

实验研究

文章编号:1671-251X(2012)10-0033-04

李 颀, 翟佳, 胡海强. 基于 TTCAN 协议的井下通信网络研究[J]. 工矿自动化, 2012(10):33-36.

基于 TTCAN 协议的井下通信网络研究

李 颀, 翟佳, 胡海强

(陕西科技大学电气与信息工程学院, 陕西 西安 710021)

摘要:针对煤矿井下 CAN 通信网络中低优先级数据延迟较大而存在实时性与确定性较差的问题,提出了一种基于时间触发机制的 TTCAN 协议;给出了由主站节点和多个从站节点构成的 TTCAN 网络系统硬件结构,详细介绍了基于 Level 1 同步方式的 TTCAN 调度算法的设计。实验结果表明,与标准的 CAN 网络相比,TTCAN 网络的最大响应时间和最大发送周期抖动指标几乎不受信息量的增加与优先级减小的影响,具有更好的实时性与确定性。

关键词:CAN 通信; 优先级; 数据延迟; TTCAN 协议; 时间触发机制; 时间同步; 矩阵周期

中图分类号:TD655 文献标志码:A 网络出版时间:2012-09-25 14:02

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120925.1402.009.html>

Research of Underground Communication Network Based on TTCAN Protocol

LI Qi, ZHAI Jia, HU Hai-qiang

(College of Electrical and Information Engineering of Shanxi University of Science and Technology,
Xi'an 710021, China)

Abstract:In view of problems of bad real-time performance and uncertainty caused by big delay of low priority data existed in underground CAN communication network, the paper proposed a TTCAN protocol based on time-triggered mechanism. It gave hardware structure of TTCAN network system composed of master node and slave nodes, introduced design of TTCAN dispatching algorithm based on Level 1 synchronization mode. The experiment result shows that the biggest respond time and the biggest sending cycle jitter of TTCAN network are almost not influenced by increasing of information and reducing of priority comparing with standard CAN network, so TTCAN has better real-time performance and certainty.

Key words: CAN communication, priority level, data delay, TTCAN protocol, time-triggered mechanism, time synchronization, matrix cycle

0 引言

现有的矿井通信系统,无论是安全监测,还是人员跟踪,大多采用 CAN 总线加无线通信技术结合实现^[1]。CAN 总线的优点显而易见,它具有多主竞争式的总线结构,确定性的优先级仲裁机制,可以不

分主次地实现各个节点的通信,在传输过程中出现竞争时,高优先级继续传送,低优先级主动退出总线竞争。但是这种总线竞争机制通常会使节点分配带宽不均,在节点增多、网络负载较大时,低优先级节点会多次竞争失败而导致传输消息产生不确定的延迟,甚至发送失败,这些都会引起井下工作的安全问

收稿日期:2012-07-30

基金项目:陕西省科技厅工业攻关项目(2011K06-41)

作者简介:李颀(1973-),女,陕西西安人,教授,博士,主要研究方向为工业自动化和嵌入式系统。E-mail:67478678@qq.com

题。鉴此,本文提出了一种基于时间触发机制的 TTCAN 协议^[2],它是对 CAN 协议的一种扩展,通过构建 TTCAN 硬件网络系统,配合基于时间触发的 TTCAN 调度算法,既改善了井下多节点 CAN 网络通信的实时性与确定性,又提高了井下开采工作的安全性。

1 TTCAN 网络结构设计

TTCAN 网络同样是一种分层结构,如图 1 所示,这种分层网络结构具有良好的兼容性,由于上层协议都是基于 CAN 总线的,物理层和数据链路层均保持不变,所以硬件部分与传统的 CAN 网络系统相同,并且可以使用相同的总线线路和总线收发器。TTCAN 网络系统由 1 个主节点和多个从节点组成,主节点在地面,从节点在井下负责采集传输任务;在 2 个终端分别连接一个 120 Ω 的电阻,增大负载,减少线路上的回波反射,起到阻抗匹配的作用。

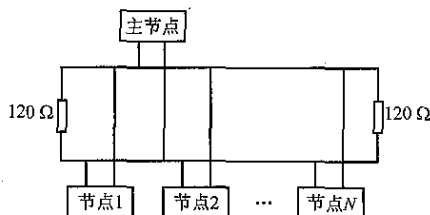


图 1 TTCAN 网络结构

2 TTCAN 网络节点设计

CAN 主节点的硬件连接如图 2 所示。CAN 主节点采用 Marvell 公司的 32 位基于 Intel Xscale 架构的 PXA322 处理器,主频高达 806 MHz,共 456 个引脚,同时处理器集成了 UART、ISP 等串行接口控制器、存储单元控制器、时钟和电源控制器等多种外围控制器,其高性能、高速度更易满足 TTCAN 网络的时间同步机制与实时性的要求。

通信部分 CAN 控制器采用 SJA1000 芯片,它是一种独立的 CAN 控制器,具有如下特点:支持具有很多新功能的 CAN2.0B 协议,标准帧数据结构(11 位)和扩展帧数据结构(29 位),这 2 种帧格式都具有单/双接收过滤器,128 B 的接收 FIFO,可读写访问的错误计数器和错误限制报警以及只听方式,位速率达 1 Mbit/s,24 MHz 时钟频率,兼容不同微处理器的接口,可编程的 CAN 输出驱动器配置。

CAN 隔离收发器 CTM1050 芯片是一款高度集成收发模块,不仅具有传统的 PCA82C250 的收发功能,还具有光电与电源隔离模块、DC 500 V 的

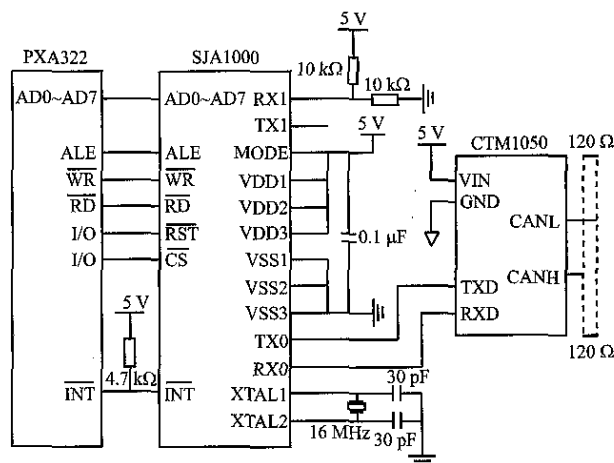


图 2 CAN 主节点的硬件连接

隔离功能、抗瞬间干扰和保护总线的能力,其中集成的收发器件可以将 CAN 控制器的逻辑电平转换为 CAN 总线的差分电平。该模块的 CTM1050 可以很好地实现 CAN-Bus 总线上各节点电源之间完全隔离与数据传输功能,提高了 CAN 工作的稳定性和安全性。

CAN 从节点的一般功能相对简单,而且数量较多,所以使用成本较低的 89C52 单片机,其中单片机的中断引脚连至 SJA1000 的 INT,读写信号、地址线等分别对应相连,通信部分与主节点一样,只是将 PXA322 替换为 89C52 单片机。

3 TTCAN 网络协议分析

TTCAN 通信提供了一个全局参考时间,实现对所有节点的时间同步,把时间划分成不同的时间片,消息按不同的时间片发送,时间触发系统在不同的时间片定义总线控制权限,即所有总线活动按照预先定义的时间进行调度,在同一个时刻系统只有一个任务被触发,任何时刻都有任务在执行,这样就使系统效率得到了提高并且不会发生任何阻塞。

TTCAN 节点的同步方式有 2 种^[3]:分别为 Level 1 的 TTCAN 规范和 Level 2 的 TTCAN 规范。

Level 1 同步方式:在 TTCAN 网络内向其他节点广播发送报文的节点在逻辑上称作时间主机,其他节点称作时间从机,时间主机用来同步各个节点的报文称作参考报文,参考报文每隔一段时间会发送一次,使其他节点再次同步,这段时间内是一个基本周期,时间主机的时钟就可以看作是全局时钟。

Level 2 同步方式:在每个节点上增加物理时钟部件,并把它作为本地时钟,时间主机在发送报文时将自己的时钟信号一起发出,时间从机接收报文时

会接收到时间主机的时钟,此时的全局时间是由时间主机传来的时钟信号与时间从机的本地时间差值计算得到的,从而实现各节点的同步。

Level 1 的 TTCAN 规范较易实现,在传统 CAN 的硬件基础上就可以完成,Level 2 的 TTCAN 规范硬件要求较高。本文选择 Level 1 同步方式。

TTCAN 网络的消息交换调度表称为矩阵周期,矩阵周期由多个基本周期组成,每个基本周期都是从一个参考报文开始到另一个参考报文结束,基本周期又由各个固定的时间窗口序列组成。在一个矩阵周期中,网络内的各节点在时间同步下按照调度表的安排来获得总线的使用权,在规定的窗口内完成任务,周期性循环。矩阵周期结构如图 3 所示。

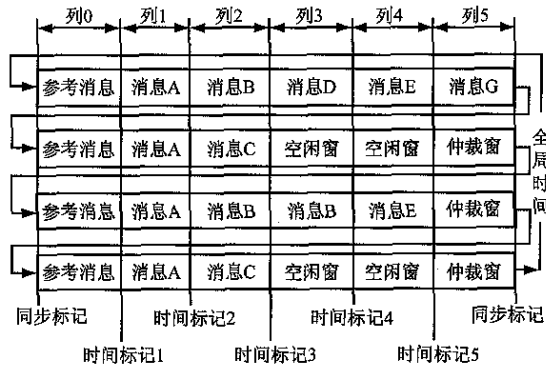


图 3 矩阵周期结构

一般在消息窗口中的信息具有硬实时、周期性的特点,其他消息不允许竞争。仲裁窗口可以同时分给多个消息,发生冲突时通过 CAN 的仲裁机制解决。空闲窗又称作自由窗,不存在消息传输,主要用于网络的扩展。

4 TTCAN 调度算法设计

TTCAN 调度算法就是要研究矩阵周期的整体结构,并将消息合理安排到各个时窗。采用均匀装载(AL)算法^[4]设计 CAN 软件调度,其思想是使信息根据其周期均匀分布在矩阵周期内,一般基本周期可以分为同步基准、同步相、异步相 3 个区域,分别用来传递同步信息、周期信号、随机信号,随机信号具有不确定的传输周期与时间,所以该算法主要针对周期信号的静态调度。

传输信息帧的时间长度应满足^[5]:

$$T_w \geq \max\{t_{cm}\} \quad (1)$$

$$t_{cm} = \left[\left(\frac{34 + 8d_m}{5} \right) + 47 + 8d_m \right] / f_b \quad (2)$$

式中: T_w 为时间窗长度; t_{cm} 为标准数据帧最长传输时间; d_m 为数据域的字节数; f_b 为波特率。

设 N 为信息个数, $M(M \leq N)$ 为周期数,周期集合 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_M\}$, $i \in [1, 2, \dots, M]$, 其中周期为 T_i 的信号为 n_i 个。

定义:

基本周期为周期值最大公约数(GCD):

$$T_{BC} = \text{GCD}\{T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_M\}$$

矩阵周期为周期值最小公倍数(LCM):

$$T_{MC} = \text{LCM}\{T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_M\}$$

各信号周期值与基本周期的比值为 $k_i = T_i / T_{BC}$ 。

基本周期个数为

$$N_{BC} = T_{MC} / T_{BC} \quad (3)$$

基本周期内可以传输的最大信号个数为

$$Y_{\max} = (T_{BC} - T_b) / T_w \quad (4)$$

基本周期内所需时间窗口规划个数为

$$S_i = \begin{cases} S_{i-1} + n_i / k_i, & \text{Rem}(n_i / k_i) = 0 \\ S_{i-1} + n_i / k_i + 1, & \text{Rem}(n_i / k_i) \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: T_b 为同步时间窗口大小; S_i 为时间窗个数。

TTCAN 调度算法流程如图 4 所示。

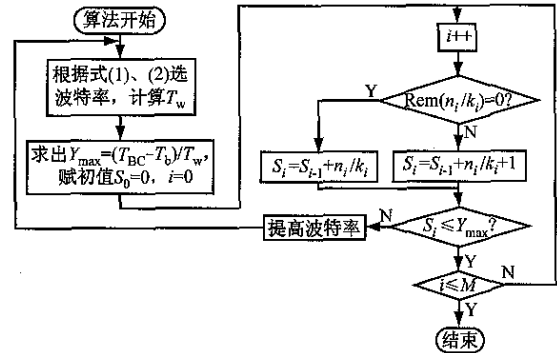


图 4 TTCAN 调度算法流程

通过图 4 可得时间窗个数 S_i 的规划,从而得到由 S_i 构造的矩阵周期 S_M ,它必须满足约束条件 $S_M \leq Y_{\max}$,这样所有 n_i 个信息都规划入了矩阵周期,完成了调度,构建出了满足条件的矩阵周期。

5 算法性能指标

信息 m 在客观环境最差下的传输时间为最大响应时间 t_{Rm} ,其所能承受的最大传输时间称为截止期限 t_{Dm} 。若信息的传输特性满足以下公式,那么信息 m 就满足实时性要求^[6]:

$$t_{Rm} \leq t_{Dm} - t_{Jm} = t_{dm} \quad (6)$$

其中:

$$t_{Rm} = t_{wm} + t_{Cm} \quad (7)$$

式中: t_{Jm} 为软件抖动时间; t_{dm} 为绝对传输截止期限; t_{wm} 为最差情况下信息 m 的延迟时间, 包括总线低优先级信息阻塞时间 t_{Bm} 、高优先级抢占总线的时间及处理传输错误花费时间 t_{Em} 。 t_{wm} 的递推公式如下^[7]:

$$t_{wm}^{n+1} = t_{Bm} + \sum_{k \in h_p(m)} \left(\frac{t_{wm}^n + t_{Bm} + t_{Jk}}{T_k} \right) + t_{Em} \quad (8)$$

式中: $h_p(m)$ 为所有优先级高于 m 的信息; T_k 为信息 k 的周期; t_{Jk} 为信息 k 的软件抖动时间。

为评价确定性, 引入信息 m 最大发送周期抖动指标 J_{pm} :

$$J_{pm} = \frac{t_{wm} + t_{Jm}}{T_m} \times 100\% \quad (9)$$

所以, 要知道系统的实时性与确定性主要看 t_{Rm} 与 J_{pm} 两个参数的特征。

6 实验结果分析

为了方便分析 TTCAN 网络特性, 与标准的 CAN 网络方案做了对比, 2 种网络系统均选用相同的参数配置。选取 5 个节点进行性能测试, 选择波特率 f_b 为 125 kbit/s, 字节数 d_m 为 8, 由于 TTCAN 不存在冲突和重发机制, 所以 t_{wm} 恒为 0, 结合各个变量的定义, 实际应用中取 $t_{Dm} = T_m$, t_{Jm} 可以设为 1 ms^[8], 信息均采用扩展帧格式, 测试出各个节点的延迟特性与确定性分别如表 1、表 2 所示。从表 1、表 2 可看出, 2 种网络的实时特性虽然都满足实时性要求: $t_{Rm} \leq t_{Dm} - t_{Jm}$, 但是 TTCAN 网络的 t_{Rm} 时间明显比标准的 CAN 网络少很多, 实时性明显提高; TTCAN 网络节点的最大发送周期抖动指标 J_{pm} 不到 2%, 而标准的 CAN 网络的 J_{pm} 在 6% 以上, TTCAN 网络的确定性比标准的 CAN 网络高很多, 这使得在出现干扰的情况下, 错误帧明显减少, 丢包现象得以改善。因此, TTCAN 网络能更加充分地利用网络带宽, 提高网络资源效率, 而且最大响应时间和最大发送周期抖动指标几乎不受信息量的增加与优先级的减小而影响。而标准的 CAN 网络的最大响应时间和抖动指标会随着信息量的增多呈现明显增大趋势, 这都充分说明了 TTCAN 网络比 CAN 网络具有更好的实时性与确定性。

表 1 标准的 CAN 网络节点性能

网络节点	t_{Dm}/ms	t_{Rm}/ms	$J_{pm}/\%$
节点 1	2	0.885	6.22
节点 2	4	1.276	6.79
节点 3	6	1.635	7.16
节点 4	8	1.962	7.76
节点 5	10	2.237	8.14

表 2 TTCAN 网络节点性能

网络节点	t_{Dm}/ms	t_{Rm}/ms	$J_{pm}/\%$
节点 1	2	0.451	0.63
节点 2	4	0.482	0.63
节点 3	6	0.535	0.76
节点 4	8	0.694	0.91
节点 5	10	0.735	1.25

7 结语

针对煤矿井下通信使用最多的 CAN 总线技术的缺陷, 引入一种基于时间调度的 TTCAN 通信协议, 并搭建了硬件网络平台, 对其软件调度算法进行了研究。实验结果表明, TTCAN 网络具有更高的实时性以及信息发送的确定性, 从而提高了煤矿井下工作的安全性, 具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 朱小三. 基于 CAN 总线的煤矿安全监控系统的研究与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.
- [2] 王欢, 王丽芳. TTCAN 通讯网络实时性分析[J]. 高技术通信, 2006, 16(8): 830-833.
- [3] 刘鲁源, 李芳, 吕伟杰. TTCAN 协议的分析与展望[J]. 天津理工大学学报, 2005, 21(3): 16-17.
- [4] 曹万科, 张天侠, 刘应吉, 等. 基于 TTCAN 的汽车控制系统信息调度设计与分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12): 42-44.
- [5] SHAHEEN S, HEFFERNAN D. A Gateway for Time-triggered Control Networks [J]. Microprocessors and Microsystems, 2007, 23(1): 126-317.
- [6] 李佳, 朱元, 田光宇. CAN 与 TTCAN 通信延迟时间的分析[J]. 清华大学学报, 2006, 46(2): 261-265.
- [7] 曹万科, 张天侠, 周淑文, 等. 基于 CAN 与 TTCAN 的汽车整车分层控制网络及调度[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2007, 28(11): 122-125.
- [8] 李雅博, 张俊智, 卢青春. 混合动力电动汽车车上 CAN 网络设计实时性分析[J]. 汽车工程, 2005, 27(1): 16-19.