

文章编号:1000-582X(2010)09-035-06

USBCAN 总线转换设备在 Stateflow 下的建模和仿真

刘和平, 伍元彪, 张毅

(重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要: USBCAN 总线转换设备作为 USB 总线和 CAN 总线之间的连接设备, 其运行状况和软件设计是否能达到设计的需求, 一般的方法很难进行验证, 本文通过在 Stateflow 工具箱下对一种 USBCAN 总线转换设备进行建模, 并且在 Matlab/Simulink 环境下对整个转换设备运行状态进行仿真验证, 实现了 USBCAN 总线转换设备运行状态的验证, 提出了一种新的总线转换设备的仿真和验证方法。

关键词: 有限状态机; 状态迁移图; 仿真; USB; CAN; Stateflow; Matlab

中图分类号: TP368.1

文献标志码: A

The modeling and simulation of a new USBCAN bus converter in Stateflow

LIU He-ping, WU Yuan-biao, ZHANG Yi

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: The USBCAN bus converter is a connector of USB bus and CAN bus. It is difficult to judge whether the device works well or not and meets design requirement or not by ordinary ways. Regarded the Matlab/Simulink/Stateflow toolbox as the platform, the model of a USBCAN bus converter is established. The model of the bus converter is tested and verified in the Matlab/Simulink simulation environment. The results of the simulation analysis show the model is suitable for simulating the working state of the device. A new simulation and judging method for bus converters is proposed.

Key words: finite-state machine; state transition diagram; simulation; USB; CAN; Stateflow; Matlab

CAN(Controller Area Network)总线是目前在汽车和工业控制等领域中应用最为广泛的一种现场控制总线。汽车上各种重要的智能控制单元之间的数据通信主要通过 CAN 总线来完成。通过获取 CAN 总线上的数据就可以分析汽车上各个控制单元的工作情况, 也可以获得汽车的各种参数和故障信息^[1-5]。

USB(Universal Serial BUS)总线是目前应用最广泛的一种外设与 PC 机进行通信的总线。通过

USB 总线可以实现外设与 PC 机之间的快速数据交换^[6-10]。

USBCAN 总线转换设备是连接 USB 总线和 CAN 总线的重要设备, 是 PC 机对 CAN 总线数据获取和故障诊断的前提。目前, 多家电子厂家都在积极研究 USBCAN 总线转换设备, 但是, 由于 USB 总线和 CAN 总线的实时性比较高, 大多数分析工具不方便对这种设备的运行状态进行分析, 一般的分析设备和软件只能对 CAN 总线和 USB 总线的运行

收稿日期: 2010-05-28

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2003AA501350)

作者简介: 刘和平(1958-), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事电力电子及电力传动方向研究, (E-mail) engineer@cqu.edu.cn.

状态等进行分析,文献[1]研究了利用 MATLAB/Simulink 环境对 CAN 总线信号的性能,如总线对信息的响应时间进行了仿真分析,文献建立了在 Simulink 中对 CAN 总线收发器的物理层协议和数据链路层等底层协议的仿真模型,建立的仿真模型对于 CAN 总线的应用层协议却不能进行仿真分析。其他文献探讨了 CAN 总线设备和 USB 总线设备的设计和开发方法。其他的测试方法,如采用示波器和逻辑分析仪等设备分别对 USB 总线和 CAN 总线进行分析,只能测试 USB 总线和 CAN 总线的信号完整度和协议实现是否正常。这些方法不能分析 USBCAN 总线转换设备的总体运行状态,如 USBCAN 总线转换设备的数据转换能力,能否对总线的各种故障进行有效的处理、USBCAN 总线转换设备的转换的实时性等,这些功能的测试很难用设备直接测试出来,目前,最方便的方法就是在 MATLAB 中建立相应的模型,通过仿真的方式分析 USBCAN 总线转换设备的各种运行状态。因此,研究可以应用于 USBCAN 总线转换设备分析的建模仿真方法非常必要。

对 USBCAN 总线转换设备的仿真和建模可以根据一种实际的 USBCAN 总线转换设备,在 MATLAB/Simulink/Stateflow 环境下,利用状态流程图对 USBCAN 总线转换设备的各种功能进行建模,通过仿真的方法测试 USBCAN 总线的性能。

1 MATLAB/Simulink/Stateflow 仿真环境

MATLAB 5.1 版中首次在 Simulink 交互式可视化建模环境中加入了 Stateflow^[11-13] 软件包。Simulink 是应用于动力学系统可视化的建模、仿真和分析工具,它支持连续时间、离散采样以及两者混合方式的线性和非线性系统的设计建模和仿真。Stateflow 则是 MATLAB 所提供的另一个建模仿真工具,它支持使用流图和状态转换图来开发基于有限状态机理论的复杂事件驱动的反应系统,是一个用于解决复杂控制和监督逻辑的功能强大的图形化设计和开发工具。由于 Stateflow 通过生成 S-function Agent 和 Simulink 实现了无缝连接,因此,综合这两者就可以实现连续变量动态系统和离散事件动态系统的混合仿真,是研究混杂系统的理想仿真工具。

MATLAB/Simulink 工具箱中的 Stateflow 工具包是一个创建和仿真复杂响应系统和事件驱动系统的工具,是一种基于有限状态机原理的分析工具,非常适合对基于有限状态机设计的系统进行动态仿真。

2 USBCAN 总线转换设备在 Stateflow 下的建模仿真

USBCAN 设备采用 PIC4550 单片机智能控制芯片,转换过程主要通过软件来实现,根据 USBCAN 设备的软件设计流程图,就可以在 Stateflow 下对 USBCAN 总线转换设备的运行状态建模和仿真。

2.1 USBCAN 总线转换设备的系统架构

USBCAN 总线转换设备的核心器件是 PIC18F4550 单片机和 MCP2515 转换芯片。PIC18F4550 和 MCP2515 是美国微芯公司生产的智能控制芯片。USBCAN 总线转换设备通过 PIC18F4550 实现与 USB 总线的连接,通过 MCP2515 实现与 CAN 总线的连接。PIC18F4550 和 MCP2515 之间通过 SPI 总线连接。其系统架构如图 1 所示,主程序流程图如图 2 所示。

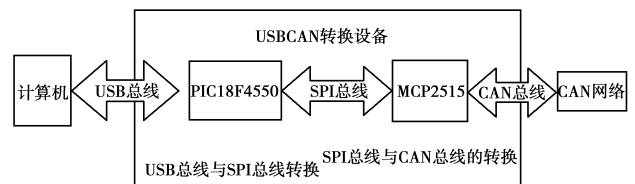


图 1 USBCAN 总线转换设备系统架构

2.2 USBCAN 总线转换设备的有限状态机

根据图 2 所示的主程序流程图,可知 USBCAN 总线转换设备的状态主要包括 USB 总线数据的接收和发送、CAN 总线数据的接收和发送、USB 总线的故障处理和 CAN 总线的故障处理等状态。

表 1 列出了 USBCAN 总线转换设备的各种状态定义和执行的动作处理。USBCAN 总线的有限状态机的状态迁移^[15]如图 3 所示。

其中,整个模块包括 10 个状态模块:USB_RX 状态模块和 USB_TX 状态模块分别代表 USB 总线数据的接收和发送状态及相关的处理,CAN_TX 状态模块和 CAN_RX 状态模块分别代表 CAN 总线

数据的发送和接收的状态和数据处理,USB_Driver 状态模块代表 USB 底层驱动和 USB 协议的实现的相关功能,CAN_ERR_Handle 状态模块和 USB_ERR_Handle 状态模块分别代表 CAN 总线故障处理状态和 USB 总线故障处理状态,Idle 状态模块和 Suspend 状态模块分别为系统空闲状态和挂起状态。

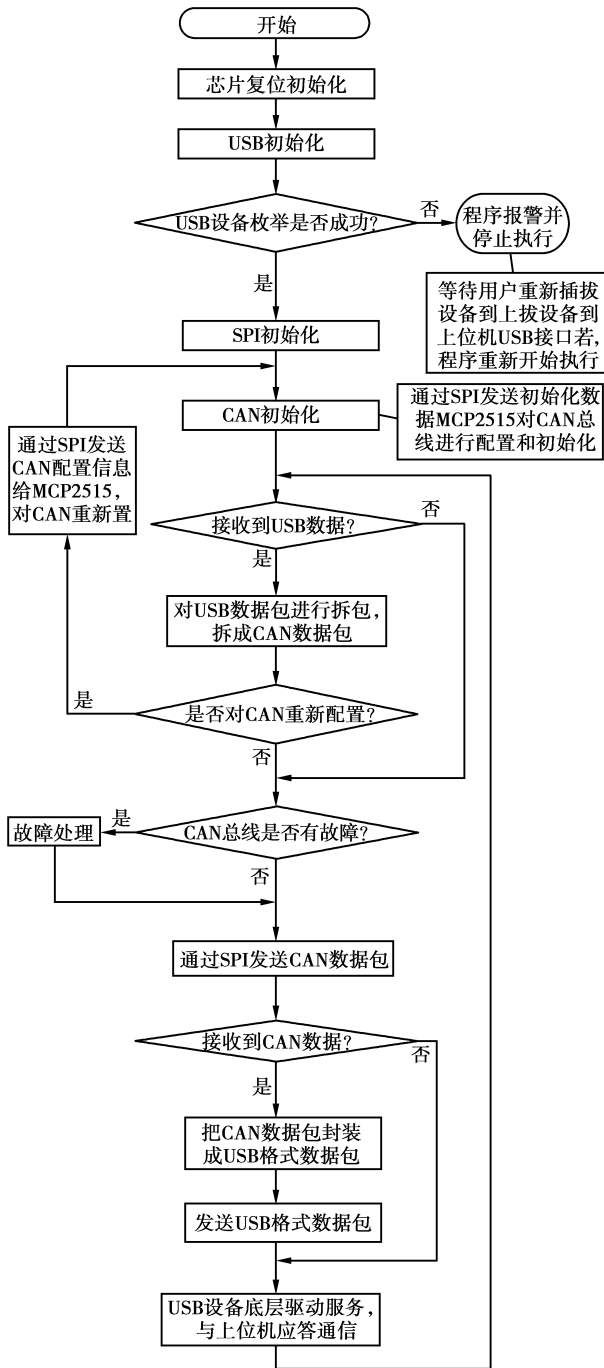


图 2 USBCAN 总线转换设备主程序流程图

表 1 USBCAN 总线转换设备状态定义和动作

编号	状态名称	在状态内的动作	状态转换的条件
1	IDLE 空闲状态	监测事件	无其他事件需要处理
2	USB 总线发送数据	把缓存区的数据发送到 USB 总线上	CAN 总线数据接收完成
3	USB 总线接收数据	从 USB 总线接收数据到缓存区	USB 总线接收标志位有效
4	CAN 总线发送数据	把缓存区的数据通过 SPI 发送到 CAN 总线上	USB 总线数据接收完成
5	CAN 总线接收数据	从 CAN 总线上接收数据到缓存区	CAN 总线接收标志位有效
6	USB 总线故障	USB 总线挂起, USB 总线重新启动	USB 故障标志位有效
7	CAN 总线故障	清除 CAN 总线故障, CAN 总线重新启动	CAN 总线故障标志位有效
8	USB 总线底层驱动	完成 USB 协议需要的 USB 设备对 HOST 的协议响应	USB HOST 响应标志位有效
9	设备挂起	USBCAN 设备挂起, 不处理任何消息, 等待设备复位	USB 总线, 或 CAN 总线, 或其他硬件模块出现软件无法处理的故障

在 Stateflow 中为了实现各个状态之间的转换,需要添加驱动事件,在本模型中采用输入脉冲来实现,同时,需要添加各种标志状态表示 USB 总线和 CAN 总线的接收和发送事件,添加 USB 总线和 CAN 总线发送和接收数据帧表示 USB 总线和 CAN 总线上的有效数据,各种故障标志输入作为系统的故障状态触发事件,最终的模块如图 4 (b) 所示。

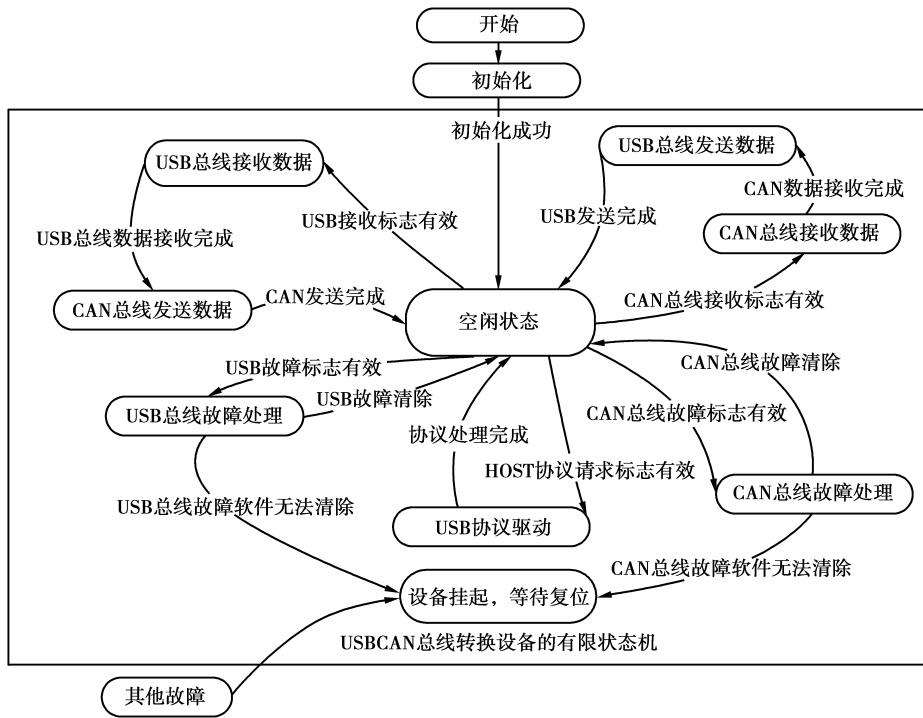
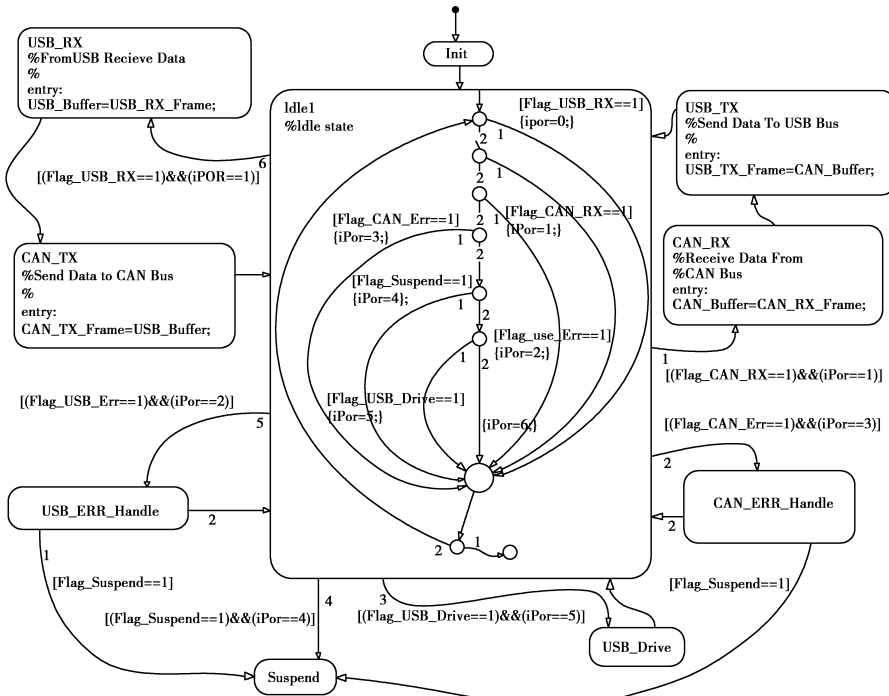
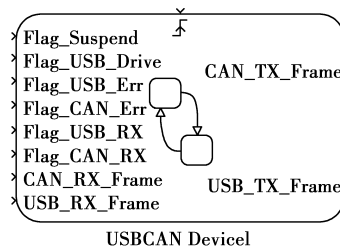


图 3 USBCAN 总线转换设备有限状态机状态迁移图



(a) USBCAN 总线状态迁移图



(b) USBCAN 总线转换设备 Simulink 模块图

图 4 USBCAN 的 Simulink 模型图

USBCAN 总线转换设备的模型是根据 USBCAN 总线转换设备的各种运行状态建立的,模型中包含了各种正常运行状态和故障状态,保留了故障状态的仿真接口,通过这些故障状态接口,可以仿真 USBCAN 总线转换设备在故障状态下的运行方式,制定相应的解决方法。模型还可以真实地反映出 USBCAN 总线转换设备的运行逻辑,便于对设备的设计进行优化。建立的模型可以在 Simulink 环境下,进行系统层面的仿真实验。

2.3 USBCAN 总线转换设备的 Stateflow 模型

根据 USBCAN 总线转换设备的系统结构和图 3 所示的有限状态迁移图,得到 USBCAN 总线转换设备的 Simulink/Stateflow 模型如图 4 所示。

3 USBCAN 总线转换设备在 Simulink 下的仿真

USBCAN 总线转换设备的主要功能是实现

USB 总线和 CAN 总线的的数据交换,因此,对 USBCAN 总线转换设备的通信能力的仿真相当重要。根据 USBCAN 总线转换设备的应用环境,建立的 Simulink 下的仿真模型如图 5 所示。模型通过添加正弦波源信号在 CAN 总线和 USB 总线两端,再通过 USBCAN 模块转换后,测试输出的波形信号与源信号是否相符,就可以仿真出转换设备是否能够完成两种总线的数据交换。其中 CAN Pack 模块和 USB Pack 模块是将源信号封装成符合 CAN 总线和 USB 总线格式的数据帧,CAN Unpack 模块和 USB Unpack 模块是将转换后的输出信号从 CAN 总线和 USB 总线的数据帧中解包出来,还原成可以显示的信号。

通过添加各种故障状态信号,也可以实现对 USBCAN 总线转换设备在各种故障情况下运行状态的仿真,可以验证 USBCAN 总线转换设备的软件设计是否可以对各种故障进行正确的处理。

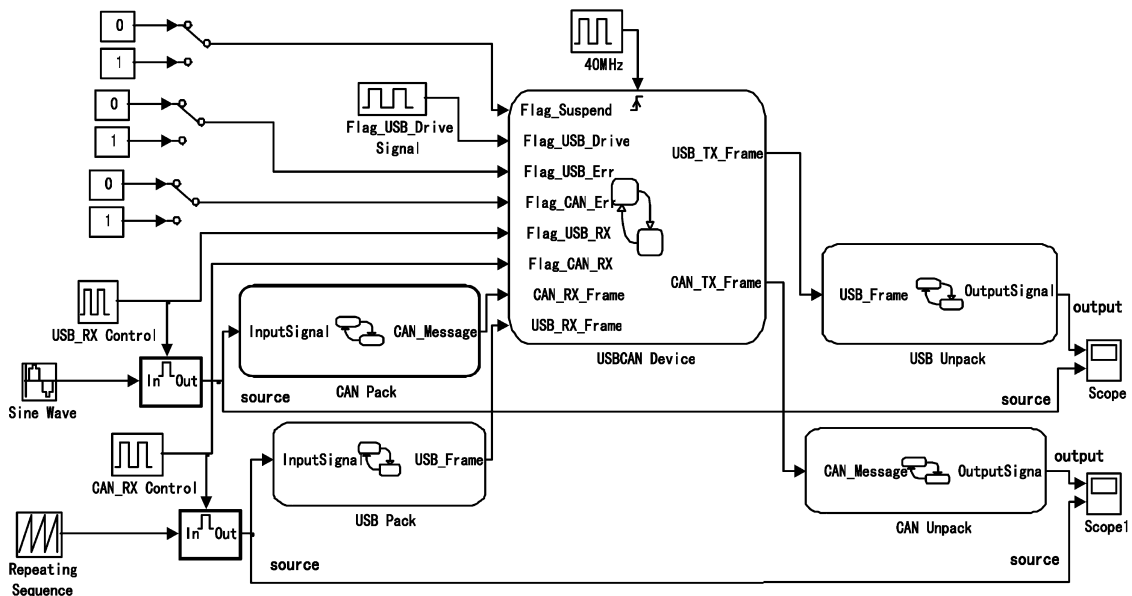
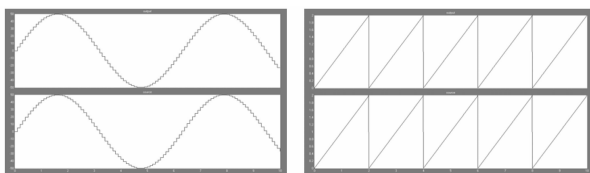


图 5 USBCAN 总线应用系统仿真模型

仿真得到的最后结果如图 6 所示,从仿真结果可以看出,USBCAN 总线转换设备的仿真模型可以正常工作,可以实现 USBCAN 总线转换设备的运行状态的仿真。



(a) CAN总线到USB总线仿真结果 (b) USB总线到CAN总线仿真结果

图 6 模型连通性的仿真结果

4 结 语

Matlab/Simulink/Stateflow 是一种强大的逻辑分析和仿真工具。通过 Stateflow 对 USBCAN 总线转换设备的建模和仿真,提出一种新的基于单片机的通信系统分析方法。通过建立 USBCAN 总线转换设备的有限状态机和状态迁移图的 Stateflow 模型,并在 Simulink 仿真工具中进行仿真,可以监测出有限状态机和状态迁移图能否正常工作。从仿真结果来看,USBCAN 总线转换设备的有限状态机

模型可以有效地仿真 USBCAN 总线转换设备的工作状况。

参考文献:

- [1] LI F, WANG L F, LIAO C L. CAN(Controller Area Network) bus communication system based on Matlab/Simulink [C] // 2008 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, October 12-November 1, 2008, Dalian, China. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008: 1-4.
- [2] ZHOU F, LI S Q, HOU X. Development method of simulation and test system for vehicle body CAN bus based on CANoe [C] // 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 25-27, 2008 Chongqing, China, [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008: 7515-7519.
- [3] RAN P, WANG B Q, WANG W. The design of communication convertor based on CAN bus [C] // 2008 IEEE International Conference on Industrial Technology, April 21-24, 2008, Chengdu, China. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008: 1-5.
- [4] LI R J, LIU C, LUO F. A design for automotive CAN bus monitoring system [C] // Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008. VPPC '08. IEEE, Sept. 3-5, 2008, Harbin, China. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008: 1-5.
- [5] RAJPUT V S, KOSKIE S, ROVNYAK S M, et al. A microcontroller-based phasor measurement system with CAN bus communication [C] // Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, July 20-24, 2008, Pittsburgh, Pennsylvania, USA. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008: 1-5.
- [6] POSASA-GOMEZ R, ENRIQUEZ-GOMEZ R, ENRIQUEZ-RODRIGUEZ J J, et al. USB Bulk Transfers between a PC and a PIC Microcontroller for Embedded Applications [C] // Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, 2008. CERMA 08, Sept 30 2008-Oct 3, 2008, Cuernavaca, Morelos, Mexico. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008: 559-564.
- [7] ANDERSON R B, BOROWCZAK M, WILSEY P A. The Use of Device Simulation in Development of USB Storage Devices [C] // Simulation Symposium, 2008. ANSS 2008. 41st Annual, April 14-16, 2008, Ottawa, Ontario, Canada, [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008: 220-226.
- [8] 赵永泉, 张红兵, 孙士平. RS-232 接口转换为 USB 接口的设计原理[J]. 现代计算机, 2002(2): 23-26.
ZHAO YONG-QUAN, ZHANG HONG-BING, SUN SHI-PING. A Design principle to RS-232 Interface Change as USB Interface[J]. Modern Computer, 2002 (2): 23-26.
- [9] 钱苏翔, 许聚武. 基于 USB 总线的高速数据采集卡的设计[J]. 电测与仪表, 2007(12): 44-47.
QIAN SU-XIANG, XU JU-WU. Design of high-speed data acquisition board based on USB bus[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2007(12): 44-47.
- [10] 陈达成. USB 总线在广州地铁一号线 BUS 系统中的运用 [J]. 电气技术, 2007(3): 101-103.
CHEN DA-CHENG. The EMCS system with super-speed data collect way based on USB2.0 in Guangzhou-metro[J]. Electrical Engineering, 2007(3): 101-103.
- [11] DENNEY E, TRAC S. A Software safety certification tool for automatically generated guidance, navigation and control code [C] // Aerospace Conference, 2008 IEEE, March 1-8, 2008, Big Sky, Montana. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008: 1-11.
- [12] LI K J, LIU G P. Design and Realization of Motor Control System Based on Stateflow and Ethernet [C] // Control Conference, 2006. CCC 2006. Chinese, August 7-10, 2006, Harbin, China. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2006: 525-528.
- [13] PAPANDEOU N, VARSAMOU M, ANTONAKOPOULOS T. Transmission systems prototyping based on Stateflow/Simulink models [C] // Rapid System Prototyping, 2004. Proceedings, 15th IEEE International Workshop on, 28-30 June 2004, Geneva, Switzerland [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004: 174-179.
- [14] YUAN L, QU G, VILLA T, et al. FSM re-engineering and its application in low power state encoding [C] // Design Automation Conference, 2005. Proceedings of the ASP-DAC 2005, Asia and South Pacific, June 18-21, 2005, Taipei, Taiwan, China. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2005: 254-259.
- [15] BATSAYAN D, DIPANKAR S, STANTANU C. Model checking on state transition diagram [C] // Proceedings of the ASP-DAC 2004, Design Automation Conference, Asia and South Pacific, June 27-30, 2004, Yokohama, Japan. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004: 412-417.

(编辑 王维朗)