

# 基于状态模型的 CAN 总线系统的仿真

付秀霞 庞彦斌

(北京化工大学信息科学与技术学院, 北京 100029)

**摘要:** 文中在分析 CAN (controller area network) 总线通信控制协议的基础上, 运用有限状态机理论, 在 MATLAB/Simulink 软件 Stateflow 仿真环境中建立了 CAN 总线通信系统的仿真模型。通过运行此仿真模型, 求取了如网络传输数据和不同优先级信息平均传输时延等性能指标。最后, 文中还研究了 CAN 总线系统中字节量和传输速度对上述性能指标的影响, 充分分析了 CAN 总线的高实时性。仿真分析结果进一步证明此种仿真方法对于研究总线是可行的。

**关键词:** 现场总线; CAN (controller area network); 有限状态机; 状态流; 网络性能

**中图分类号:** TP393.1

CAN 总线已被广泛应用到过程控制、机械等众多领域, 对其研究成为热点。目前国内对 CAN 总线的研究多基于 CAN 总线实际硬件系统<sup>[1-2]</sup>, 这种方法存在成本高、系统扩展不灵活的问题。另外, 对现场总线性能的研究主要有数学分析方法和仿真两种。由于较多地受到假设条件限制, 数学方法仅能对极少数简单系统进行描述, 难以实现对大部分实际网络的建模。与之相比, 仿真方法则灵活多变。仿真方法又分为程序仿真和应用某些基于形式化模型的仿真软件仿真两种。国内目前比较流行的方法是使用程序描述协议行为进行仿真<sup>[3]</sup>, 文献中大多没有披露程序内容, 而且这种仿真方法缺乏形象直观性, 它只对总线协议的通信活动做了分析, 而没有关注整个 CAN 总线系统。本文采用基于形式化模型的仿真方法, 借用 MATLAB/Stateflow 工具箱, 建立起具有 10 个节点的 CAN 总线系统仿真模型, 对 CAN 总线的网络性能进行了分析研究。

## 1 CAN 总线通信系统仿真模型

### 1.1 建模工具

基于有限状态机理论的 Stateflow 建模工具采用基本的结构单元 state 和 transition 来建立有限状态机仿真模型<sup>[4]</sup>。由于 Stateflow 嵌于 Simulink 仿真环境中, 所建模型可以接入到 Simulink, 与 Simulink 中模型合为一体。通过使用 Simulink 中的时钟模块, Stateflow 模型可以具有时间参数, 这为实现动态系统仿真和求取与时间相关的仿真结果提

供了便捷。

### 1.2 仿真模型

CAN 总线控制系统是一个实时分布系统, 采用多主工作方式, 无需站地址等节点信息。信息发布节点以广播方式向总线上发送信息, 其它节点通过报文滤波来接收数据。由于 CAN 总线系统的这种特殊结构, 此次仿真采用模块化和分级建模方法建模<sup>[5]</sup>。在 Simulink 中的母级模块, 如图 1 所示。而 Stateflow 环境中建立的子模型包括一个总线模型

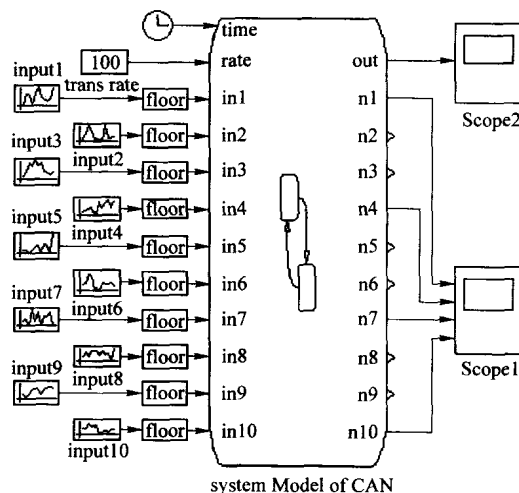


图 1 Simulink 中的母级模块

Fig. 1 Mother model in Simulink

块和 10 个节点模型块, 所有模块为并行结构。仿真中 10 个节点模型相同, 都如图 2 所示。

因为本次仿真主要研究 CAN 总线的通信性能, 所以在建立节点模型时, 只考虑了其通信活动所涉及的部分, 没有加入节点计算控制活动部分和数据接收部分。节点模型中, period.data.put 状态代表

收稿日期: 2004-11-02

第一作者: 女, 1976 年生, 硕士生

E-mail: fuxx2005 @163.com

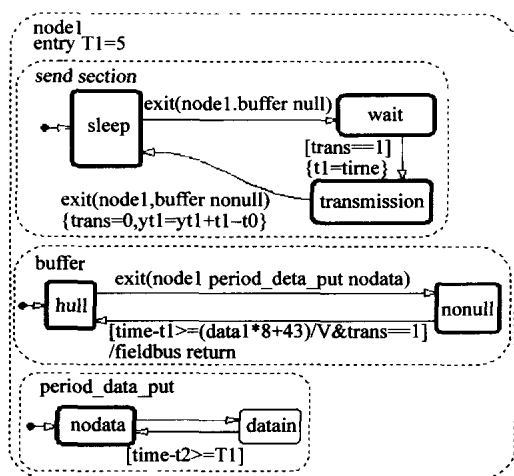


图 2 节点模型

Fig. 2 Simulation model of one node

节点中数据采集部分,此仿真数据由 Simulink 环境输入,数据长度服从随机平均分布。在状态 *datain* 中,数据被组装成 CAN 标准短帧。在实际系统中,数据可能是节点本身采集的现场检测数据,也可能是节点控制器输出的数据。Buffer 状态代表节点的缓冲器,这里假设容量为 1。每个节点信息都放在各自缓冲器中,当缓冲器中的信息还没发送出去而新的信息到来,则丢弃新的信息。Send section 状态代表节点发送部分,状态“sleep”意味着节点处于无任务状态,即没有信息需要传输。当有数据被采集进来,节点状态转移到“wait”状态,此时节点开始监测总线。只要发现总线处于“idle”状态,节点就开始置标志位参与总线竞争。如果竞争成功,节点状态转移到“transmission”,否则继续处于“wait”状态,等待下一次的发送机会。在“transmission”状态中,当发送过程结束,节点再次转移到“sleep”状态。

仿真中的总线模型,如图 3 所示。CAN 总线通信系统中,信道(即总线)具有三个状态,当总线上没有信号传输时,总线处于“空闲”状态。当有节点要发送信息,首先进行仲裁过程;仲裁结束后,总线便进入“传输”状态,开始传输竞争获胜(即优先级较高)的帧。帧传输完毕,总线再次回到“空闲”状态。

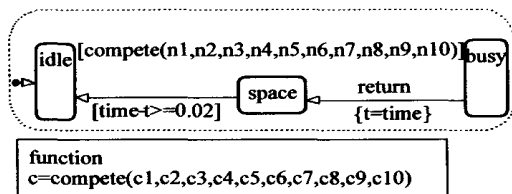


图 3 总线部分模型

Fig. 3 Simulation model of bus

Space 状态表示帧间隔。

CAN 协议规范中规定,在报文的标志字段 ID 中放置优先权编码,产生冲突时,通过比较优先权来决定谁获得总线访问的权利。实际 CAN 总线通信系统是通过总线上高低电平的“线与”来实现非破坏性仲裁机制。由于 Stateflow 软件限制,此仿真模型无法仿真“位的线与”,而是采用一个函数 *compete* 来实现仲裁。*c1—c10* 代表各信息的标识字段,函数 *compete* 通过比较它们的大小来确定由谁占用信道。

以上所述仿真模型简洁直观地解释了 CAN 总线的媒体访问控制机理,并能动态地仿真通信活动。由于模型中设定了时间参数,仿真可以输出与时间相关的参数,这对于分析仿真结果提供了很大便利。

## 2 仿真结果分析

在此次仿真中,仿真假设条件有:1) 一个节点只产生一种优先级信息,节点 1 产生的信息优先级最高,其它节点依次降低。2) 每个节点所产生的信息都为周期性信息,但是周期不同。3) 所有节点产生的信息都为数据帧。

通过仿真得出的 CAN 总线网络性能如下。

1) 在字节量和传输速率变化的情况下,网络传输数据的趋势如图 4、5 所示。

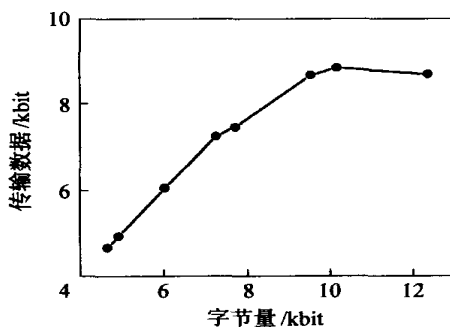


图 4 传输数据和字节量的关系图

Fig. 4 Relation between load and throughput

仿真中传输数据的变化是由 CAN 总线的非破坏性总线仲裁机制决定的。在字节量较低时,低优先级的信息可以竞争到总线权得以发送,并且随着字节量的增加,总线利用率提高,传输数据也随之变高。当字节量提高到一定程度时,只有高优先级的信息得以发送,而低优先级的信息却可能被长时间延迟甚至造成数据丢失,这时总线利用率达到最高,但传输数据却开始下降。同理传输速率变大,传输占用总线时间变短,总线可以传输更多信息,提高了数据传输量。

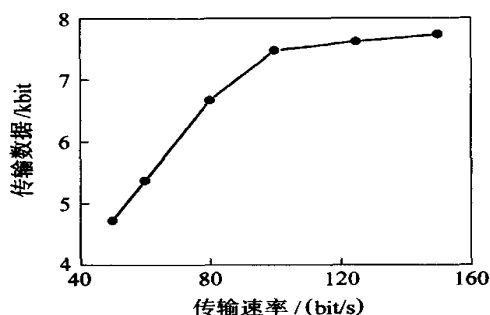


图5 传输数据和传输速率的关系图

Fig. 5 Relation between transmission rate and throughput

2) 在字节量和传输速率变化的情况下,信息平均传输时延的趋势如图6、图7所示。

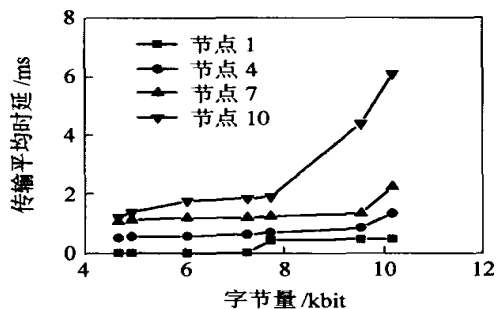


图6 信息发送平均时延和字节量的关系图

Fig. 6 Relation between load and message's transmitting delay time

由图6和图7可见CAN总线系统中不同优先级信息受字节量和传输速率的影响不同,这是总线竞争的结果。当字节量较低或传输速率较大时,由于各优先级信息都可以竞争到信道使用权,所以信息发送平均时延差别不大;但随着字节量的增加或传输速率降低,信道主要用来发送高优先级的信息,优先级越低的信息延迟越大,有的信息永远得不到发送机会。这正是CAN总线通信控制机制的缺点。

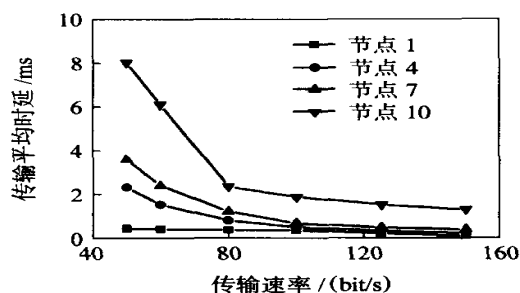


图7 信息发送平均时延和传输速率的关系图

Fig. 7 Relation between transmission rate and message's transmitting delay time

### 3 结论

经过本次仿真的试行,证明运用MATLAB软件中Stateflow工具箱来对总线协议进行建模仿真可行,是现场总线协议分析与研究的又一崭新途径。仿真模型能够完全描述协议的复杂逻辑关系,而且形象直观贴近实际系统,易于理解,也便于修改调试。此次仿真中的几个假设条件,在进一步的模型改进中都可以消除。

### 参考文献

- [1] 袁爱进. CAN现场总线通信系统的研究[J]. 计算机工程, 2001, 27(9): 129 - 131
- [2] 郭宽明. CAN总线原理和应用系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002
- [3] Jose Luis Sevilano. Analysis of channel utilization for controller area networks[J]. Computer Communications, 1998, 21: 1446 - 1451
- [4] 苟凯英, 程军. 基于MATLAB仿真环境实现防抱制动控制逻辑[J]. 测控技术, 2002, 21(1): 25 - 27
- [5] Walrand J, Kallol Bagchi. Network performance modeling and simulation[M]. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1998

## Simulation of CAN communication control system

FU Xiu-xia PANG Yan-bin

(College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** CAN (Controller Area Network) fieldbus communication protocol was briefly reviewed, and the finite state machines model of CAN protocol was described. A simulation model of CAN communication control system was designed by using the tool of Stateflow in MATLAB/Simulink. From the results given by the model, the network performances of CAN such as message's transmitting delay time network throughput were acquired. The effect of the load and the transmission rate on the performance of CAN communication control system was considered. These analytical results validate that this simulation is feasible.

**Key words:** fieldbus; CAN; finite state machines; stateflow; network performance (责任编辑 刘同帅)