

基于 CAN 总线的分布式仓储系统设计

许弘毅¹, 刘国民¹, 莎日娜¹, 翟俊哲¹, 张裕超²

(1. 中国人民解放军 66294 部队, 北京 100042; 2. 中泰证券股份有限公司, 济南 250000)

摘要: 传统仓储系统普遍存在自动化程度低、控制不便及数据存储查询节点远离现场等问题; 针对此类情况, 设计了一种基于 CAN 总线的分布式仓储系统; 系统以便携式计算机作为控制站, 以 CAN 总线为基础与被控节点组建分布式网络, 被控节点主要由以单片机为核心的控制电路与带有可控电磁锁的货柜组成基本硬件; 控制站通过 CAN 总线向被控节点下发控制指令, 控制货柜电磁锁动作, 实现柜门开闭的远程控制; 通过实验验证, 发现基于 CAN 总线的分布式控制网络具有可靠性高、数据传输迅速等特点, 基于该网络的仓储系统实现了“集中管理, 分散控制”的目的, 同时也验证了 CAN 总线在仓储系统自动化控制设计中应用的可行性。

关键词: CAN 总线; 分布式控制; 仓储系统

Design of Distributed Warehousing System Based on CAN Bus

Xu Hongyi¹, Liu Guomin¹, Sha Rina¹, Zhai Junzhe¹, Zhang Yuchao²

(1. The PLA Unit 66294, Beijing 100042, China; 2. Zhongtai Securities Co. LTD, Jinan 250000, China)

Abstract: Traditional warehousing systems have many problems, such as low automation, inconvenient control, remote data storage and query nodes. Aiming at this kind of situation, a distributed storage system based on CAN bus is designed. The system takes portable computer as control station, and builds distributed network with controlled node based on CAN bus. The controlled node mainly consists of control circuit with MCU as its core and storage cabinet with controllable electromagnetic lock as its basic hardware. The control station sends control instructions to the controlled nodes through CAN bus to control the electromagnetic lock action of the storage cabinet and realize the remote control of the opening and closing of the cabinet door. Through the experimental verification, it is found that the distributed control network based on CAN bus has the characteristics of high reliability and fast data transmission. The warehouse system based on this network achieves the goal of centralized management and decentralized control. At the same time, it also verifies the feasibility of the application of CAN bus in the design of automatic control of warehouse system.

Keywords: CAN bus; distributed control; storage system

0 引言

在仓储管理领域中, 传统仓储平台普遍存在自动化程度低、控制不便及数据存储查询节点远离现场等问题, 在仓储作业中, 往往仍以人力为主, 缺少自动化控制体系。针对上述问题, 本文设计了一种基于 CAN 总线的分布式仓储系统, 通过远程控制货柜开闭, 验证 CAN 总线在仓储系统自动化控制中应用的可行性。系统由控制站与现场网络两级构成, 控制站为带有 CAN 收发设备的便携式计算机, 现场网络由多个受控节点组成, 每个节点以高性能单片机为核心、CAN 收发设备作为外围网络接口、带有可控电磁锁的货柜为动作执行部分, 操作人员可以在控制站查看货柜物资并根据需求对货柜的开启与关闭进行控制。

1 CAN 总线概述

1.1 CAN 总线特点

CAN (Controller Area Net, 控制器局部网), 作为现场总线之一, 是一种有效支持分布式控制或实时控制的串

行通信网络。CAN 最早应用于汽车工业, 由于其高性能、高可靠性以及独特的设计而越来越受到人们的重视, 后在电力、制造、冶金以及航天等不同行业普及, 目前 CAN 已经成为一种国际标准 (ISO-11898), 是最有前途的现场总线之一。CAN 总线特点如下:

- 1) 两线通信, 只需两根线即可连接最多 128 个设备;
- 2) 接口芯片支持 8 位、16 位单片机, 目前多种嵌入式微控制器均集成了 CAN 通信控制器;
- 3) CAN 可以以多主机方式工作, 网络上任意一个节点均可以在任意时刻向其他节点发送信息, 不分主从, 通信方式灵活;
- 4) CAN 通信距离最远可达 10 Km (5 Kbps), 通信速率最高可达 1 MBps (40 m), 具有优秀的帧校验及错误处理能力。

1.2 CAN 总线物理结构

CAN 总线的核心是控制器和收发器。CAN 控制器的作用是将需要收发的数据按照 CAN 的帧格式和编码方式转换成协议数据流 (发送), 或者解码 (接收)。CAN 收发器的作用是将控制器发送来的 TTL 信号转换为 CAN 标准的差分信号, 收发器与物理实体线直接相连。

CAN 总线网络由两条信号线组成, 分别为 CAN₋H

收稿日期: 2019-05-23; 修回日期: 2019-06-26。

作者简介: 许弘毅 (1987-), 男, 河北省石家庄市人, 工学学士, 工程师, 主要从事陆军导弹装备技术保障方向的研究。

与 CAN_L，各个节点通过这两条线实现信号的串行差分传输。CAN 能够使用多种物理介质，如双绞线、光纤等，最常用的就是双绞线。同时，为避免信号的干扰和反射，常在 CAN_H 于 CAN_L 间接入阻值为 120 Ω 的电阻。

1.3 CAN 协议

CAN 总线的数据传输采用“不归零码”，其数值为两种互补逻辑：“显性”及“隐性”，显性数值表示逻辑“0”，隐性数值表示逻辑“1”。CAN 协议中有两种逻辑判定标准，分别为 ISO11898 和 ISO11519，两者差分电平特性不同。ISO11898 为高速传输标准，当 CAN_H 与 CAN_L 电压差为 0 时，逻辑信号表现为“隐性”，反之，当两线间电压差等于 2 V 时，逻辑信号表现为“显性”。ISO11519 为低速传输标准，当 CAN_H 与 CAN_L 电压差为 -1.5 V 时，逻辑信号表现为“隐性”，反之，当两线间电压差等于 3 V 时，逻辑信号表现为“显性”。ISO11519 标准如图 1 所示。

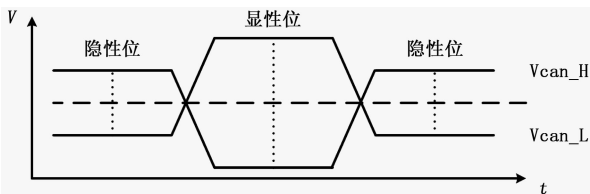


图 1 ISO11519 标准中的总线数值表示

CAN 总线协议中约定了 5 个不同的报文格式：数据帧、远程帧、错误帧、过载帧以及隔离帧。其中，数据帧分为标准帧和扩展帧两种，主要功能是将数据从发送器传输到接收器；远程帧和数据帧非常类似，只是远程帧没有数据域，其主要由数据接收端发送，作为请求发送数据的标识；错误帧是当总线的某一个节点检测到错误后发送的，会使总线上所有节点都检测到一个错误，因此当有任何一个节点发生错误是，总线上的其他节点也会发出错误帧；过载帧是接收节点用来向发送节点告知自身接收能力的帧，当某个节点数据处理能力不足时，发送过载帧。图 2 是标准数据帧的结构。

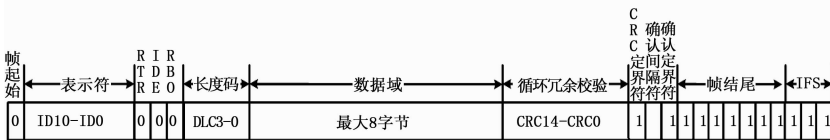


图 2 标准数据帧结构

2 分布式控制系统总体设计

系统分为控制站与现场网络两部分，控制站用于与操作人员交互，接受操作指令并将其传送到现场网络。现场网络由多个存储柜组成，每个存储柜自成控制节点，接受控制站送来的指令，并将其转化为控制动作。控制站及现场网络间利用 CAN 总线相连，拓扑结构如图 3 所示。

由于当总线空闲时，任何节点都能向线上发送报文，

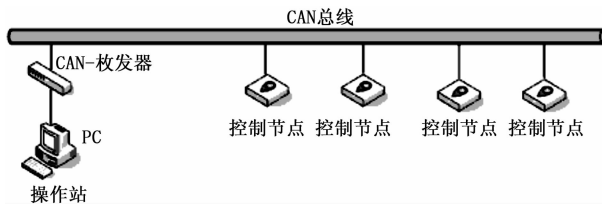


图 3 系统拓扑结构

如果两个以上节点同时发送，就可能造成总线访问冲突。为了解决总线上多点竞争的问题，CAN 协议中给出了总线仲裁的解决方案。即出现冲突时，每个发送节点都需要对发送的电平与被监控的总线电平进行比较。当电平相同时，这个节点可以继续发送；当电平不同，例如发送的是隐性逻辑信号而监视到的是显性逻辑信号，则该节点失去仲裁，必须退出发送状态。同时，在常用帧的优先级判定上，遵循 3 个原则：

- 1) 帧标识符 (ID) 越小，优先级越高；
- 2) 由于数据帧的 RTR 位为显性电平，远程帧为隐性电平，所以在某 2 帧或多帧标识符相同的情况下，数据帧具有更高的优先级；
- 3) 由于标准帧的 IDE 位为显性电平，扩展帧的 IDE 位为隐性电平，对于前 11 位 ID 相同的标准帧和扩展帧，标准帧具有更高的优先级。

3 控制站设计

为简化系统结构，控制站采用便携式计算机加 CAN 总线收发器的设计，便携式计算机与 CAN 总线收发器以 RS-232 串行接口进行连接。在软件设计上，编写包含与 CAN 总线收发器通信等功能函数的动态链接库“control-CAN.dll”，实现了 CAN 总线通信功能的模块化封装，使其可以适用于多种不同语言。

同时，控制站上整合了仓储物资的数据库，在控制站上可以实现对物资的信息查询机处理。

4 控制节点设计

4.1 硬件设计

控制节点可实现三大功能，分别为中央控制、CAN 总线通信、动作执行以及状态反馈及显示。

4.1.1 中央控制部分

该部分以 89C52 单片机为核心，主要用于与控制站进行信息交互，依据接收控制站发送的信息，生成控制指令，将控制指令发送给执行部分执行控制动作，同时将传感器反馈的受控对象状态返回至控制站。另外，还通过 MAX232 芯片扩展了备用的 RS-232 串行接口。

单片机与 CAN 总线控制器通过地址总线与数据总线的方式连接，占用 P0 接口，单片机的 P1 接口用于为动作执行部分发送控制指令，P2 及部分 P3 接口用于接收并显示状态反馈信号。

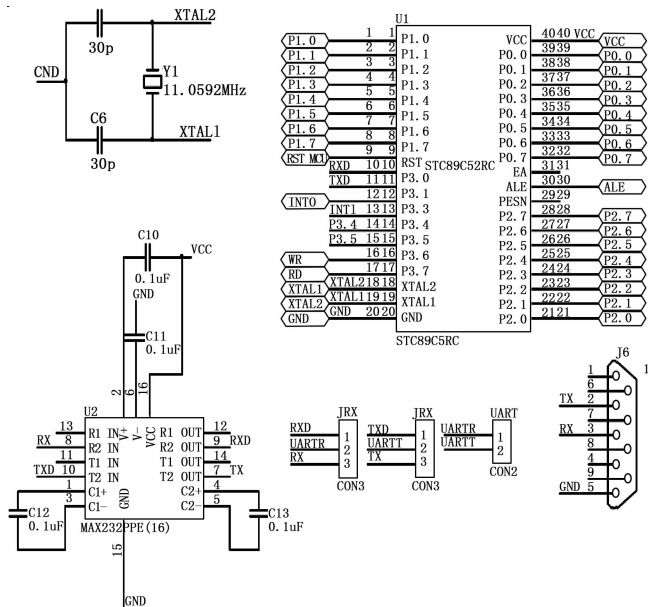


图 4 中央控制部分电路

4.1.2 CAN 总线通信部分

采用 CAN 总线控制芯片 SJA1000 以及 CAN 总线收发芯片 82C250 实现 CAN 总线通信功能, SJA1000 与 82C250 部分电路如图 5 所示。

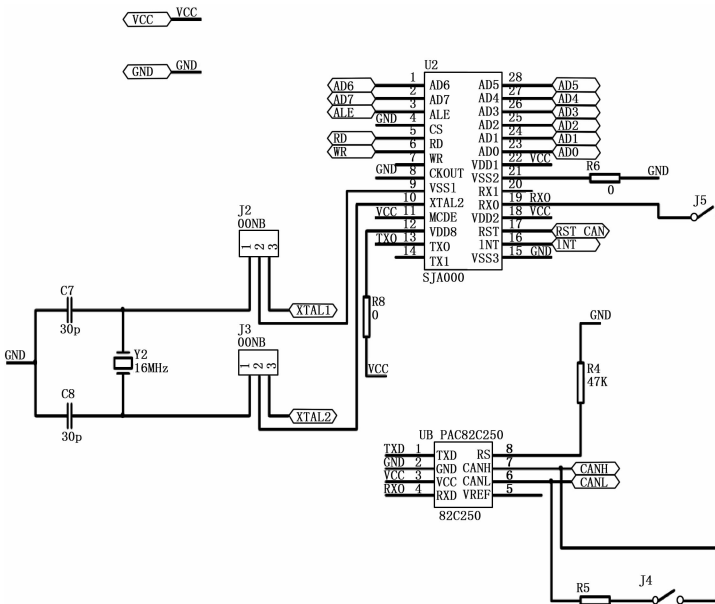


图 5 CAN 总线通信部分电路

SJA1000 是 NXP 半导体生产的 CAN 总线控制器芯片, 是常用的 CAN 总线控制器之一。其支持 CAN2.0A 与 CAN2.0B 两种不同协议, 两种工作模式可以通过芯片内部时钟分频寄存器 CDR 的 CAN 模式位来选择, 本设计使用了 CAN2.0B 协议。SJA1000 通过 8 位数据总线与单片机进行数据传递, 单片机可以通过控制 SJA1000 的片选、读允许、写允许、地址锁存等引脚实现对数据传输的时序控制。同时, SJA1000 芯片的中断输出引脚与单片机的外部中断

INT0 相连, 以便于当接收到总线上传来的数据后, 能迅速引起中断, 及时对数据进行处理。CAN 总线控制器的输出与 CAN 总线收发器 PCA82C250 相连, TTL 信号从控制器传输给收发器后, 进行编码处理。

PCA82C250 芯片 CAN 总线收发器提供了 CAN 控制器与物理总线之间的接口, 对总线提供差分发送能力, 并对 CAN 控制器提供差分接收能力。SJA1000 通过串行数据输出线 (Tx) 与串行数据输入线 (Rx) 连接到 PCA82C250 上, 收发器通过有差分发送和接收功能的两个总线终端 CAN_H 与 CAN_L 连接到总线电缆, 同时为了避免信号干扰, 在两根数据线之间接入阻值为 120 Ω 的电阻。当 SJA1000 输出串行数据流至收发器时, 收发器内部上拉功能将其拉至逻辑高电平, 即总线输出默认是隐性的。若数据是逻辑低电平, 则总线的输出级激活, 输出级由一个源输出级与一个下拉输出级组成, 激活后会在总线电缆上产生一个显性的电平信号。收发器中接收器的比较器将差分总线信号转换成逻辑信号电平, 并在 Rx 引脚输出至总线控制器进行译码。接收器的比较器总是工作的, 即当总线节点传输一个报文时, 它同时也监控总线。

4.1.3 动作执行部分

动作执行部分由多路光电耦合器、固态继电器以及柜体上电磁锁组成。光电耦合器对单片机及继电器进行了隔离, 接到单片机控制指令后, 9 V 电源通过继电器送入柜体电磁锁, 使电磁锁动作。动作执行部分电路如图 6 所示。

对于上述控制部分, 为每一路设计光电隔离, 主要考虑两个方面: 一是切断可能存在的信号干扰通道, 避免核心电路受到外部干扰影响; 二是保护内部核心电路, 当外部执行机构出现瞬变脉冲等情况时, 只会影响光电耦合器, 不会对内部电路造成损坏。

同时, 最初设计时, 为了节省成本, 执行机构控制部分所使用的均为电磁继电器, 但在测试中发现, 电磁继电器状态变化时触点产生的火花会对 CAN 总线数据传输造成干扰, 外加 RC 吸收电路后并无明显改观, 因此在后续设计中执行机构控制部分一律使用固态继电器。

4.1.4 状态反馈部分

状态反馈部分通过柜体上的传感器向单片机返回箱门状态, 同时利用 LED 显示相应状态。

4.2 软件设计

4.2.1 软件总体设计及通信格式

软件总体流程如图 7 所示。

控制站与控制节点采用的通信数据格式如图 7 所示。其中, 以一个显性位为帧头, 后以两个字节数据发送标示符, 包括 11 位接收设备地址以及 1 位数据/远程帧标识位

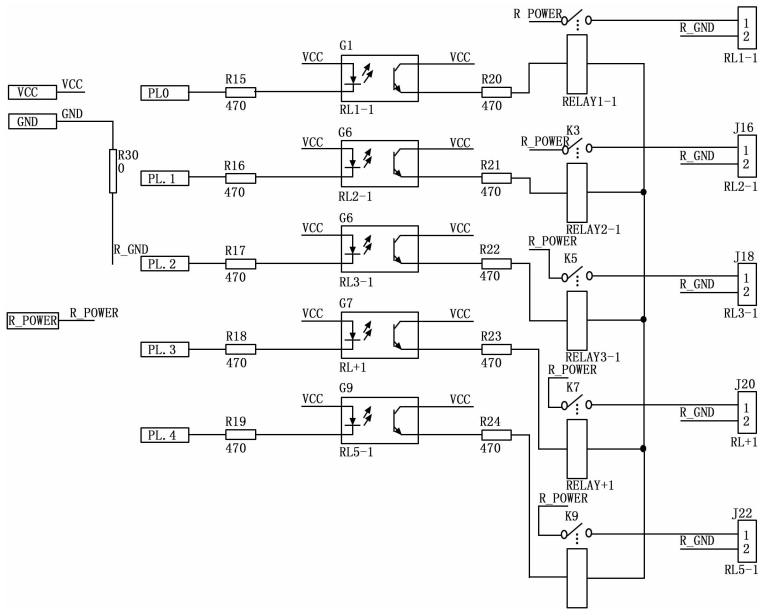


图 6 动作执行部分电路

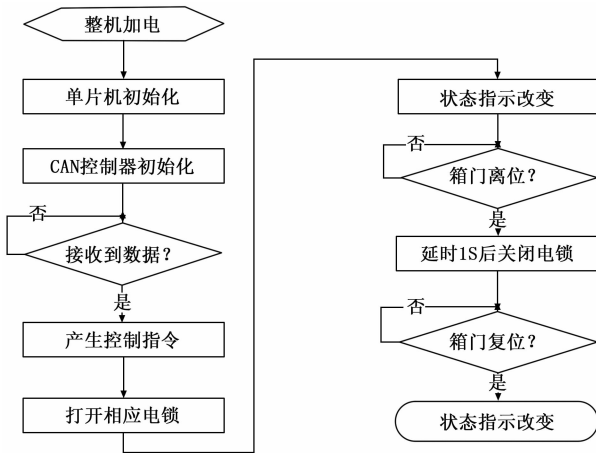


图 7 软件总体流程

(RTR), 本设计中, 控制站的地址码为 0x0020, 4 个控制节点地址码依次递增, 为 0x0040、0x0080、0x00A0、0x00C0、0x00E0, RTR 位为 0。标示符之后, 为四位数据长度码, 以字节为单位。长度码后为 1 字节数据。之后, 为 15 位冗余校验码以及 2 位一致性检验位, 最后由 7 个隐性位作为帧尾, 结束本数据帧。

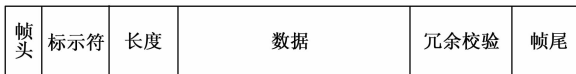


图 8 通信数据格式示意图

4.2.2 SJA1000 工作配置

CAN 收发器 SJA1000 在工作前需要对其进行配置。SJA1000 的模式寄存器各控制字如表 1 所示。

表 1 信号调理电路输出电压试验数据

位序号	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名称	—	—	—	—	SM	AFM	STM	RM

其中, Bit0 位 (RM) 为复位模式选择, 当 RM = 1 时进入复位模式, 当 RM = 0 时退出复位模式。

配置时需通过设置模式寄存器使其进入复位模式, 对 SJA1000 的配置主要设置工作模式、工作时钟、中断方式、本机地址、接收屏蔽、通信频率等内容, 详细程序如下:

```
void SJA1000_Init(void){
    uchar i;
    MODE=0x01;// 进入复位模式
    CDR=0x88;// 设置时钟分频器,设置工作模式
    IER=0x0D;// 开放接收中断
    ACR0=0x00;// 设置本机地址码为 02
    ACR1=0x40;
    ACR2=0x00;
    ACR3=0x00;
    AMR0=0x00;// 设置屏蔽码
    AMR1=0x00;
    AMR2=0xFF;
    AMR3=0xFF;
```

```
BTR0=0x00;// 设置通信频率为 500Kbps
BTR1=0x1C;
OCR=0xAA;// 设置输出控制寄存器, 正常输出
TXERR=0x00;// 清除发送错误计数寄存器
i=ECC;// 清除错误代码捕捉寄存器
MODE=0x08;// 设置单滤波方式, 进入工作模式
}
```

设置传输波特率是配置 SJA1000 重要的一环, 传输波特率由总线定时寄存器 0 (BTR0) 与总线定时寄存器 1 (BTR1) 进行设置。BTR0 定义了波特率预设值和同步跳转宽度的值, BTR1 定义了每个位周期的长度、采样点的位置和在每个采样点的采样次数。

CAN 系统时钟由如下公式计算:

$$t_{SCL} = 2t_{CLK} \times (BTR0 \text{ 低 6 位数值} + 1) \quad (1)$$

通常来讲, 在外部时钟为 16 MHz 时, 总线定时器的值可以按表 2 参数确定。

表 2 外部晶振频率 16 MHz 时传输波特率及所对应寄存器参数

CAN 传输波特率	定时器 0	定时器 1
5Kbps	0xBF	0xFF
10Kbps	0x31	0x1C
20Kbps	0x18	0x1C
40Kbps	0x87	0xFF
50Kbps	0x09	0x1C
80Kbps	0x83	0xFF
100Kbps	0x04	0x1C
125Kbps	0x03	0x1C
250Kbps	0x01	0x1C
500Kbps	0x00	0x1C
1000Kbps	0x00	0x14

在配置中, 开启了单滤波模式的验收滤波器。验收滤

波器包括验收代码寄存器 (ACR) 和验收屏蔽寄存器 (AMR)。信息标示符和验收滤波器中预设值一致时, 才会被 SJA1000 接收。验收滤波器原理如图 9 所示。

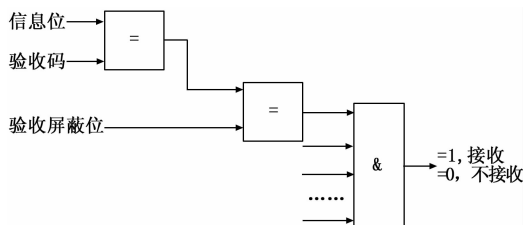


图 9 验收滤波器工作原理

ACR 定义所要接收信息标示符的值, AMR 定义所要屏蔽的位, 当 AMR 的某位值为 1 时, 则对应的标示符位为需要验收, 而当其为 0 时, 则对应的标示符位不需验收。

4.2.3 数据发送与接收

数据发送时, 用户首先要将所发送的数据按照相关协议规定的格式, 组成数据帧。将数据帧送入 SJA1000 发送缓冲区后, 执行发送命令。SJA1000 中, 和数据发送密切相关的寄存器, 主要有两个, 分别是用于设置发送模式的 CMR 寄存器以及用于监控总线状态的 SR 寄存器。CMR 寄存器如表 3 所示, 通过其可以对数据发送进行设置。

表 3 CMR 寄存器

位序号	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名称	-	-	-	SRR	CD0	RRB	AT	TR

其中, TR 为发送请求位, AT 为终止传送位, SRR 为自接受请求位。

SR 寄存器如表 4 所示。

表 4 SR 寄存器

位序号	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名称	BS	ES	TS	RS	TCS	TBS	DOS	RBS

其中, BS 指示总线状态, 总线关闭时为 0, 总线开启时为 1; ES 指示错误状态, 侦测到错误时该位置 1; TS 指示发送状态, 有数据正在发送时该位置 1; RS 指示接收状态, 有数据正在接收时该位置 1; TCS 指示发送完毕状态, 最后一次数据发送已被成功处理时, 该位置 1, 否则置 0; TBS 指示发送缓冲器状态, 置 1 时表示可以向缓冲器中写入数据, 置 0 时表示缓冲器锁定; DOS 指示数据溢出情况, 置 1 时表示报文因存储空间不足有部分溢出丢失; RBS 为接收缓冲器状态, 置 1 时表示缓冲器中有未处理的数据, 置 0 时表示接收缓冲器为空。

发送命令执行前, 一般需要进行发送检查。检查内容包括 3 个状态位, 一是 RS, 看控制器是否正在接收信息, 如果是则需要等接收完成后才能申请发送; 二是 TCS, 看是否还有未完成发送的信息, 如果有, 则需要等待发送完成后再次申请发送; 三是 TBS, 看发送缓冲区锁定情况, 如

果处于锁定状态, 需要待其清零后才能向缓冲区写入数据。

接收数据时程序采用查询方式, 程序流程如图 10 所示。

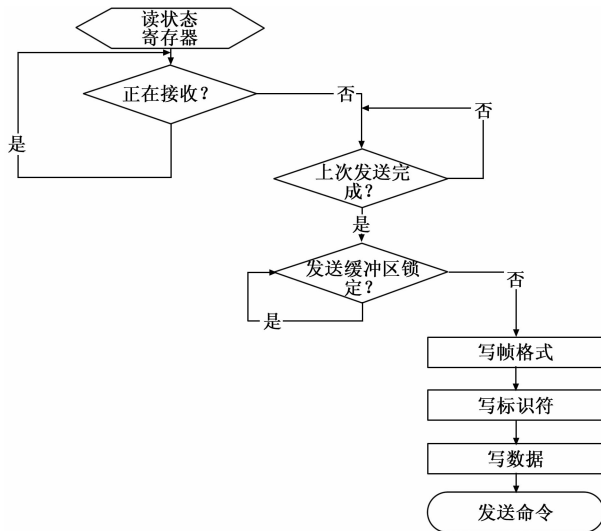


图 10 数据发送流程图

为了保证较高的响应速度, 程序中设置了中断的方式用于接收数据。接收数据的流程与发送数据相似, 也需要判断多个状态, 主要涉及中断状态寄存器 IR, 其结构如表 5 所示。

表 5 IR 寄存器

位序号	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名称	BEI	ALI	EPI	WUI	DOI	EI	TI	RI

其中, BEI 为总线错误中断位, 检测到总线错误时置 1; ALI 为仲裁丢失中断位, 出现丢失仲裁时置 1; EPI 为错误认可中断位, 当控制器达到错误认可状态时置 1; WUI 为唤醒中断位, 当控制器从休眠状态被唤醒时置 1; DOI 为数据溢出中断位, 当出现数据溢出时置 1; EI 为错误报警中断位, 当检测到错误时置 1; TI 为发送中断位, 当一次发送完成时置 1; RI 为接收中断位, 当出现一次数据接收时置 1。

首先, 读取中断状态寄存器 IR, 判断是否存在错误或其它异常情况, 如果有异常情况, 需要先读取中断寄存器把错误标志清除, 然后进行相应的处理; 其次看是否出现数据溢出情况, 如果有数据溢出, 需要释放掉接收缓冲区, 将本次接收数据作废; 最后检查是否存在其他错误; 当以上检查均无异常后, 可正常进行数据接收, 程序流程如图 11 所示。

同时, 当有数据到来时, SJA1000 给单片机外部中断 0 (INT0) 发送一个中断信号, 单片机进入中断。在 INT0 的服务程序中, 单片机分别对总线状态、数据溢出标志等进行读取, 判断数据正常后, 读取数据并释放缓冲区。