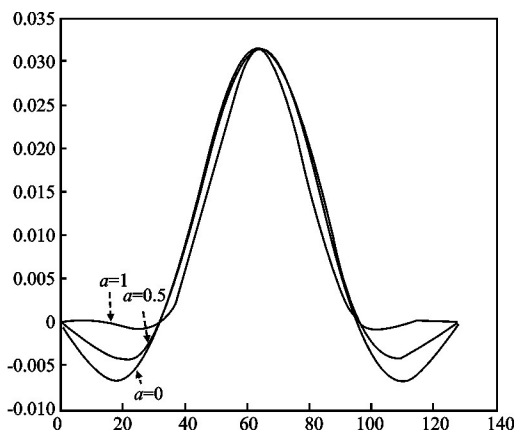


图5 单位脉冲响应

3 设计与实现

3.1 实现方式

在以往的电路实现中,PIE 编码和升余弦滤波器都是分开设计,对数据做 PIE 编码,插值过采样,用升余弦滤波器对其进行成型滤波。

关于升余弦滤波器的设计也有几种方式,第一种是直接实现法^[6]。用 Matlab 设计好 N 阶滤波器的系数,用相乘移位的方式实现循环卷积。这种方式设计 N 阶滤波器需要 N 个寄存器、 N 个乘法器和大量的加法器,非常耗费资源。

第二种方式是基于分布式算法设计升余弦滤波器^[7]。分布式算法在实现乘累加时通过将各输入数据的每一对应位产生的部分积预先进行相加形成部分积,然后再对部分积累加形成最终结果。与方式一相比,分布式算法可以利用查找表方式实现,能极大减少硬件电路的规模,提高运行速度。

根据上述原理,结合升余弦滤波器输入数据插值“0”过采样的特性,将 N 阶滤波器系数存于 ROM 表中,将 ROM 表分成几个块,使每一时刻每个块只输出一个值(块内其余系数对应的输入值为“0”)其电路结构如图 6 所示^[8]。本文设计的升余弦滤波器也是由 ROM 查找表电路实现。与方式二的不同之处在于 ROM 存储的值不是滤波器滚降系数,而是单个数据“0”和“1”经编码和升余弦滤波后的样本值。该设计将 RFID 阅读器发射链路的 PIE 编码和升余弦滤波结合起来设计成一个电路,同时实现这两种功能。

首先,用 Matlab 设计滤波器滚降系数、阶数、采样率等参数,对 PIE 编码后数据进行升余弦成型滤波仿真,使其满足 RFID 协议的发射模板要求。在上述条件满足后,将编码前单个“0”和“1”的成型滤波

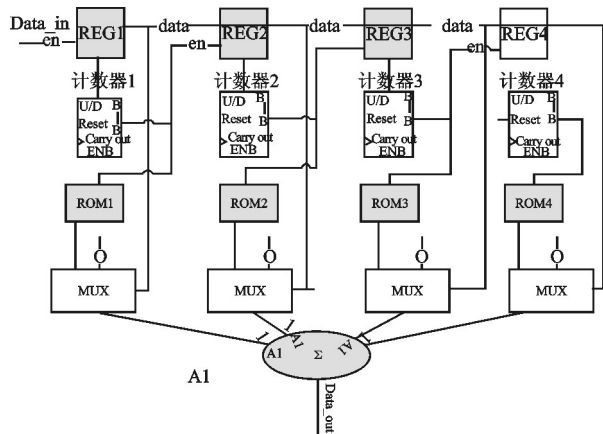


图6 基于分布式算法升余弦滤波器电路图

输出值读取到 ROM 查找表电路中,用来对要传输的数据做编码和成型滤波。与方法二相比,本文设计的升余弦滤波器的阶数、滚降系数可灵活调整,而且把编码电路也设计到查找表电路中。在提高灵活性的同时,进一步减小了电路的开销,并提高了电路的工作速度。这些设计结果比较将在后文中给出。

3.2 PIE 编码和升余弦滤波器的 Matlab 设计

本文用 Matlab 函数 `fdesign_pulseshaping` 设计升余弦滤波器,对输入数据做 PIE 编码,再用设计好的滤波器对编码后数据做成型滤波,图 7 是 α 分别为 0.2, 0.6 和 1.0 时升余弦滤波输出波形图,根据协议对射频包络的要求,并结合上文关于滚降系数 α 的分析,本文将滚降因子选取为 1。为了获得较好的带外频谱抑制能力与相频响应,本文设计的升余弦滤波器的阶数定为 128 阶。综合考虑过采样以及减小码间干扰的影响,将采样率定为 32。

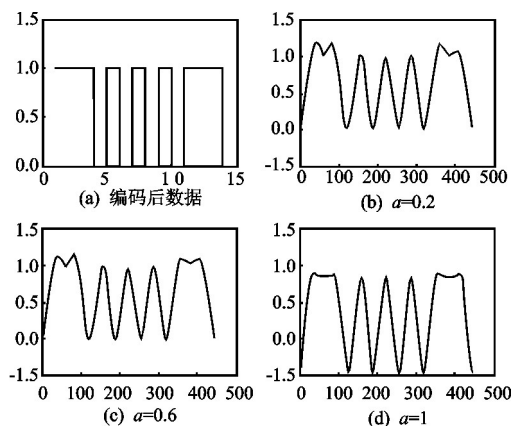


图7 不同滚降系数值升余弦滤波输出波形

用 Matlab 产生 50 位随机数,做 PIE 编码,并用上述设计的升余弦滤波器对编码输出数据进行成型滤波,得到的输出时域频域波形如图 8、图 9 所示。

将该图与协议中关于发射模板部分的时域,频域要求对照,可得出所设计的滤波器输出数据符合协议要求。

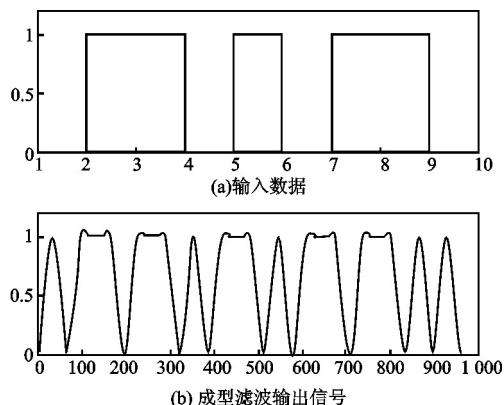


图 8 按信道划分功率衰减图

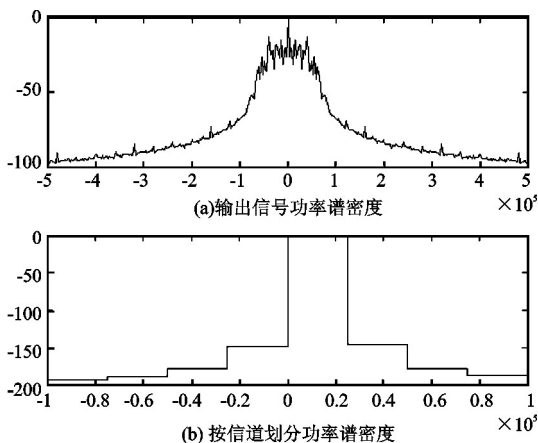


图 9 成型滤波数据采样值

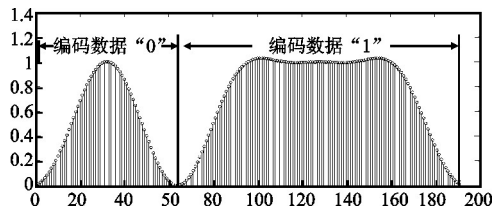


图 10 电路框图

随后,分别取出对数据“1”和“0”进行编码并成型滤波后得到的数据,考虑到 32 倍的过采样率,数据“1”输出 128 个值,数据“0”输出 64 个数值。数据“1”和“0”PIE 编码和成型滤波采样值如图 10 所示。把这些值量化成 12 位二进制数,用于后面的电路实现。

以上为该滤波器的一种参考设计,根据不同的用途,上述参数都可调整,只需改变 ROM 中存储的值就可实现不同程度的升余弦滤波。

3.3 PIE 编码和成型滤波电路实现

电路如图 11 所示,由 192×12 的双端口可读 ROM,读写 ROM 地址译码电路和异步 FIFO 组成。先将 Matlab 仿真数据“1”和“0”的编码加升余弦滤波得到的 192 个数值按顺序存到 ROM 中,地址 00_h 到 $3F_h$ 存储数据“0”数值, 40_h 到 BF_h 存“1”数值。根据输入数据 din 的不同,读 ROM 地址译码电路给出对应的地址, din 为“0”时,依次寻址 00_h 到 $3F_h$ 并输出, din 为“1”时依次寻址 40_h 到 BF_h 并输出。考虑到数据“1”和“0”PIE 编码的长度不等,对于不同的 din 值,完成编码和升余弦滤波所需时钟周期不同,在译码电路前需用 FIFO 缓存输入数据,故在译码电路部分需给出 FIFO 使能信号。

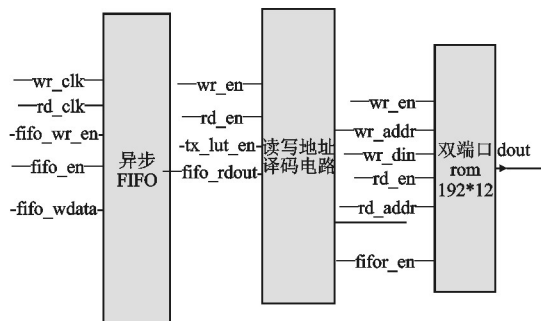


图 11 modelsim 仿真波形

上述电路用 Verilog 设计,在 Modelsim 中仿真得到的波形。由该波形可知,所设计的电路很好地完成了成型滤波功能以及 Type-C 协议对于射频包络的要求。

4 结果分析和比较

本文以 Xilinx 公司 xc7a100t-3csg324 为目标器件,用 ISE 对本文实现的电路和 3.1 中方式二电路进行综合,结果比较如表 1 所示。

表 1 结果比较

综合结果	本文实现	方式二
Slice Registers	45	181
Slice LUTs	49	278
Occupied slices	41	120
Lut flip flop pairs	68	298
Maximum Frequency/MHz	561.356	436.091

由表 1 比较可知,本文实现的电路在资源开销上与方式二相比有大幅度地减少,同时电路延时更小,可以达到更大的时钟频率。再考虑到本文实现方式在对升余弦滤波参数设计上可以灵活配置,说明本文的实现方式具有优势。

将该电路运用到 RFID 阅读器基带发射链路,把发射链路输出用信号发生器调制到 920 MHz 载波上,按 250 kHz 作为信道带宽计算各信道功率衰减如图 13 所示,证实经该成型滤波输出的基带信号频谱满足 6C 标准密集环境和我国相关法规的要求。

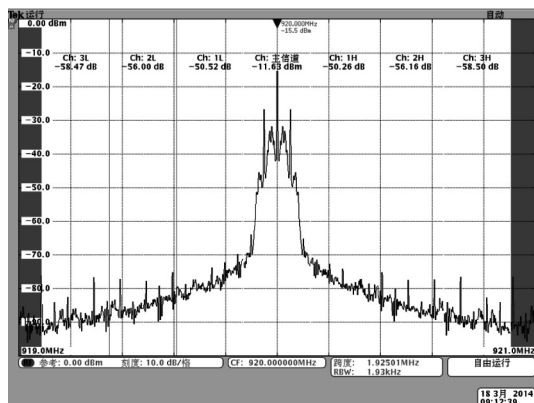


图 13 基带发射电路输出频谱

5 结束语

突破传统滤波器电路实现思路的限制,将编码和成型滤波相结合,同时完成上述功能.用 Matlab 设计滤波器参数,并对数据进行编码和成型滤波,得到数据编码和成型滤波后的样本值;基于 ROM 实现成型滤波电路;用 FPGA 验证电路功能,并与传统实现方式对比,获得成型滤波参数可配置性的同时,减小了电路开销,缩短了电路延时。

本文的设计思路也可运用到其他电路设计上,将两部分功能上紧密联系的电路做有机结合,设计出新的电路结构,获得更好的性能及更小的开销。

参考文献:

- [1] Klaus Finkenzeller. 射频识别(RFID)技术—无线电感应的应答器和非接触 IC 卡的原理和应用[M]. 2 版. 陈大才,译. 北京:电子工业出版社,2002.
- [2] Information technology — Radio frequency identification for item management air interface-Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz, ISO/IEC JTC 1/SC 31/WG 4N0722[S]. ISO-18000,2003-11-26.
- [3] 王峥. 超高频 RFID 空中接口协议的研究与系统设计[D]. 天津:天津大学电子信息工程学院,2011.
- [4] Chiu S, KiPnis I, Loyer M, et al. A 900MHz UHF RFID Reader Transceiver IC[J]. IEEE, JSSC, 2007 (42):12.
- [5] 陈亦灏. 符合 EPC C1G2 标准的阅读器数字基带关键技术研究[D]. 上海:华东师范大学信息学院电子科学系,2008.
- [6] 张建伟,展雪梅. FIR 数字滤波器的设计与实现[J]. 无线电工程,2010,40(6):54-56
- [7] 张会生,王效洪,耿光辉. 基于 FPGA 实现根升余弦滤波器的研究[J]. 无线通信技术,2005(2):46-49.
- [8] 周灏. UHF RFID 阅读器数字基带研究与设计[D]. 上海:华东师范大学信息学院电子科学系,2009.

作者简介:

徐智勇 男,(1990-),硕士研究生. 研究方向为数字集成电路设计、无线通信. E-mail:909967642@qq.com.

庄奕琪 男,教授,博士生导师. 研究方向为通信与功率系统集成、短距离无线通信、信息家电核心芯片设计.

靳 刚 男,博士. 研究方向为无线通信集成电路设计.

(上接第 87 页)

朱 丹 男,(1962-),研究员,硕士生导师. 研究方向为成像跟踪、实时图像处理等.

佟新鑫 男,(1972-),研究员. 研究方向为成像跟踪、实时图

像处理等.

王玉良 男,(1981-),硕士研究生. 研究方向为数字视频处理、电视跟踪、视频编码与通信.