

# 基于 OPNET 的典型 1394b 总线拓扑结构建模与仿真

郑云飞, 张登福, 张立朝, 李岳阳

(空军工程大学航空航天工程学院,西安,710038)

**摘要** 为评价 IEEE1394b 总线节点传输速率不匹配时的性能,研究和分析了典型 stack-tree 拓扑结构的可靠性,提出在 OPNET 仿真环境中构建 1394b 总线异步通信模型的方法。采用层次化建模的理念设计节点模型进行仿真;应用层处理模块负责总线初始化、树标识过程和自标识过程,完成总线的配置;介质访问控制层实现异步仲裁和流入流出报文的处理。通过仿真,得到了 1394b 总线利用率、异步仲裁申请次数以及端对端延时等特性。实验结果表明:自然优先级比较高的节点可以率先获得总线使用权,同时节点间的 ETE 平均延时随拓扑距离的增大而增大。仿真结果考虑了节点传输速率不匹配时的情况,实现了 1394b 总线的拓扑配置和异步仲裁,扩展了 OPNET 模型库。

**关键词** 1394b;堆栈树;异步通信;拓扑

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.05.007

**中图分类号** V24;TP393 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)05-0028-04

## Modeling and Simulation of Typical 1394b Bus Topological Structure Based on OPNET

ZHENG Yunfei, ZHANG Dengfu, ZHANG Lichao, LI Yueyang

(Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** To evaluate the performance of 1394b bus being unmatchable at node transmission rate, the reliability of the typical stack-tree topology is studied and analyzed, and an asynchronous communication model of 1394b bus is put forward in OPNET environment. First, hierarchical model of the node of 1394b is designed, and then, bus initialization, tree-identification and self-identification are performed to complete the bus configuration by the processing module of application layer. Media access control layer is responsible for asynchronous arbitration and the process of inflow/outflow message. Finally, the utilization rate of the 1394b bus, the number of asynchronous arbitration and the end-to-end time-delay characteristic can be achieved through simulation on OPNET. The experimental results show that the natural priority whose nodes are higher than the others can take the lead in using the bus, and at the same time, the ETE average delay is increased with the increase of topological distance increases between nodes.

**Key words:** 1394b; stack-tree; asynchronous; Topology

IEEE1394b 总线作为一种高品质、高传输速率 的串行通信协议,已经在家用电子和多媒体设备中

收稿日期:2015-03-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61202339);陕西省自然科学基金资助项目(2012JQ8034)

作者简介:郑云飞(1990-),男,陕西咸阳人,硕士生,主要从事综合航空电子系统、信号处理研究,E-mail:xdyunfei@163.com

**引用格式:**郑云飞,张登福,张立朝,等.基于 OPNET 的典型 1394b 总线拓扑结构建模与仿真[J].空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(5):28-31. ZHENG Yunfei, ZHANG Dengfu, ZHANG Lichao, et al. Modeling and Simulation of Typical 1394b Bus Topological Structure Based on OPNET[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(5): 28-31.

得到了广泛应用,扩展和约束后的军用标准 AS5643 也已经发布<sup>[1-2]</sup>。将 1394b 总线应用于航空电子领域,一要考虑对早期战机中总线设备传输速率的兼容,二要探索可靠的网络拓扑结构。目前对 1394 总线的研究已经取得了一定成果。文献[3]提出了基于任务的系统可靠性分析方法,得到了任务路径可靠度;文献[4]给出了 2 种构建 1394 网络集线器方案;文献[5]基于确定与随机 Petri 网建立了 1394 总线异步传输的节点模型。但是这些研究都缺乏对 1394 总线网络层次化的建模以及节点传输速率不匹配时异步通信性能的评价。本文针对此进行了研究。

### 1 IEEE1394b 网络拓扑结构分析

IEEE1394b 总线分异步传输和等时传输 2 种通信模式,其中异步传输时确定带宽下的数据传输仅取决于传输速率而不需要稳定的带宽,强调的是数据传输的准确性。在航空领域数据总是要求毫无差错地传输,因此本文只讨论异步通信下的情况。

1394b 串行总线的拓扑是一个具有有限分支和节点的无环网络,由电缆连接各节点间的端口呈分支扩展,形成树状或菊花状的网络拓扑<sup>[6]</sup>。文献[7]提出了一种典型的 1394b 总线拓扑结构——stack-tree(CST)。CST 结构具有易于增加和删除节点的特性,但是分支节点失效将导致总线故障<sup>[8]</sup>。在 CST 网络中,当失效节点出现在总线一端(或两端)、簇生的分支节点和叶节点之间时,网络总体性能不受影响。通常将 CST 可以容忍的这类故障称为末端分支-叶故障簇。

### 2 网络仿真模型设计

本文采用 OPNET 建立传输速率不匹配时的 1394b 总线模型。OPNET 具有先进的建模机制以及完备的模型库和完善的外部接口,依据层次性的仿真思路,设计包含网络域、节点域和进程域的 3 层模型。

#### 2.1 网络模型

网络模型用节点和节点之间的链路来描述。仿真中设计机载任务系统典型设备的 1394b 总线拓扑结构见图 1。这样可以通过对每个设备节点号的改变,仿真出总线拓扑结构和节点分布对总线配置、仲裁和利用率等性能参数的影响。

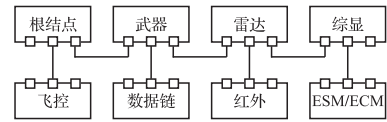


图 1 1394b 网络拓扑结构

Fig.1 The network topology of IEEE1394b

#### 2.2 节点模型

节点模型用于定义每个节点的行为。一个节点通常由多个模块组成,每个模块完成一部分节点的功能。按照 CST 拓扑特性,设计见图 2 的节点模型。每个节点模型包含应用层处理模块(APP)、介质访问控制层处理模块(MAC)、介质访问控制层接口模块(MAC\_INTERFACE)、DEFERENCE 模块和 3 组点对点收发信机。其中 MAC 负责处理流入/流出的报文;DEFERENCE 用以检测各个收发信机端口状态;PR\_1 和 PT\_1、PR\_2 和 PT\_2、PR\_3 和 PT\_3 是 3 组点对点收发信机,实现节点之间的通信。

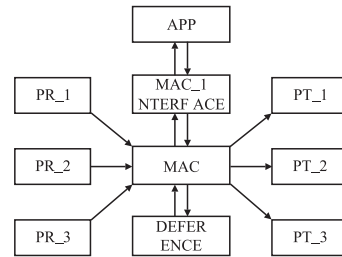


图 2 1394b 网络节点模型

Fig.2 The network node model of IEEE 1394b

#### 2.3 进程模型

进程模型是实施各种算法和协议的载体,主要用来刻画节点模型中的处理器以及队列模型的行为。进程模型分为停留状态和非停留状态。停留态在执行完入指令后中断代码,等下一次事件到达该进程后再执行出指令;而非停留态不会中止执行,入指令执行完之后立即执行出指令。

##### 2.3.1 应用层处理模块

应用层处理模块主要负责产生数据、处理从 MAC 进程接收的消息以及总线的配置。1394b 总线配置包括总线初始化、树标识过程和自标识过程。图 3 是进程结构状态转移图。

当总线未初始化时,首先由 bus\_init 强迫节点清除拓扑信息,然后 tree\_identify 状态完成所有节点拓扑结构的标识,最后进入自标识 self\_identify 状态,节点对自身做一个标识,以方便其他节点知道自己的身份和功能。除此之外,状态 pkt\_gen、pkt\_send 和 time\_poll 模拟产生数据包,receive 状态处理接收到的消息。

##### 2.3.2 MAC 处理层模块

MAC 处理层模块实现 2 方面功能:①异步仲

裁;②流入/流出报文的处理。进程结构状态转移图见图 4,其中状态 strm\_judge、pkt\_analyse0、respond0 和 bus\_apply 负责总线仲裁。

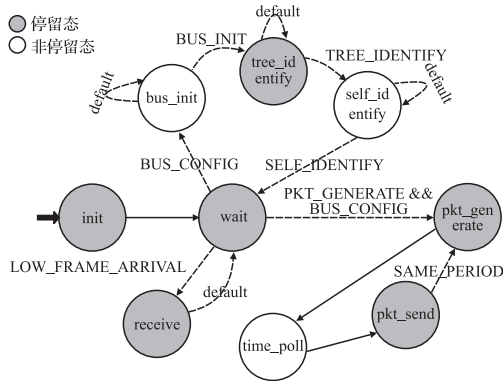


图 3 应用层模块进程状态转移图

Fig.3 The process status transfer diagram of application layer

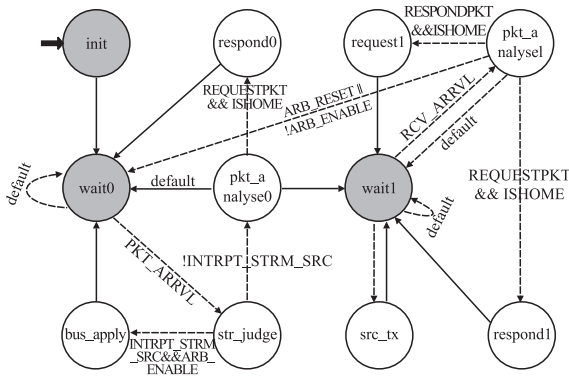


图 4 MAC 处理层模块进程状态转移图

Fig.4 The process status transfer diagram of processing layer

如果 MAC 层接收到的包来自 APP 层,当总线处于闲置状态并且当前节点仲裁使能位有效时,bus\_apply 状态将含有 TX\_REQUEST 请求信号的包发往根节点,申请获得总线使用权;如果 MAC 层接收到的包不是来自 APP 层,进入 pkt\_analyse0 状态对其进行解析。包解析后发现含有 TX\_GRANT 标识,说明此包来源于根节点,此时如果目的节点是自身,节点获得总线使用权,进入 wait1 状态开始进行异步通信;否则转发该包到其他节点并等待下一个子事务间隔重新发起总线使用申请。

状态 src\_tx、pkt\_analyse1、respond1 和 request1 负责总线使用权周期内节点之间的通信。其中流入的报文被剥离出数据发往 APP,流出的报文根据 MAC\_INTF 层传递来的目的地址、链路控制、数据大小和发送通道等信息,封装成相应结构的数据帧通过指定通道发送出去。

### 3 网络性能仿真

本节仿真分析第 2 节建立的拓扑模型的性能。通过更改总线节点之间收发信机的通信速率,研究传输速率不匹配对总线性能的影响。实验中,配置分支节点间的传输速率为 1 Gbps,分支节点与叶节点之间的传输速率包含 1 Gbps,800 Mbps 和 400 Mbps,子事务周期为 125 μs,仿真时间为 30 s,采样间隔为 0.3 s。下面主要以数据链端机节点和综合态势显示设备节点为例,分析异步仲裁、总线利用率和端对端延时等特性。

#### 3.1 异步仲裁性能仿真

总线上有多个节点同时向根节点发出仲裁请求时,自然优先级最高的节点首先获得仲裁授权。对于给定的节点,自然优先级是由它到根节点的距离决定的。图 5 对数据链端机节点和综合态势显示设备节点发起的仲裁请求次数进行了收集。相对于数据链端机节点,综合态势显示设备节点的自然优先级较低,每次公平仲裁周期内发起的申请次数相对较多。因此在实际的机载任务系统中,应该根据设备节点的重要性合理安排它在拓扑结构中的位置。

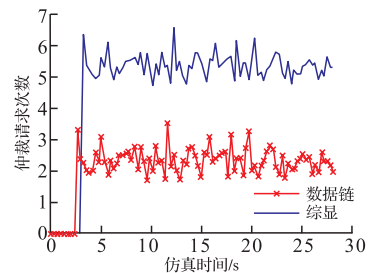


图 5 仲裁申请次数

Fig.5 The arbitration application number

#### 3.2 总线利用率性能仿真

节点间不同传输速率对总线利用率会产生不同影响,结果见图 6。

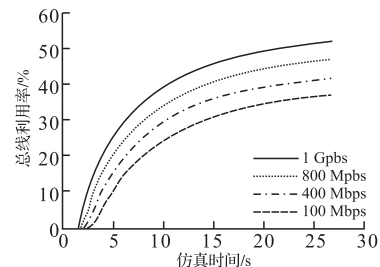


图 6 节点间不同传输速率对应总线利用率

Fig.6 The bus utilization of different transmission rate between nodes

可以看出在 1394b 总线中,当所有节点间的传输速率与总线速率保持一致时,总线利用率最高,而

且仿真稳定后超过 51%;当节点间的传输速率与总线传输速率不一致时,传输速率差距越大,总线利用率越低。这是因为在传输速率不匹配时,包到达分支节点后会被阻塞,节点接收端若没有足够的缓存空间,就会导致包丢失。因此在具体应用时,就需要开辟合适的缓存或者动态分配缓存防止包的丢失。

### 3.3 端到端延时性能仿真

图 7 是将根节点作为目的节点时,数据链端机节点和综合态势显示设备节点的平均 ETE 延时结果。某一节点需要发送报文时,首先等待当前仲裁服务周期结束,在新的一轮总线仲裁开始后竞争总线使用权。只有当获得总线控制权后,该节点才可以将报文通过节点之间的互相转送至信宿端。综合态势显示设备节点与根节点间的 ETE 之所以比较大,是因为包从综合态势显示设备发出后,必须经过雷达侦查告警设备节点和武器外挂管理设备节点的转发才能到达根节点,而数据链端机节点包只需要武器外挂管理设备节点的转发。

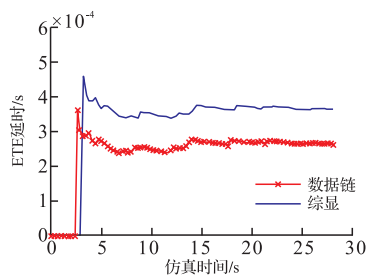


图 7 平均 ETE 延时

Fig.7 The average ETE delay

## 4 结语

本文针对典型 1394b 总线的拓扑结构进行了研究,建立了 1394b 异步传输模型。模型描述了总线网络域、节点域和进程域的结构与行为,对传输速率不匹配场景下的总线利用率、仲裁情况和端对端延时特性进行了仿真分析。仿真结果表明,自然优先级比较高的节点可以率先抢占到总线;节点间的拓扑距离越大,ETE 平均延时就越大。在本文节点模型基础上,通过引入环形冗余拓扑结构,可以提高 1394b 总线的可靠性,对新一代战机航空机载总线系统的设计有着重要参考价值。

### 参考文献(References):

[1] IEEE Std 1394b™-2002. IEEE Standard for A High-Performance Serial Bus-Amendment 2[S]. New York: Institute of Electrical and Electronic Engineers Inc, 2002.

[2] 马宁, 田泽, 史嘉涛, 等. AS5643 协议处理 FPGA 的仿

真验证[J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(5): 153-156.

MA Ning, TIAN Ze, SHI Jiatao, et al. Simulation Verification of AS5643 Protocol Processing FPGA [J]. Journal of Computer Technology and Development, 2014, 24(5): 153-156. (in Chinese)

[3] 段靖远, 张春熹, 史洁琴. IEEE1394b 互连网络的可靠性建[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(4): 491-494.

DUAN Jingyuan, ZHANG Chunxi, SHI Jieqin. On reliability model of IEEE1394b Network Interconnections[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(4): 491-494. (in Chinese)

[4] 周庆瑞, 孙辉先. IEEE1394 网络拓扑结构的可靠性研究[J]. 宇航学报, 2008, 29(4): 1408-1413.

ZHOU Qingrui, SUN Huixian. On Reliability of Physical Topology for IEEE1394[J]. Journal of Astronautics, 2008, 29(4): 1408-1413. (in Chinese)

[5] 杨玉生, 张春熹, 李立京. IEEE1394 异步传输机制建模及性能分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(3): 311-314.

YANG Yusheng, ZHANG Chunxi, LI Lijing. Modeling and Performance Analysis of IEEE1394 Asynchronous Transfer Mechanism[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2010, 36(3): 311-314. (in Chinese)

[6] 胡大裘. IEEE1394 串行总线协议的研究与应用实现[D]. 四川: 四川大学, 2005.

HU Dasha. Research and application of IEEE1394 Protocol[D]. Sichuan: Sichuan University, 2005. (in Chinese)

[7] Wolfram K D. A New Radiation-Hardened Satellite Onboard LAN Based on IEEE Std 1394[R]. AIAA 2004-5869.

[8] 万月亮, 段大高, 史洁琴, 等. 航天电子系统 IEEE1394 总线可靠性模型研究[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(8): 2943-2946.

WANG Yueliang, DUAN Dagao, SHI Jieqin, et al. Research on Reliability Model of IEEE1394 Bus for Aerospace Electronic Systems[J]. Journal of Computer Engineering and Design, 2012, 33(8): 2943-2946. (in Chinese)

(编辑:徐敏)