

基于 LAN9252 芯片的 EtherCAT 从站的实现

陶春荣 崔恒荣 游新望

(中国船舶集团有限公司第八研究院 南京 211153)

摘要: EtherCAT 总线由德国 Beckhoff 公司提出,是目前速度最快的工业以太网系统,目前众多 EtherCAT 相关产品及方案已经在自动化领域得到推广和应用。本文提出了一种基于 LAN9252 和 STM32F732 芯片的 EtherCAT 从站实现方法,介绍了具体的硬件电路和软件程序设计方法。

关键词: LAN9252; STM32F732; EtherCAT; 从站

中图分类号: TP31 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0401(2021)01-0058-04

Implementation of EtherCAT slave station based on chip LAN9252

TAO Chun-rong, CUI Heng-rong, YOU Xin-wang

(No.8 Research Academy of CSSC, Nanjing 211153)

Abstract: EtherCAT bus, proposed by Beckhoff German company, is the fastest industrial Ethernet system, and many EtherCAT-related products and solutions have been promoted and applied in the field of automation. An implementation method of the EtherCAT slave station is presented based on the chips LAN9252 and STM32F732, and the specific hardware circuit and software program are designed.

Keywords: LAN9252; STM32F732; EtherCAT; slave station

DOI:10.19341/j.cnki.issn.1009-0401.2021.01.015

0 引言

EtherCAT 总线由德国 Beckhoff 公司提出,是目前速度最快的工业以太网系统,其组网结构简单,兼容标准以太网,通信周期可达微秒级。该总线具有卓越的通讯性能、高精度同步节点、灵活的布线方式以及任意的节点数量,可支持任何网络拓扑类型。它可以使用标准的以太网电缆传输。由于采用了保留的以太网帧类型 0x88A4,因此该总线协议可以与其他以太网协议并行运行。它不需要 IP 协议,但是可以被封装在 UDP/IP 协议中。EtherCAT 总线硬件设计上采用主从式结构,其协议的处理是由从站控制器 ESC 内部硬件直接实现的。因此,它的数据处理速度取决于硬件的处理能力。

1 EtherCAT 从站控制器简介

在 EtherCAT 的一个网段网络中,除主站外接入网络的节点称为从站。从站子系统通过从站控制器(ESC, EtherCAT Slave Controller)接入 EtherCAT 网络。目前主要有 3 种接入方式:

(1) 使用授权的核心将 ESC 的硬件电路以“软核”的模式集成到 FPGA 中,使得 FPGA 具备 ESC 这个通信模块。目前, Xilinx 公司和 Altera 公司都有相应的 EtherCAT 授权的核心可供选用。

(2) 使用专用的 ESC 芯片。该芯片专门用于 EtherCAT 通信,设计时采用“ESC+ μ C”结构,即以 ESC 芯片作为 EtherCAT 通信的从站控制器,而从站的系统以微控制器 μ C 来管理并通过过程数据接口(PDI, Process Data Interface)读取写入 ESC。典型的 ESC 芯片代表是 Beckhoff 公司的 ET1100/ET1200 芯

收稿日期: 2020-08-28; 修回日期: 2020-09-07

作者简介: 陶春荣,男,1980 年生,研究员,硕士,研究方向: 机电控制; 崔恒荣,男,1988 年生,工程师,硕士,研究方向: 机电控制; 游新望,男,1986 年生,高级工程师,硕士,研究方向: 机电控制。

片,以及 Microchip 公司的 LAN9252 芯片等。

(3) 使用具备 EtherCAT 通信功能的微处理器。该方式省去 ESC 芯片的使用,大大降低设计工作量。目前,具有 EtherCAT 通信功能的微处理器有瑞萨公司的 R-IN32M3-EC、Infineon 公司的 XMC4800 以及德州仪器的 AM3359/AM4379 /AM5728 等芯片。

由于本文的模块设计为 EtherCAT 从站通信模块,适合采用 ESC 从站专用芯片作为通信站点控制器,因此采用的是 LAN9252 和 STM32F732 芯片的 EtherCAT 从站的实现方法。

1.1 LAN9252 芯片介绍

Microchip 公司 LAN9252 作为 EtherCAT 从站控制器,其内部集成了两个 PHY 芯片,可以配置为全双工 100 Mbps 铜缆(100BASE-TX)或者 100 Mbps 光纤(100BASE-FX)传输方式。LAN9252 带有 4 KB 的 DPRAM、3 个现场总线存储器管理单元 FMMU 及 4 个 SM 通道管理器。此外,它的内部集成以太网 PHY 芯片,并支持 HP Auto-MDIX 功能。它带有 3 个以太网端口,可以实现线性连接、星形连接以及树形连接等多种拓扑结构。从站启动时需要从外部引脚和 EEPROM 读入配置信息。

1.2 STM32F732 芯片介绍

STM32F732 芯片是意法半导体公司开发的 32 位微处理器,采用的是 ARM 公司的 Cortex-M7 高性能内核。Cortex-M7 是目前性能最强的控制器内核,具有六级顺序超标量流水线、单双精度浮点运算单元、指令和数据缓存以及分支预测和 TCM 等特性。相比之前 M4 内核其性能得到极大提升。STM32F732 主频高达 216 MHz,具备内存保护单元,支持 DSP 指令,在执行内部 FLASH 代码时能达到 1082 Core Mark /462DMIPS 性

能表现。该内核集成了一级缓冲(4 KB 指令缓存+4 KB 数据缓存),让外部存储器的使用性能变得卓越。同时,它具有多通道 DMA、multi-AHB 总线矩阵、Chrom-Art 加速器、AXI 总线等强大的硬件支持,极大地优化了内部数据连接,无需 CPU 干预即可完成大量数据搬运。STM32F732 有 1024 KB 内部 FLASH,320 KB 存储,集成 AES、DES、HASH、HMAC 加密硬件电路,支持多种外部存储、多达 18 通道定时器及以太网连接 TFT 控制器。

2 硬件设计

本方案采用 STM32F732 芯片作为从站微处理器、LAN9252 作为 EtherCAT 从站控制器,为此可以将整个从站系统分为 STM 模块(微处理器部分)和 ESC 模块(控制器部分)两大模块。STM 模块的功能是实现应用层协议,ESC 模块的功能是实现 EtherCAT 数据链路层的功能。系统原理框图如图 1 所示。

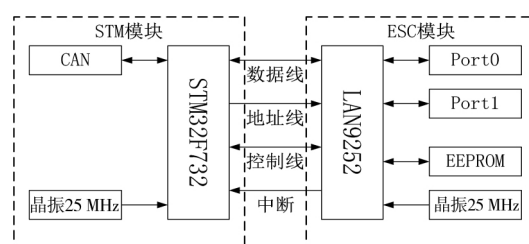


图 1 系统原理框图

2.1 ESC 模块硬件设计

LAN9252 内部集成有上电复位电路,在芯片复位后会根据其硬件配置引脚的电平状态将器件配置成相应的功能。LAN9252 主要的硬件配置管脚定义如表 1 所示。

表 1 硬件配置管脚定义

管脚	功能	配置说明
E2PSIZE	外接 EEPROM 的容量设置	0: 选择 EEPROM 容量为 1 K bits (128x8) 到 16 K bits(2Kx8) 之间; 1: 选择 EEPROM 容量为 32 K bits (4Kx8) 到 4 Mbits(512Kx8) 之间
CHIP_MODE1 CHIP_MODE0 [1:0]	芯片工作模式选择	00: 两端口模式。Port0 和 1 连接至内部的 PHYs A 和 B 01: 保留 10: 三端口下行模式。Port0 和 1 连接至内部的 PHY A 和 B, Port2 连接至芯片 MII 管脚上(需外接 PHY 芯片) 11: 三端口上行模式。Port0 和 1 连接至内部的 PHY A 和 B, Port2 连接至芯片 MII 管脚上(需外接 PHY 芯片)
FXLOSEN A	PHY A 模式选择	0: 铜缆模式 1: 光纤模式
FXLOSEN B	PHY B 模式选择	0: 铜缆模式 1: 光纤模式

当完成硬件配置后, LAN9252 通过读取外接 EEPROM 中的从站配置信息完成 LAN9252 从站的建立。当 LAN9252 自动配置完成后, 微处理器便可以通过配置好的 PDI(Process Data Interface ,即过程数据接口) 接口与 LAN9252 进行数据交互。LAN9252 支持两种类型的 PDI 接口, SPI 串行模式或者 MCI 并行模式。串行接口适用于数据传输量比较小的应用, 并行接口适用于传输数据量较大的复杂设备。为了实现高速率的数据传输, 本系统中采用外部总线, 通过变址寻址的方案和 LAN9252 进行通信。LAN9252 支持两种并行通信方式, 一种是总线复用模式, 一种是变址寻址模式。本方案中采用 16 位变址寻址模式对 LAN9252 进行寻址。

本方案采用查询方式和中断相结合的数据读取方式, 所以 ESC 的 IRQ 引脚要连接至 STM 模块的外部中断引脚。由于 LAN9252 通过 SYNC0 和 SYNC1 引脚为从站提供精确的同步脉冲以实现从站同步, 因此也需要将 SYNC0 和 SYNC1 引脚连接至 STM 模块的外部中断引脚。LAN9252 的接口连接图如图 2 所示。

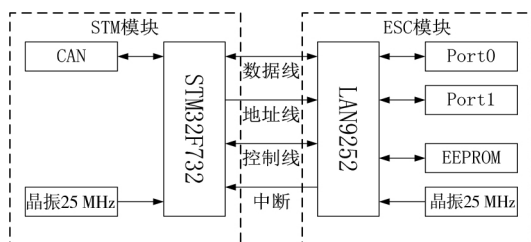


图 2 LAN9252 接口连接图

2.2 STM 模块硬件设计

STM 模块是 EtherCAT 从站的控制核心。该模块的作用是通过 FSMC 接口接收来自 ESC 模块的控制信息, 同时接收来自系统设备层的数据信息, 将数据信息通过 FSMC 总线传递给 ESC 模块, 从而实现相关数据在 EtherCAT 总线上的接收和传输。

STM32F732 芯片的 FSMC 接口支持多种外部存储区扩展。该接口内部集成了对这些存储区的控制器, 可以将系统 AHB 总线转化成与外部存储区复合的总线接口形式。FSMC 在 STM32F732 芯片内部占用大小为 1 GB 的内存寻址空间。这部分内存寻址空间分为 4 个大小为 256 MB 的 Bank, 其中 Bank0 又分为 4 个 Region, 每个 Region 占 64 MB。Bank1 和 Bank2 又被分成 2 个 Section, 分别是属性存储空间和通用存储空间。Bank3 分成 3 个 Section, 分别是属性存储空间、通用存储空间和 I/O 存储空间。每个 Bank 和 Region 都有独立的片选控制信号, 也都能进行独立的配置。

具体地址映射关系如图 3 所示。

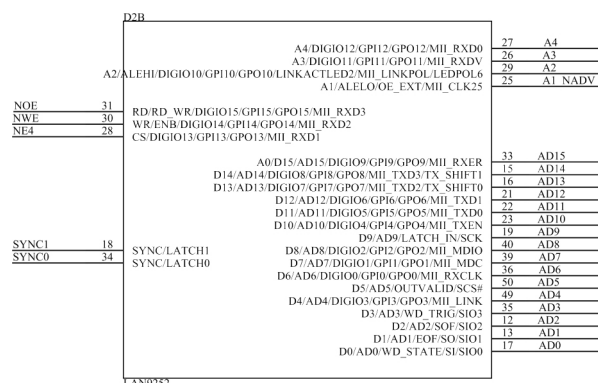


图 3 FSMC 地址映射关系图

由于本方案中采用 16 位变址寻址模式对 LAN9252 进行寻址, 因此 FSMC 模块必须设置成 16 位数据宽度、PSRAM 控制器模式, 使用 NE0 作为 LAN9252 的片选信号。

ESC 模块有 3 个中断信号需要接入 STM 模块中, 而对于 STM32F732 芯片来说其所有通用管脚均可设置为中断触发模式并由 EXTI(中断/事件控制器) 进行检测控制。EXTI 有 3 种触发类型: 上升沿触发、下降沿触发和任意沿触发。根据 ESC 模块的手册本方案采用的是上升沿触发。

3 软件设计

软件主要由两部分组成, 一是 EEPROM 中的 ESC 模块配置文件, 二是 STM 模块软件。ESC 模块配置文件是从站物理层的基本配置信息, 而 STM 模块软件完成的是从站应用层的相关初始化、协议解析和数据处理等工作。

3.1 ESC 模块配置文件

ESC 模块配置文件主要是对 LAN9252 的 PDI (Process Data Interface ,即过程数据接口) 接口、从站状态机和状态寄存器以及 PDI 看门狗寄存器等的相关配置。EEPROM 数据格式如图 4 所示。

ESC 模块配置文件采用 ETG 协会提供的 SSC Tool 配置工具生成。根据 PDI 硬件接口工作模式选择对应的配置项、设备版本等信息, 配置完成后导入对象字典描述文件以及数据类型, 然后点击生成便可自动生成 EEPROM 配置文件。

3.2 STM 模块软件设计

STM 模块软件主要完成的功能为内核初始化、FSMC 接口和 EXIT 接口初始化、EtherCAT 协议栈及相

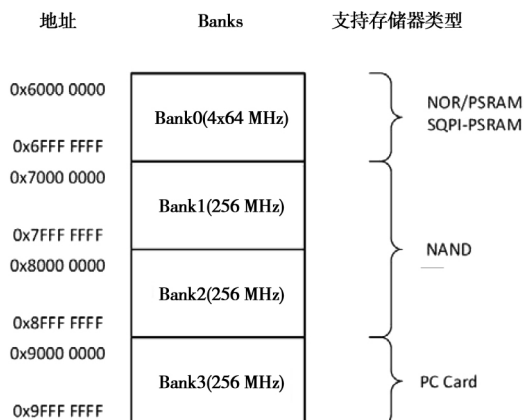


图4 EEPROM 配置数据信息

关变量数据的初始化,最终进入 EtherCAT 协议栈状态机。流程如图 5 所示。

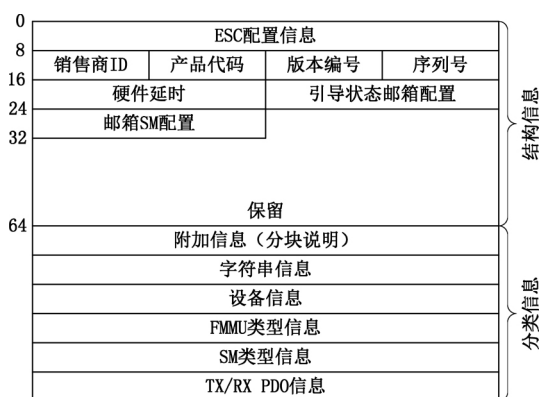


图5 软件流程图

STM 模块内核初始化主要是对 STM32F732 芯片的时钟进行配置,使其工作在 216 MHz 频率下,并配置好 EtherCAT 协议栈所需的定时器资源。FSMC 接口和 EXIT 接口的初始化是根据 STM 模块与 LAN9252 的硬件接口关系进行相应的配置工作。在本方案中 STM 模块与 LAN9252 的通信接口采用 FSMC 接口,所以需要根据配置文件中定义好的 PDI 接口的特性对 FSMC 接口进行配置。本方案中 PDI 接口采用 16 位变址寻址模式,因此 FSMC 接口需配置成 16 位 PSRAM 模式。本方案中 PSRAM 模式使用的是 BANK0 区域,所有此时以 0x60000000 为起始地址的 64 KB 空间将映射为 LAN9252 的内存空间。由于 EtherCAT 的状态事件以及同步数据是通过中断控制模式进行读写的,所以需要针对 LAN9252 的 3 个中断对 STM 模块的 EXIT 接口进行配置。本方案配置了 EXTI1、EXTI2、EXTI3 作为 LAN9252 的中断接口。至此,STM 模块的初始化

功能已完成。

EtherCAT 协议栈主要实现 EtherCAT 状态机的变换、数据的读写等功能。该协议栈由 SSC Tool 配置工具生成。但是,生成的协议栈不能直接在 STM 模块上运行,需要根据 STM 模块的硬件设计进行相应的移植工作。首先需要对 3 个中断处理函数 EXTI0_IRQHandler、EXTI1_IRQHandler、EXTI2_IRQHandler 进行修改。将这 3 个函数与 EtherCAT 协议栈中断处理函数 PDI_Isr()、Sync0_Isr() 以及 Sync1_Isr() 相关联;其次将定时器中断函数 TIM2_IRQHandler() 和 ECAT_CheckTimer() 函数相关联,以实现 EtherCAT 协议栈运行时的定时要求;最后将 FSMC 接口的读写函数改写为 EtherCAT 协议栈的 4 个读写函数 HW_EscRead()、HW_EscReadIsr()、HW_EscWrite()、HW_EscWriteIsr() 中便完成了 EtherCAT 协议栈在 STM 模块上的移植工作。

4 结束语

传统的控制系统一般采用 RS232、CAN 等通讯方式进行控制命令和数据的传输,控制命令和数据传输的实时性和同步性很难得到保证,无法做到实时高精度的控制。通过上述方法实现的基于 LAN9252 芯片的 EtherCAT 从站其优异的通讯性能和同步特性保证了控制系统的精度和实时性。该 EtherCAT 从站已经在某型产品的伺服驱动平台上使用,应用稳定可靠,效果良好,具有很好的实际应用和推广价值。

参考文献:

- [1] 2/3-Port EtherCAT® Slave Controller with Integrated Ethernet PHYs [M]. Microchip Technology Inc, 2015.
- [2] EVB-LAN9252-HBI-SPI-SQI-GPIO EtherCAT® HBI/SPI+GPIO User's Guide [M]. Microchip Technology Inc, 2015.
- [3] STM32F732xx Datasheet [M]. STMicroelectronics, 2018.
- [4] STM32F7 Series and STM32H7 Series Cortex®-M7 processor programming manual [M]. STMicroelectronics, 2017.
- [5] EtherCAT Slave Stack Code [M]. BECKHOFF, 2017.