

带扩展接口的超高频 6C 标签设计

崔 燕, 张 春, 赵西金, 陈 虹

(清华大学 微电子所, 北京 100084)

摘 要: 对 6C 标签进行 SPI 接口的扩展设计, 实现微控制器对无源标签的有线配置和外设对存储器的无线读写功能, 极大地扩展了 6C 标签的应用场景. 详细介绍标签通过 SPI 接口分别与微控制器和外部存储器两种交互模式下的工作流程以及数字基带处理器的具体设计. 该标签可携带外部存储器, 实现大容量数据存储功能. 按照定义的功能, 完成了数字基带处理器的 RTL 设计并采用华虹 NEC13 工艺进行后端设计, 最终面积仅为 $515\ \mu\text{m} \times 380\ \mu\text{m}$.

关键词: SPI 接口; 无线读写; 数字基带处理器; 大容量数据存储

中图分类号: TN492

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)02-0157-04

The Design of UHF 6C Tag with Extended Interface

CUI Yan, ZHANG Chun, ZHAO Xi-jin, CHEN Hong

(Institute of Microelectronics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This paper designs a UHF 6C tag with SPI interface to extend its application. The designed passive tag not only can be configured by MCU but also can access the external memory by SPI interface. In this paper, the working flow of tag under two modes which means the communication with MCU or external memory by SPI interface and the specific design of digital processor are analyzed in detail. The tag can carry external memory and can achieve high-capacity data storage capabilities. According to the function, baseband is realized by Verilog and the chip is fabricated with NEC13 process. The final area of baseband is only $515\ \mu\text{m} \times 380\ \mu\text{m}$.

Key words: SPI interface; wireless operation; digital baseband processor; high-capacity data storage

1 引言

射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 是一种利用电磁波进行双向非接触数据传输的技术, 其目的是信息互换^[1]. 由于其可靠性好、智能型高等优点, 该技术逐渐取代条形码并在物流、交通等系统管理中广泛应用^[2].

由于 6C 标签具有安全性能高、防冲突性能好等优点, 在日常生活中使用越来越广泛. 由于标签功耗低和体积小要求, 标签芯片通常不能制作大容量内存的存储器, 因此极大地限制了无源标签的应用场景.

串行外设接口 (Serial Peripheral Interface, SPI) 是一种高速、全双工的通信总线. SPI 以主从端

配合的方式工作, 通常由一个主设备和多个从设备构成, 并且相互之间通信仅需要四根信号线, 它们分别为 SDI (数据输入)、SDO (数据输出)、SCK (时钟)、CS (片选), 极大地节省芯片面积^[3].

本设计通过对 6C 标签进行 SPI 接口扩展, 实现与外部存储器和微控制器 (Micro Control Unit, MCU) 交互的功能, 最终实现 MCU 对非接触无源标签的有线配置, 以及无源标签对外部大容量存储器的无线读写^[4].

2 标签与外设互连模式

一般而言, 大部分 MCU 本身具有 SPI 接口的主 (master) 端, 可以实现对其他设备的控制. 而存储器通常配有 SPI 接口的从 (slave) 端, 便于其它设备

收稿日期: 2013-04-20; 修回日期: 2013-05-22

基金项目: 广深公文化超高频 RFID 售检票系统; 国家高技术研究发展计划 (“八六三”计划) (2011AA010404)

使用存储器并对其进行配置. 如图 1 所示, 需要完成标签和外设的互连, 共存在以下三种 SPI 接口配置方式.

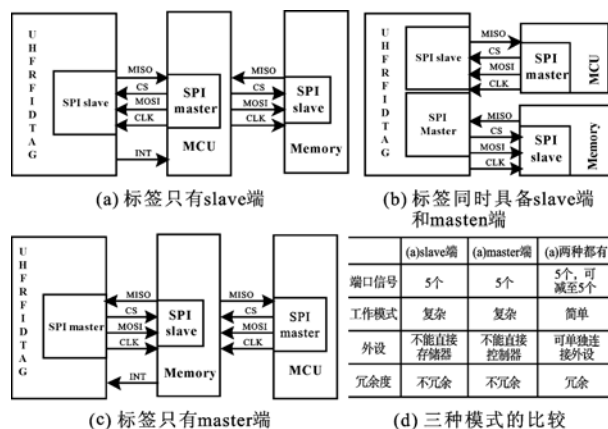


图 1 SPI 接口的配置

2.1 标签只有 slave 端

标签外部预留 5 根引线: MISO、CS、CLK、MOSI 和 INT, 其中 INT 信号为中断信号, 正常情况下 INT 被置低. MCU 与标签通过 MISO、CS、CLK、MOSI 直接通信, 标签可以响应 MCU 的读/写操作. 外部存储器与 MCU 而非标签互连, 如果标签需要对外部存储器工作, 则将中断信号 INT 置高. 当标签接受到读写器发送的对外部存储器的读/写操作命令时, 会将接收到的访问命令先存储在内部存储器中, INT 的被置高后会使 MCU 主动读取内部存储器中存储的命令, MCU 获取命令后再通过 SPI 接口将之传送给外部存储器, 从而实现标签对外存的操作.

2.2 标签只有 master 端

标签外部预留 5 根引线: MISO、CS、CLK、MOSI 和 INT, 其中 INT 信号为中断信号, 正常情况下 INT 被置低. 外部存储器与标签通过 MISO、CS、CLK、MOSI 直接通信, 标签可以实现对外部存储器的读/写操作. MCU 与外部存储器而非标签互连, 如果 MCU 需要对标签进行操作, 则需要将中断信号 INT 置高. MCU 在置高 INT 信号前, 先将对标签的操作命令存储在外部存储器中. 标签在接收到高电平的 INT 脉冲后, 主动访问外部存储器中存储的命令, 并根据命令进行相应的应答, 从而实现外部 MCU 对标签的有线操作.

2.3 标签同时具备 master 端和 slave 端

这种情况下, 标签可以同时携带 MCU 和外部存储器, 标签外部预留 8 根引线: MISO、CS、CLK、MOSI 各两根. 无论是 MCU 还是存储器都可以直

接与标签通信, 不需要中间器件.

2.4 标签工作模式

通过对以上三种连接方式的比较, 考虑到系统的简单易操作性, 本文最终选取方案图 1(c). 考虑到一般不会同时携带 MCU 和存储器, 选用输入输出管脚复用的方法, 将 8 根接口信号简化至 5 根: CLK、CS、MISO、MOSI 和 AUX. 其中 AUX 信号为模式选取信号, CLK、CS、MISO、MOSI 为通信信号线. 默认 AUX 信号为低, 标签工作于模式 A 并外接存储器, 低电平 AUX 将焊盘 MOSI、CLK、RST 配置为输出端口, 并将焊盘 MISO 配置为输入端口; 当标签外接控制器时, 标签工作于模式 B 并将 AUX 置高, 焊盘 MOSI、CLK、RST 被配置为输出端口, MISO 设定为输入端口.

3 标签架构及工作流程

3.1 标签架构

本文设计的带扩展接口 6C 标签的架构如图 2 所示, 标签由模拟前端、片上存储器、天线和数字基带构成. 模拟前端进行解调、调制、整流、产生时钟和复位等; 片上存储器被用户用来存储配置模式内容和自身信息; 天线用来转化能量供无源标签使用; 数字基带处理器则进行协议规定的功能处理, 对读写器命令进行应答以及对外设进行互连等.

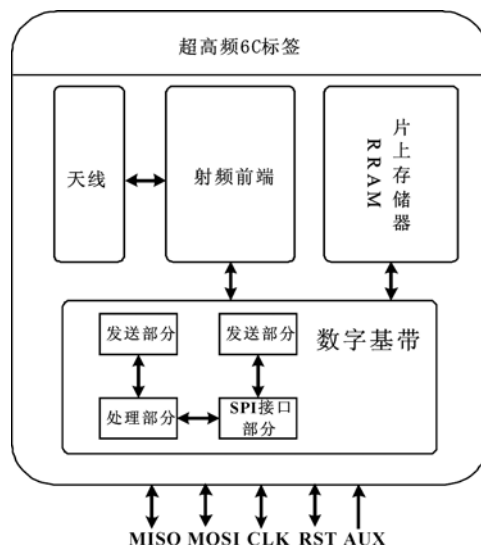


图 2 带扩展接口的标签结构

3.2 模式(a)标签工作流程

当标签工作于图 1 模式(a)时, 外接 MCU, 标签可以响应 MCU 的读/写操作.

如表 1 所示, MCU 发送的写命令包含命令码、地址和数据, 标签无需应答写命令.

表 1 WRITE 命令格式

内容	命令	地址	数据
位数	2	16	8
WRITE	11		

MCU 发送的读命令由命令码、地址组成,如表 2 所示。接收到读命令后,标签应答内部存储器对应地址内容。

表 2 READ 命令格式

内容	命令	地址
位数	2	16
READ	10	

MCU 对标签发送的命令以及标签的应答均不进行任何格式的编码。

当标签处于工作模式(a)时,标签处于 6C 协议规定的任何状态,都能够响应 MCU 的读/写操作,并立刻进行应答,MCU 对标签具有最高等级的操作权。当 MCU 不对标签进行任何操作时,标签应能响应读写器发送的 6C 命令,标签状态转换也按照 6C 协议的规定进行跳转。

3.3 模式(b)标签工作流程

当标签工作于图 1 模式(b)时,标签可携带 Atmel 公司的型号 AT25512 作为外部存储器,并实现

表 3 对外部存储器操作的写命令

命令	存储体	字指针	内容	RN16	CRC16
8	00	EBV	16	16	16
11000011	TID 存储体	0000001	RN16 XOR 1100001000000000	句柄	

当标签工作在模式(b)时,外部电源直接对外存供电,标签模拟前端转化的能量提供标签数字基带及片内存储器所需的电压。

此时,将标签置于读写器场区中后,标签应能够响应 6C 协议定义的命令,应答格式应符合协议规定。只有标签处于开放或者保护状态时,标签才能执行对外部存储器的读/写操作。

4 数字基带设计

标签的数字基带部分共包含接收、处理、SPI 接口和发送四大部分^[5],如图 3 所示,对应的模块及实现功能阐述如下:

(1)接收部分。此部分主要完成对读写器发送命令的接收。其中时钟同步模块实现外部数据的同步和门控时钟的产生;解码模块完成 PIE 解码;缓存

对该存储器的四种操作命令:写使能(WREN)、写禁止(WRDI)、读(READ)、写(WRITE)。写使能和写禁止配合写命令进行操作。在进行对外部存储器的操作前,需要先发送写使能打开存储器的控制信号使其能够接受写操作。写操作执行完后,需要再对外存发送写禁止命令关闭控制信号,以防标签对外存的误编程操作。

由于不同公司的存储器可接受的操作命令码各不相同,为保证本标签可以携带多种外部存储器,对外存的操作命令码不是由读写器直接发送给标签,而通过与内部存储器地址映射的方法进行发送。

以对外部存储器发送写使能指令为例,假设外部存储器的写使能命令码为(11000010)_B,写使能的映射地址为内部存储器的 1 地址。当读写器发送如表 3 所示的 6C 写指令时,标签并不对 EBV 所指向的 1 地址执行写操作,而是将命令中写内容 1100001000000000 的高 8 位(11000010)_B作为命令码通过 SPI 主接口串行发送出去,同时将 CS 和时钟 SCK 置于有效位。此时内容的高 8 位码即为外部存储器所能响应的写使能命令,外部存储器接受到写使能后,执行响应操作。其他命令依次类推,只需将表 3 中写命令的数据内容更换成相应的指令码即可。

模块实现对接接收命令的存储;CRC 模块完成 CRC16 的校验。

(2)处理部分。该部分完成对命令的处理功能。其中控制模块实现标签状态的转换、命令的处理以及对外围设备的控制信号产生等;随机数模块生产随机数作为句柄或 RN16;T1 模块控制应答的间隔时间;T2 模块控制命令发送的间隔时间。

(3)SPI 接口部分。此部分包含 SPI 主端和 SPI 从端两大模块,分别实现对外部存储器访问和受外部微控制器的操作。

(4)发送部分。主要完成发送基带处理器的应答给模拟前端进行调制。命令拼接模块是将标签应答和 CRC 数据进行拼接形成完整的应答信号;Miller 编码实现 miller 编码功能;FM 编码实现 FM0 编码功能。

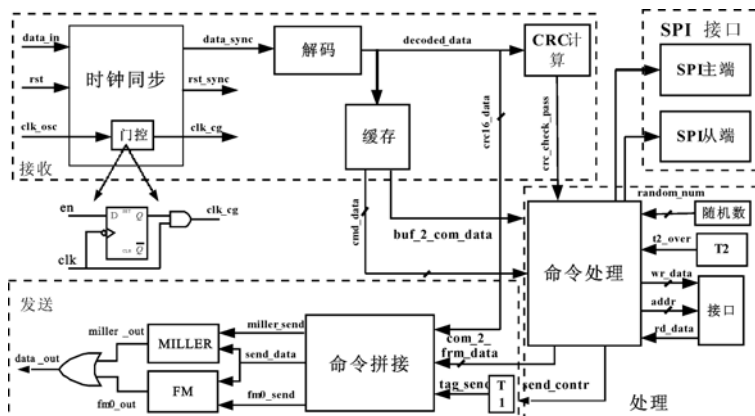


图3 数字基带处理器的架构

5 仿真结果

按照定义的功能和 6C 协议的规定,本设计进行了数字基带 RTL 级代码功能实现,如图 4 所示。仿真功能显示,标签能够按照 6C 协议应答 QUERY、ACK、REQRN、READ、WRITE 等命令。同时,按照设计的扩展接口功能,标签能够完成对外部存储器的读、写操作,以及响应 MCU 的读、写命令,功能完全符合预期设计。

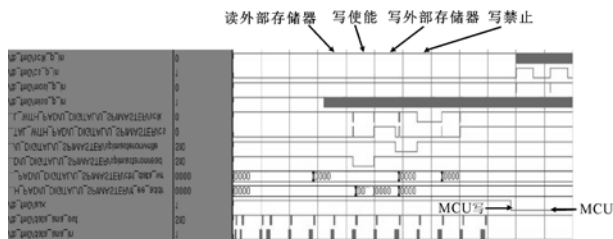


图4 标签数字基带仿真波形

对数字基带采用华虹 NEC13 工艺进行后端设计流片,最终电路门数为 5 135 门,面积为 $515 \mu\text{m} \times 380 \mu\text{m}$,便于嵌入标签内部。

6 结束语

文中实现了一款带扩展接口的 6C 标签,该标签不但可以完成 18000-6C 协议规定命令处理功能,而且实现 SPI 扩展接口的功能。本文设计的标签可

以携带 ATMEL 公司大容量存储器和微控制器,从而实现对外存的无线写入和对内存的有线编程功能。标签整片使用华虹 NEC13 进行加工流片,大小仅为 $650 \mu\text{m} \times 650 \mu\text{m}$ 。该标签可以被广泛地应用于物流追踪、无线网建设等领域。

参考文献:

- [1] Finkenzeller K. RFID Handbook: radio-frequency identification fundamentals and applications [M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2004.
- [2] 徐凯. 无源 UHF RFID 标签数字电路设计与测试. [D]. 天津: 天津大学, 2011.
- [3] 陈曦, 黄毅. 片上系统设计思想与源代码分析 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [4] Wu Dengfeng, Zhao Hongwei, Du Hongyun, et al. Research and design of wireless transmission system based on RF905 [C] // Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE). Changchun: IEEE, 2010: 316-319.
- [5] 尉定国. 超高频 RFID 标签数字基带处理器的低功耗设计 [D]. 北京: 清华大学, 2012.

作者简介:

崔燕女, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为数字基带处理器低功耗设计。

张春男, (1972—), 副研究员. 研究方向为集成电路系统设计、信号处理。