

MSP430F5xx 实现高速公路不停车收费系统 (ETC) OBU 单元 HDLC FM0 实时编解码办法

郭君

MSP430 产品技术支持

摘要

本文探讨了使用 MSP430F5xx 实现 ETC 系统中实时 HDLC FM0 编解码的方法。结合 F5xx 的 DMA，TimerA，及 CRC16 模块，实现几乎实时的 HDLC FM0 软解码办法，完全实时的 HDLC FM0 编码方法和高效的硬件 CRC16 校验。本文包括相关的两个实例代码。

内容

1 介绍	2
1.1 高速公路不停车收费系统 (ETC) 介绍	2
1.2 MSP430 介绍	2
1.3 车载电子标签 (OBU) 系统对 MCU 的资源要求	2
1.3.1 ETC 车载电子标签 (OBU) 结构	3
1.3.2 FM0 编码方式介绍	3
1.3.3 HDLC FM0 数据帧格式	4
2 使用 MSP430F5xx 片上 DMA、TimerA, CRC16 实现实时 HDLC FM0 编解码和校验的方法.....	4
2.1 传统解码方式	4
2.2 MSP430F5xx 的 HDLC FM0 实时解码办法	5
2.3 解码实时性测试结果：	8
2.4 利用 MSP430F5xx IO 口翻转方式实现 HDLC FM0 实时编码	9
2.5 使用 MSP430F5xx 硬件 CRC16 成倍提高校验效率	9
3 参考代码说明	10
4 总结	11
5 参考文档	11

图

图 1. ETC OBU 结构图	3
图 2. FM0 编码方式	4
图 3. Timer 捕获中断方式	5
图 4. 捕获和 DMA 自动数据搬移的解码方式	6
图 5. HDLC FM0 DMA 方式解码	7
图 6. 程序流程图	8
图 7. 串口接收到的数据	8
图 8. 解码实时性	9
图 9. MSP430F5xx CRC16 结构	10

表

表 1. HDLC FM0 数据帧格式	4
表 2. 软件和硬件方式 CRC16 校验效率对比	10

1 介绍

ETC 系统中车载单元除了对 MCU 有低功耗的要求之外，还需要有快速的数据处理和通讯能力，本文介绍了一种使用 MSP430F5418 片上硬件资源实现 ETC 系统中 OBU 单元与 RSU 快速数据交换的办法。通过灵活应用片上资源，实现 1 毫秒内的数据响应。

1.1 高速公路不停车收费系统（ETC）介绍

不停车收费系统（又称电子收费系统 Electronic Toll Collection System，简称 ETC 系统）是利用 RFID 技术，实现车辆不停车自动收费的智能交通子系统。该系统通过路侧单元 RSU（Road Side Unit）与车载电子标签之间 OBU（On Board Unit）的专用短程通信，在不需要司机停车和收费人员操作的情况下，自动完成收费处理过程。实施不停车收费，可以允许车辆高速通过（几十公里以至 100 多公里），与传统的人工收费 8 秒出票相比较，不停车收费大大加快了高速公路收费站口的通行能力，据测算，较人工收费车道，ETC 车道通行能力将提高 4~6 倍，从而减少车辆阻塞现象。使用 ETC 系统从汽车用户的角度来说节省了时间，减少了油耗。从业主的角度来说提高了收费效率。

1.2 MSP430 介绍

TI 公司的 MSP430 单片机产品系列具备 16-bit RISC 架构，超低功耗。作为 MSP430 最新产品序列，F5xx 首次采用 0.18um 工艺，增强了时钟系统及内部电源管理模块，进一步降低了功耗，1MIPS 的典型电流值 160uA。同时，MSP430F5xx 提供了丰富的片上功能模块，例如，硬件的 RTC，12-bit ADC，灵活的时钟系统，硬件 CRC16，电源管理模块和多通道的灵活强大的 DMA，支持待机模式下的数据交换。

1.3 车载电子标签（OBU）系统对 MCU 的资源要求

车载电子标签系统对 MCU 有两个挑战。一是低功耗；二是高速数据通信能力。车载电子标签使用专用电池，要求有 5 年以上寿命或者能够支持 1 万次以上交易。整个系统的低功耗设计成为工程师们的首要任务。其次，RSU 和 OBU 之间的数据通讯采用 HDLC FMO 的编码方式，下行数据波特率达到了 256Kbps，上行数据波特率 512Kbps。由于车辆通行时间非常短，需要 OBU 对 RSU 的数据和命令快速响应。通常在 OBU 接收到数据包之后，需要在 1-3ms 之内完成数据的解码，校验以及编码，校验发送的过程。而数据包最长能够达到 1Kbits，不允许 OBU 收下整个数据包之后再解码，这要求 MCU 有实时编解码的能力。

1.3.1 ETC 车载电子标签 (OBU) 结构

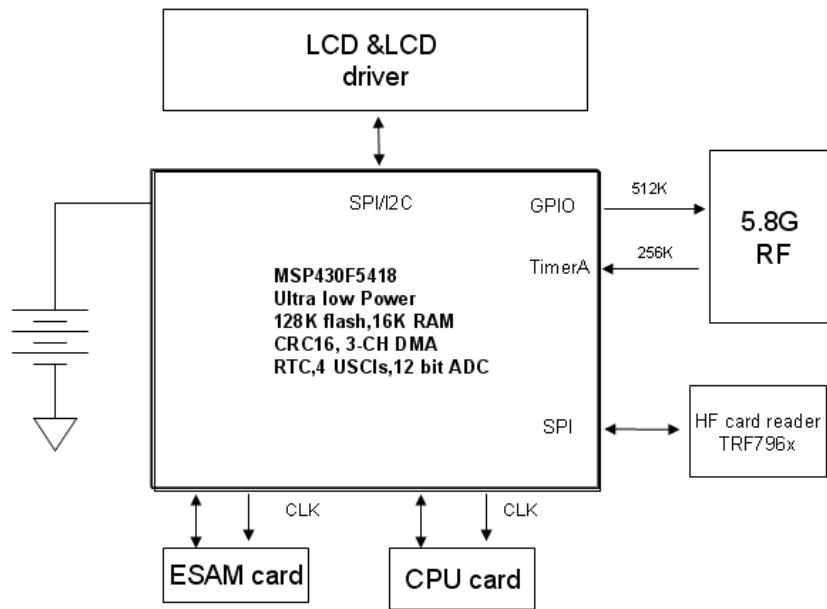


图 1. ETC OBU 结构图

如图 1 所示, OBU 由电池系统, MCU, 射频, 显示和读卡部分 (ESAM 卡, CPU 卡, 射频卡) 组成。MCU 作为整个系统的中心, 负责管理显示, 读卡以及与射频部分的数据处理及交换。

1.3.2 FMO 编码方式介绍

在车辆通过收费站时, OBU 和 RSU 通过 5.8G 的载波调制, 进行高速的数据交换。数据采用 HDLC FMO 调制。

FMO 编码遵循以下三个规则

- A.一个周期内有电平跳变表示”0”;
- B.一个周期内没有电平跳变表示”1”;
- C. 相邻两个周期电平相反。

数据形式请参考图 2

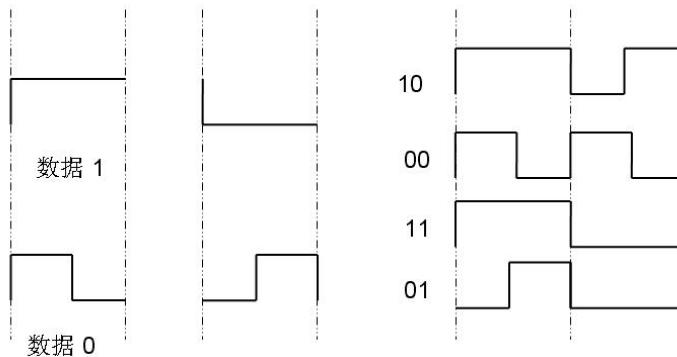


图 2. FM0 编码方式

1.3.3 HDLC FM0 数据帧格式

HDLC 协议规定，每一个数据帧以相同的标志字开始和结束，这个标志字是 01111110 (0x7E)。开始标志到结束标志之间构成一个完整的信息单位，称为一个数据帧。接收方检测 0x7E 来探知数据帧的开始和结束。HDLC 帧的信息长度是可变的。为了确保标志字的唯一性，发送数据时采用“0”比特插入技术，发送方在发送除标志字符外的所有信息时(包括校验位)，遇到连续的 5 个“1”就自动插入一个“0”；接收方在接收数据时，遇到连续的 5 个“1”就自动将其后的“0”删掉。

前导码	前导码	帧开始标志	数据区	CRC 校验	帧结束标志
16 个 1	16 个 0	01111110	data	16bit	01111110

表 1. HDLC FM0 数据帧格式

2 使用 MSP430F5xx 片上 DMA、TimerA, CRC16 实现实时 HDLC FM0 编解码和校验的方法

2.1 传统解码方式

由于 HDLC FM0 编码的数据“0”和“1”的电平宽度不一样，对 HDLC FM0 的软解码可以通过计算数据的电平宽度，实现解码。通常有两种方式，一种是 Timer 捕获数据沿，然后软件在中断中判断数据沿之间的宽度。另外一种是定时采样数据口线的电平，通过计数方式得到电平宽度。ETC 下行数据速率达到 256Kbps，对数据“0”来讲，数据跳变沿之间的宽度只有 1.95uS。对数据“1”来讲，数据沿宽度只有 3.90uS。以第一种方式为例，传统的软解码方式过程如下：

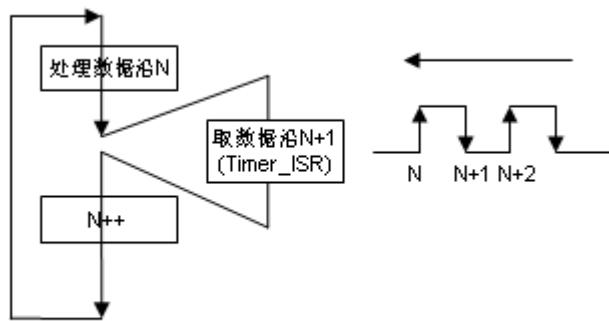


图 3. Timer 捕获中断方式

如图 3 所示，数据接收过程中，Timer 会每 $1.95\mu\text{s}$ 或者 $3.90\mu\text{s}$ 捕获到一个数据沿，并把数据沿保存到对应寄存器。所以，Timer 捕获寄存器里的数据会最快每 $1.95\mu\text{s}$ 更新一次。这就需要 CPU 速度足够快，能够在至少 $1.95\mu\text{s}$ 之内完成解码过程。否则，Timer 捕获寄存器的数据就会被新的数据覆盖掉，造成解码错误。一般 MCU 完成 1 个 bit 解码的时间需要 40 个 cycle，那么至少需要 MCU 主频达到 21MIPS 以上才能实现实时解码。通常，我们会选取主频超过 30MIPS 的 MCU，而这些高速 MCU 功耗往往难以满足 ETC 系统的要求。所以，很多 ETC 工程师采用双 MCU 的方式，由一颗高速 MCU 实现 HDLC FMO 实时编解码，另外还有一颗低功耗 MCU，通常是 MSP430 来管理整个系统的功耗。这增加了系统的成本和复杂度。MSP430F5xx 的问世，能够同时满足 ETC 系统对 MCU 所有的要求。

2.2 MSP430F5xx 的 HDLC FMO 实时解码办法

MSP430F5xx 卓越的低功耗特性能够满足 ETC OBU 的低功耗要求。作为 MSP430 最新产品序列，1MIPS 的典型电流值降到了 $160\mu\text{A}$ ，片上 PMM（电源管理模块）让用户能够根据 MCU 负荷灵活调节核电压，确保功耗最低。另外，具备多种低功耗状态。在典型的 LPM3 模式下，打开 RTC，RAM 数据保持的情况下功耗仅为 $2\mu\text{A}$ 。

除了卓越的低功耗特性外，MSP430F5xx 主频虽然最高只能达到 25MIPS，但由于有灵活的多通道 DMA，能够与 Timer 联动，实现数据的自动搬移而不干扰到 CPU，这极大的增强了 MCU 的数据吞吐能力，使主频不再成为瓶颈，而完成对 HDLC FMO 近乎实时的解码。另外，硬件的 CRC16 模块让 MCU 只需要操作寄存器就可以完成数据校验。利用 DMA 和 CRC16 的实时解码过程如图 4 所示：

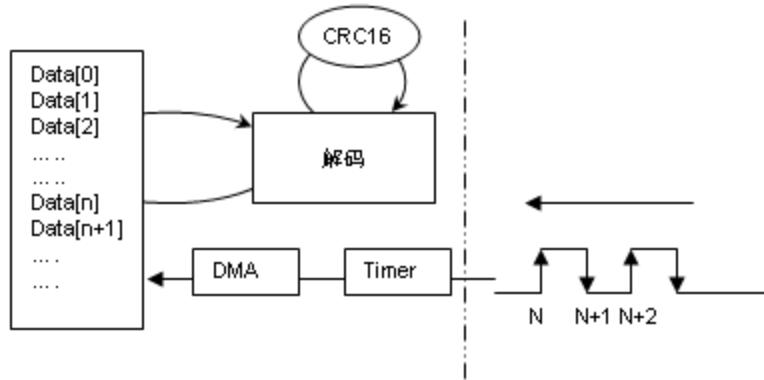


图 4. 捕获和 DMA 自动数据搬移的解码方式

MSP430F5xx 的定时器 TimerA 有多个通道的电平跳变捕获功能，当 TimerA 绑定的 IO 口有电平跳变时，TimerA 会把当前定时时刻值保存到捕获寄存器中。数据接收过程中，Timer 每 1.95uS 或者 3.90uS 捕获到一个数据沿，这时会自动触发 DMA，DMA 自动将 Timer 寄存器的数据搬移到 RAM 区的指定数组当中。整个数据接收过程不需要 CPU 的参与。有了 DMA 的存在，CPU 就不需要频繁的进出中断去取数据，也不用担心 Timer 捕获寄存器数据的丢失，只需专注于解码过程。由于 HDLC FMO 数据帧不是等长，程序需要做数据帧结束判断，我们可以采用 F5xx 的 TimerB 定时检查数据沿捕获情况，如果一段时间内没有数据沿捕获到，就可以判断为数据帧结束。实际情况中，CPU 解码得到数据帧结束标志 0x7e 后，可以丢弃后续的无效数据。

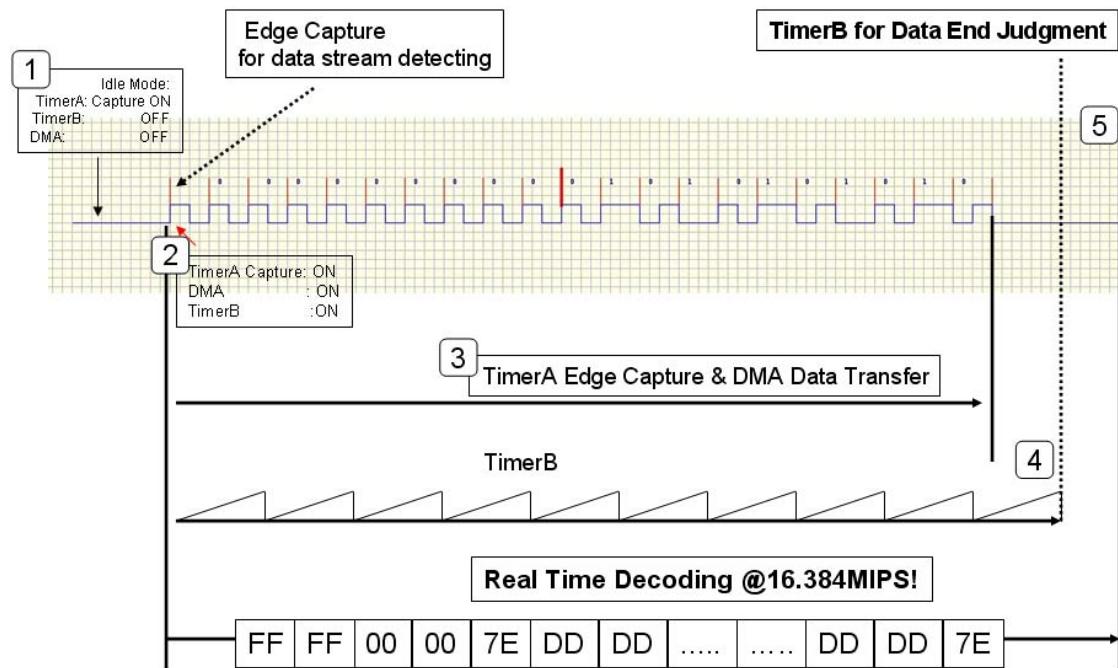


图 5. HDLC FMO DMA 方式解码

解码过程说明：

1. 待机状态：TimerA 配置成捕获模式，使能 TimerA 中断，等待数据到来
2. 捕获到第一个数据沿：在 TimerA 中断中使能 DMA，使能 TimerB 及 TimerB 中断
3. 数据接收：DMA 自动将后续的数据沿搬移到内存数组中；同时 MCU 解码
4. 数据结束：TimerB 判断数据接收结束
5. 解码结束

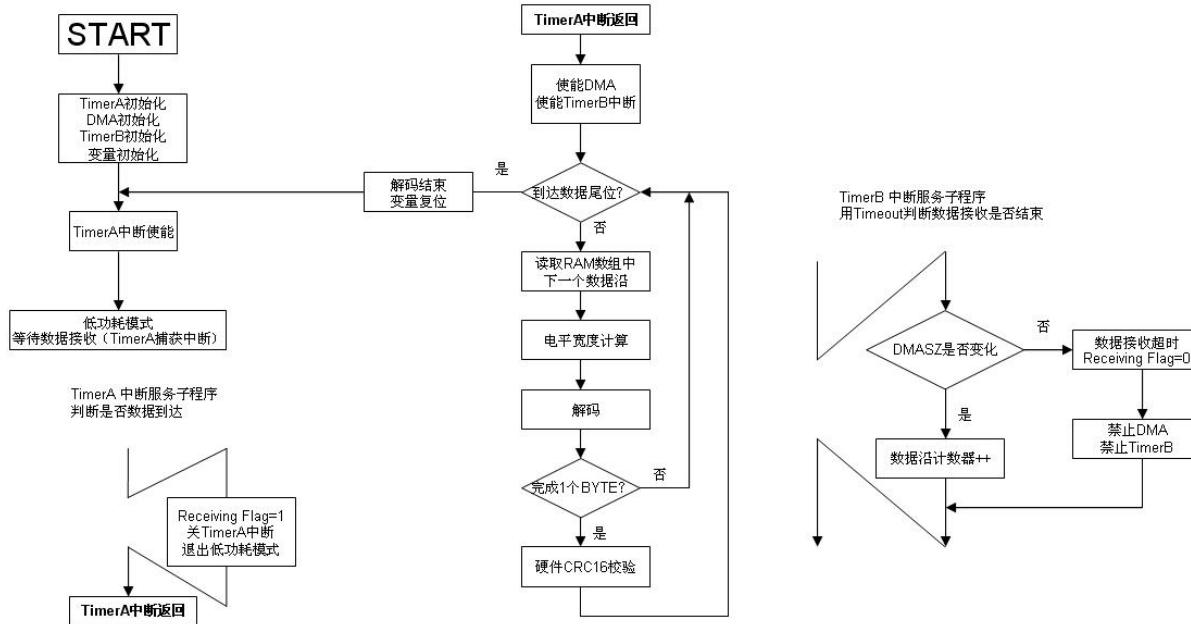


图 6. 程序流程图

2.3 解码实时性测试结果：

采用 120bytes 的数据做 HDLC FMO 解码测试，其中数据位“1”和“0”约各占 50%。
MSP430F5438 完成解码后，通过串口输出数据如图 7 所示：

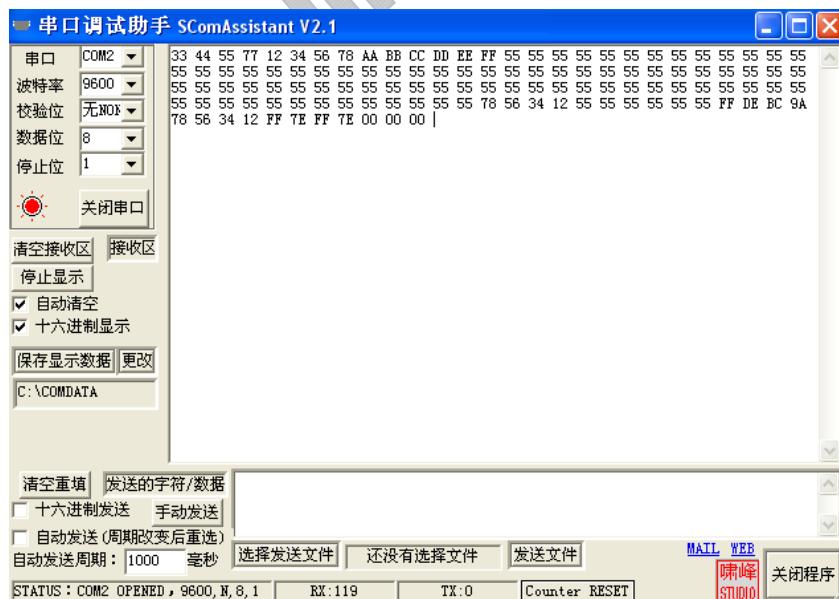


图 7. 串口接收到的数据

对上图 1Kbits 数据，实测 MCU 完成数据帧头帧尾探测，解码，去“0”，滞后数据包接收完毕约 700uS(主频 16.384MHz).如图 8 所示：

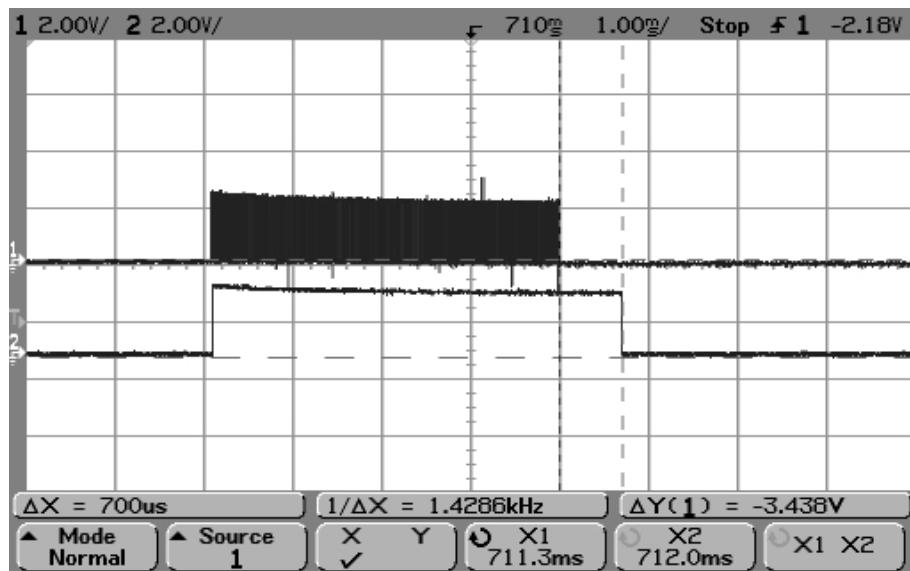


图 8. 解码实时性

2.4 利用 MSP430F5xx IO 口翻转方式实现 HDLC FMO 实时编码

ETC OBU 系统 MCU 上行数据率是 512Kbps。当我们把主频设置在 16.384Mhz，需要在 16.384M/512K=32 个指令周期内完成 HDLC FMO 的编码。MSP430 产品系列基于 16-bit 的 RISC 结构，有完全正交的指令系统。核心指令只有 27 条。这带来了非常高的指令效率。应用 MSP430 的汇编指令，用 IO 口翻转方式，可以方便的实现整个编码过程，包括前导码（0xFF00），起始标志（0x7E），数据编码和插“0”，结束标志 (0x7E)。详情请参考附件用汇编语言实现的 HDLC FMO 编码发送例程。

2.5 使用 MSP430F5xx 硬件 CRC16 成倍提高校验效率

MSP430F5xx 的 16 位循环冗余校验码 (CRC-16) 模块，符合 CRC-CCITT-BR 标准，其生成多项式为： $X^{16}+X^{12}+X^5+1$ 。MSP430F5xx CRC16 校验结果与 ETC 系统要求的 CRC16 校验结果稍有不同，需经过简单变换以满足国标要求，过程如下

- A. 将初始数据送到 CRCINRES 寄存器，通常是 0xFFFF;
- B. 将待处理数据连续送到 CRCDI 寄存器
- C. 从 CRCINIRES 取出结果。
- D. 将 C 得到的结果 (16-bit) 数据头尾互换
- E. 将 D 得到的结果按位取反

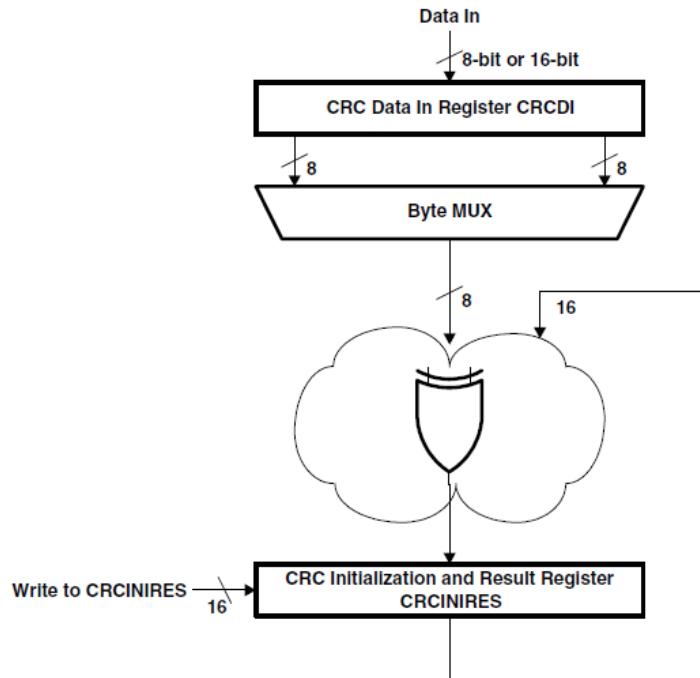


图 9. MSP430F5xx CRC16 结构

详细处理方法请参考附件例程。由于硬件承担了大部分的工作，CRC16 的运算效率得到很大提高。

数据长度 (byte)	CRC16 硬件校验时长 (cycle 数)	软件校验时长 (cycle 数)
1	226	78
20	438	801
50	546	1181
70	988	2701
100	1316	3844

表 2. 软件和硬件方式 CRC16 校验效率对比

从表-2 可以看出，在数据长度达到 100byte 时，硬件方式效率接近软件方式的 3 倍。

3 参考代码说明

FM0_Decoding_test.c : HDLC FM0 解码测试主程序,

CRC_hd.s43: CRC16 校验功能子程序, 与解码测试主程序配合 (汇编)

Lowinit.c: 看门狗初始化, 请加到工程中

FM0Encoder_16.384M_test.c: 编码发送测试主程序

FM0_encode_16.384M.s43: 实时 HDLC FM0 编码发送子程序，与编码发送测试程序配合使用
(汇编)

以上代码在评估板 MSP-EXPRESSO5438 上使用

<http://focus.ti.com/docs/tools/folders/print/msp-exp430f5438.html>

4 总结

本文探讨了在 ETC OBU 中 MCU 实现快速与 RSU 数据通信的过程。通过灵活应用 MSP430 丰富的片上模块，主要实现了三个功能

1. OBU HDLC FM0 数据帧的实时编码（前导码，起始码，插 0，HDLC FM0 编码，结束码）
2. 满足国标要求的高效率硬件 CRC16 校验
3. 应用 TimerA 和 DMA 的实时数据帧解码（起始码探测，去 0，HDLC FM0 解码，结束码探测）

从实际应用情况来看，以上方式体现了良好的实时性。

5 参考文档

1. MSP430x5xx Family User's Guide, SLAU208C, Texas Instrument Incorporated, 2009
2. MSP430F543x (A), MSP430F541x (A) Mixed Signal Microcontroller, SLAS612A, Texas Instrument Incorporated, 20

重要声明

德州仪器 (TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下，随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改，并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息，并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的 TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合 TI 标准保修的适用规范。仅在 TI 保修的范围内，且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定，否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险，客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息，不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可，或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的数据手册或数据表，仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售 TI 产品或服务时，如果存在对产品或服务参数的虚假陈述，则会失去相关 TI 产品或服务的明示或暗示授权，且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

可访问以下 URL 地址以获取有关其它 TI 产品和应用解决方案的信息：

产品

放大器	http://www.ti.com.cn/amplifiers
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters
DSP	http://www.ti.com.cn/dsp
接口	http://www.ti.com.cn/interface
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic
电源管理	http://www.ti.com.cn/power
微控制器	http://www.ti.com.cn/microcontrollers

应用

音频	http://www.ti.com.cn/audio
汽车	http://www.ti.com.cn/automotive
宽带	http://www.ti.com.cn/broadband
数字控制	http://www.ti.com.cn/control
光纤网络	http://www.ti.com.cn/opticalnetwork
安全	http://www.ti.com.cn/security
电话	http://www.ti.com.cn/telecom
视频与成像	http://www.ti.com.cn/video
无线	http://www.ti.com.cn/wireless

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated