

航空电子音视频传输 AVB 以太网络

Research on Audio Video Bridging (AVB) for Avionics Network

王彤, 赵琳, 何锋

(北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100191)



王彤

北京航空航天大学电子信息工程学院研究员,《电光与控制》编委,1984年和1987年分别获北京航空航天大学计算机科学与技术系学士学位和硕士学位,毕业后就职于中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所,2007年调入北京航空航天大学电子信息工程学院。1995年至1996年在日本埼玉大学情报系统工程学部作访问学者。研究方向为航空电子综合、总线网络通信、系统测试与仿真技术等。主持和参与了航电综合系统任务计算机原理样机和工程样机的研制,引进装备的多项子系统的研仿和应用研究以及国产化的研制,机载设备的调试和测试系统的研制等。获得国防科技进步一等奖、部级科技进步奖等,发表多篇学术论文。

0 引言

随着现代空中作战及飞行环境越来越复杂,飞行员必须能够对空中态势有全面的感知。现代飞机座舱内综合了各种各样的信息,特别是能够显示战场态势的传感器视频数据,并可通过语音控制进行操作、告警和状态提示等。因此对于航空电子网

航空电子网络上音视频应用的需求日益剧增,对网络的带宽及服务质量都提出了更高的要求。音视频传输 AVB (Audio Video Bridge) 以太网络在传统以太网上提供时间同步和低延迟的音视频流服务,因而受到航电应用的关注。分析了 AVB 协议,针对航电环境下信息交换需解决的问题,提出了时间触发 AVB 网络方案,研究了其实时性传输机制和流量映射等模型;结合某综合航电系统的案例,构建了 AVB 网络的系统架构,仿真结果表明时间触发 AVB 网络有望满足分布式综合模块化航空电子 (DIMA) 系统实时性需求,并且比 AFDX 网络具有优越性。

关键词: 航空电子网络; 音视频传输 AVB; 时间触发; 实时性

中图分类号: V243

文章编号: 1671-637X(2016)01-0001-06

络上的音视频应用的需求日益增加,预测未来航空电子互联网络对于座舱视频接口的带宽需求至少是 0.5 ~ 1 Gbit/s^[1],这对网络的带宽及服务质量都提出了更高的要求。音视频传输 AVB (Audio Video Bridge) 以太网络技术开始受到关注。AVB 是 IEEE802.1 研究组在普通以太网的基础上针对数字化音频流和视频流提出的一组协议,它具有确定的延迟界限和端到端性能保障^[2],可以考虑在航电环境下应用。AVB 协议栈位于介质访问控制层 (MAC 层) 和逻辑链路层 (LLC 层) 之上,协议中基于信用的整形算法 (Credit-Based Shaping, CBS)^[3] 和严格优先级队列 (Strict Priority Queue, SPQ)^[4] 可以根据航电系统需求合理采用。文献[4]探讨了 AVB 的 CBS 模型,认为 CBS 可以成为航电混合关键流量的实时控制算法;文献[5]讨论了 AVB 时间同步机制在航电环境应用中的实时保障能力,认为带有时钟同步的 AVB 可以提供航电组网的确定性;而 AVB 在汽车工业领域得到了更多的关注和研究,已经成为车载电子驾驶系统和车载

娱乐系统组网的首选^[6]。

目前,在以太网上进行适应性改造而用于航电网络的标准有航空电子全双工以太网 AFDX,该标准由 ARINC664 规范定义,提供确定性的实时机制,并对交换以太网进行冗余配置,以适应航空安全关键性应用,成为了新一代大型客机和运输机的核心主干交换网络^[7]。随着分布式综合模块化航空电子架构 (DIMA) 的发展,航电网络需要建立高质量、低延迟、时间同步的消息传输。而 AVB 支持时间同步且低延迟的音视频流的传输,如果完善传输机制,解决流量映射和实时性保障等问题,就可以将 AVB 技术应用到航空电子网络,以满足未来航电系统信息传输的要求。

1 AVB 协议

音视频传输 AVB 以太网是在 IEEE802.1 框架下为了提供低延迟的音视频流服务而定义的一系列网络协议,主要包含如下 3 种标准化协议^[2]。

1) IEEE802.1AS: 时钟同步机制^[8]。

AVB 现有协议族中 IEEE802.1 AS 标准类似于 IEEE1588v2 精确时间协议 (Precision Timing Protocol, PTP), 节点间采用主从时钟同步机制, 将主时钟发布到所有的网络组件进行同步, 主时钟依据最优主时钟算法 (Best Master Clock Algorithm, BMCA) 来确定。

2) IEEE802.1Qat: 流预定协议 (Stream Reservation Protocol, SRP)^[9]。

典型 AVB 网络拓扑包含 AVB 端节点和 AVB 桥接器, 其中, AVB 端节点分为 Talker 和 Listener 两类。Talker 作为“源节点”, 负责产生和发布音视频流; Listener 作为“目的节点”, 实现音视频流接收。每个端节点可以分别作为 Talker 或 Listener, 也可以既是 Talker 又是 Listener。AVB 桥接器相当于交换机, 参与 AVB 网络时钟同步、流预定和消息排队处理。

SRP 协议对音视频流传输路径上的源节点、目的节点和交换机进行登记, 并预留所需的带宽资源, 如果带宽允许, 则建立音视频流连接, 否则连接建立失败。

AVB 协议定义了 A 类 (SR_A) 和 B 类 (SR_B) 两种音视频预定流。其中: SR_A 类帧率为 125 μs , 帧长不超过 1171 Byte, 7 跳延迟目标为 2 ms, 最大抖动为 125 μs ; SR_B 类帧率为 250 μs , 帧长不超过 1500 Byte, 7 跳延迟目标为 50 ms, 最大抖动为 1000 μs 。不属于这两类的流量将被当作 BE (Best Effort) 流量来对待, AVB 协议组推荐 75% 的带宽资源分配给音视频流 SR_A 和 SR_B, 剩下的 25% 分配给 BE 流量^[10]。

3) IEEE802.1Qav: 转发队列协议^[11]。

802.1Qav 核心涉及数字化音视频流媒体业务的调度。协议使用基于信用量的流量整形算法 CBS 和严格的优先级排队规则 SPQ 实现流调度输出, 如图 1 所示。

BE 优先级队列与 AVB 流共同

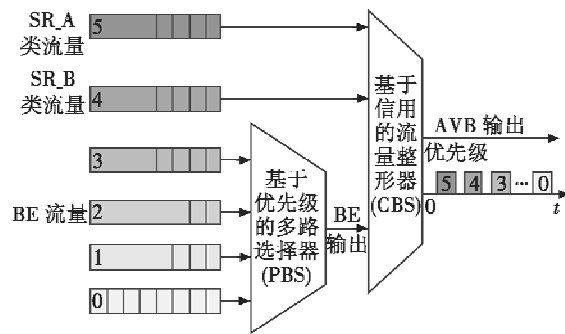


图 1 AVB 输出端口模型

Fig. 1 AVB egress model

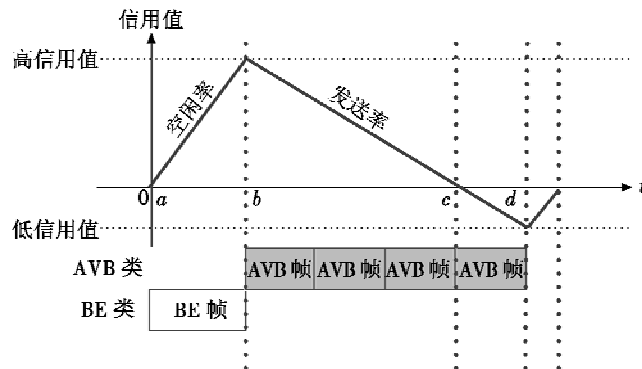


图 2 标准 IEEE802.1Qav

Fig. 2 The standardized IEEE802.1Qav

作为 CBS 算法的输入, AVB 流优先级高于 BE 流优先级, 同时 SR_A 类 AVB 流优先级又高于 SR_B 类, 从而确保高优先级流量不会被低优先级流量抢占^[12]。标准 CBS 算法采用信用量规则来调度 SR_A 和 SR_B 流量帧, SR_A 和 SR_B 帧分别与一个信用量进行关联, 当信用量大于或等于 0, 并且没有更高优先级帧准备好等待发送时, 一个 AVB 帧就允许发送。

图 2 可以进一步解释 CBS 算法过程: 如果一个 AVB 帧被其他帧阻塞, 信用值将按照空闲率进行递增, 见坐标点 a; 一旦链路空闲, 由于 AVB 帧具有最高优先级, 因此将被发送, 如坐标点 b 所示, 同时信用量按照发送率递减; 如果 AVB 帧传输完毕信用量达到负值, 此时信用量又将依据空闲率递增回到零。利用信用值的上下限 (高、低信用值) 可以进一步控制突发度, 根据 CBS 算法能够计算出每类的上限时延。

另外, AVB 在传输层采用了 IEEE1722 标准音视频传输协议 (AVB

Transport Protocol, AVBTP), 用以实现 AVB 流的建立、控制和关闭。

2 AVB 航电环境应用研究

2.1 与 AFDX 协议对比

AVB 和 AFDX 都是基于以太网的改造方案, 针对特定应用环境, 增加了实时性保障机制。本文从寻址、流量类型、流量整形、延迟抖动、同步、冗余等方面对 AVB 和 AFDX 进行对比, 如表 1 所示。

AFDX 和 AVB 都遵循以太网物理层传输协议。ARINC 664-P7 标准定义在 OSI 模型的物理层和数据链路层之上, AFDX 交换机和端系统遵循商用货架产品 (Commercial off-the-Shelf, COTS) 技术^[13]。AVB 采用更加兼容的方案, 直接提供以太网 BE 数据流的传输支持。

AFDX 采用虚拟链路 (Virtual Link, VL) 静态寻址方案, 对每条 VL 定义最大帧长度和带宽分配间隔 (Bandwidth Allocation Gap, BAG), 并定义了高优先级和低优先级两个优

表 1 AVB 和 AFDX 对比
Table 1 Comparison of AVB with AFDX

网络类型	以太网兼容	寻址/路由规则	流量类型	流量整形	延迟/ms	抖动/ μ s	时钟同步	冗余配置
AVB	是	动态寻址,静态路由	SR_A, SR_B, BE	CBS 算法	针对 7 跳网络; SR_A < 2 SR_B < 50	针对 7 跳网络; SR_A < 125 SR_B < 1000	PTP	用户自定义
AFDX	仅物理层兼容	VL 静态路由	高优先级,低优先级	源节点: BAG 整形 交换节点: 令牌桶流量管制	取决于流量配置	源节点: 最大抖动 < 500	无	双冗余网络

优先级,遵循先进先出优先级队列调度机制。AVB 网络利用交换机的动态 MAC 地址来寻址,当音视频流连接建立之后,传输路径即被确定,寻址表现为静态方式。AFDX 在消息源端采用 BAG 对 VL 进行整形和限流,在交换节点采用信用量令牌桶管制算法来控制数据包的时延抖动,AVB 在音视频流的整个传输路径上采用 CBS 实现流量控制。

IEEE802.1Qat 通过定义一系列参数对 SR_A 和 SR_B 类进行带宽保护,参数具体包括:以太网帧率、最大帧长、空闲率、发送率等,并制定了 7 跳延迟目标以及最大抖动。AFDX 在源端规定了最大抖动范围,对端系统发送 VL 条数和最大帧长进行了限制,对消息端到端延迟没有进一步约定,可以结合网络演算等方法根据流量配置情况计算获得。

AVB 采用精确时间同步协议 (PTP) 来实现时钟同步,在 7 跳网络中同步精度可优于 1 μ s; AFDX 网络中没有定义时钟同步机制,而且不具备 PTP 时间戳硬件支持。

目前 AVB 协议中没有定义冗余机制,但下一代 AVB 正在研究中,使其对于桥接的本地局域网支持冗余路径设置; AFDX 每个端系统都对所要发送的数据帧进行编号,然后复制成两份,通过两条相互独立的路径向目的端系统发送,目的端系统采用先到先得的冗余管理策略实现数据包接收,AFDX 双冗余网络配置是提高网络可靠性的有效手段。

2.2 时间触发 AVB 通信机制

AVB 提供了音视频流端到端的

性能保障,但是对于具有严格定时需求的应用而言,这些保障比较薄弱,在 AVB 中加入时间触发机制可以适应严格实时传输^[14-15], IEEE802.1 Qbv^[16] 协议也明确了这项需求。可以考虑的一种方法是把 IEEE802.1 Qav 流量调度方案与时间触发以太网 (Time-Triggered Ethernet, TTE) 中的时间触发机制结合^[17]。

SAE AS6802 标准定义了 TTE 的通信协议,支持混合关键性流量设计,包括:严格实时的时间触发 (Time-Triggered, TT) 流量、速率约束 (Rate Constraint, RC) 流量和尽力传 (Best Effort, BE) 流量。其中:TT 流量具有最高优先级,不会被其他类型流量打断^[18]; RC 流量与 AFDX 兼容; BE 流量与普通以太网兼容。考虑到 AFDX 基于最小帧间隔的流量整形算法与 AVB 所采用的 CBS 算法类似,可以将 TTE 中时间触发机制引入到 AVB 中,改造源端和交换节点的调度方法^[5,13],实现严格实时传输需求,如图 3 所示。

基于全局时钟同步,TT 流量帧

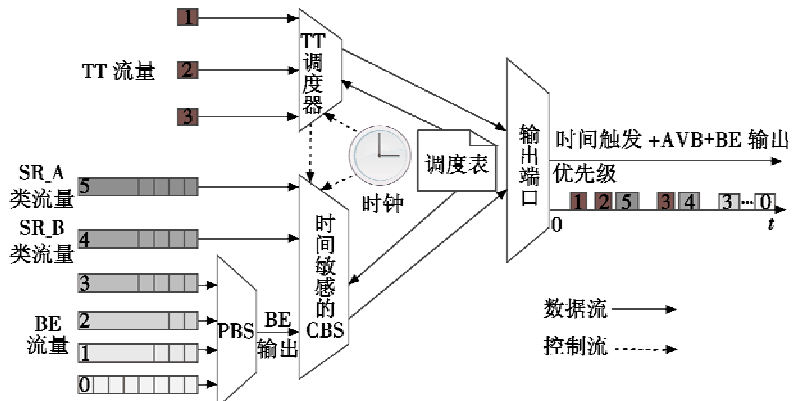


图 3 时间触发 AVB 输出端口模型

Fig. 3 Egress model of time-triggered AVB

在固定的时间窗口内进行传输。在 TT 调度器里则定义了一系列 TT 窗口,在这些窗口中,只有 TT 流量允许传送。

AVB 流量帧传输受 TT 窗口和 CBS 算法共同影响,如果一个较长的 AVB 帧准备发送,但发现在下一个 TT 窗口到来前,不能传送完毕,则此 AVB 帧必须等待,直到下一个被调度的 TT 帧传输完毕,该 AVB 帧才能获得发送的机会。从目前时刻到下一个 TT 帧发送之前的这段时间内,链路始终保持空闲,这个空闲时间可以确保 AVB 帧和 BE 帧不会对 TT 帧传输造成干扰。由于 AVB 帧一直在等待发送,所对应的信用量按照空闲率递增,如图 4 中坐标区间 $[b, c]$ 所示;当 TT 帧传输结束,只要信用量大于或等于 0,此 AVB 帧就可以开始发送,如图 4 坐标点 c 所示。

时间触发 AVB 增加了 TT 流量,以适应严格定时传输需求,采用改造后的流量调度算法,AVB 流量和 BE 流量不会与 TT 流量竞争,避免了多路复用排队中多个流量同时到达竞争输出所造成的传输时延抖动现象,具有严格的时间确定性^[12]。

在 TTE 网络中,TT 流量采用静态生成调度时刻表的方法,相应的节点根据调度时刻表决定消息调度过程。TT 消息完全按照规划的周期进行发送,RC 流量在 TT 流量剩余的带宽中采取“插空”方式发送,发

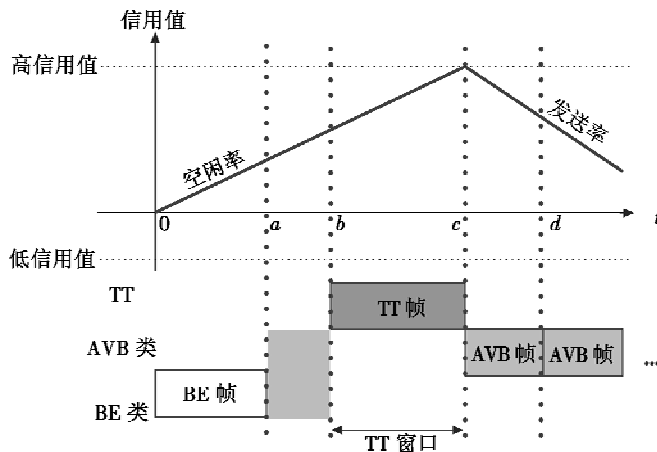


图4 时间触发AVB流量调度算法

Fig.4 Traffic scheduling algorithm of time-triggered AVB

送时刻不确定,存在抖动,RC流量不参与全局时钟调度。

而在时间触发AVB网络中,如图4所示,改造后的AVB时间触发CBS算法依赖于全局时钟信息进行AVB流量调度,因此不能随意利用“插空”的剩余带宽进行AVB流量帧传输。相比而言,AVB流量收敛性好于TTE网络中的RC流量,传输稳定性也好于RC流量,但平均延时可能大于RC流量。

2.3 AVB流量映射模型

为了更好地满足航空电子网络音视频流传输需求,本文讨论如何将实际已获得应用的AFDX流量和具有严格实时传输需求的TT流量放在AVB网络中进行传输,使其适应航空电子信息传输环境,主要解决流量映射问题。

对于AFDX流量,由于具有与AVB网络中的SR流相似的流量整形特征,考虑把VL流量直接映射到SR流量。在典型的大型客机AFDX网络中,需要配置多达上千条VL,并存在一系列的BAG,位于区间(0.5 ms, 128 ms]内。对于BAG分布在区间[0.5 ms, 1 ms]内的小周期流量,其对传输的延时抖动敏感,可以考虑把[0.5 ms, 1 ms]内的流量映射为TT流量。映射完成后,流量调度表生成涉及TT调度算法,比较典型的是可满足性模理论(Satisfiability Modulo The-

ories, SMT);采用形式化方法将不同优先级流量传输条件转换为SMT问题求解,从而实现TT调度时刻表生成。TT消息排布可采用紧密方式或稀疏方式,不同的排布方式将对低优先级流量造成不同的阻塞与抖动。

在AVB网络中,受SRP协议的约束,SR流数目受到限制(例如考虑125 μs帧率和75%的带宽条件下,SR_A类流最多不超过13条),VL与SR流直接映射就存在冲突^[13]。为了支持更多VL的接纳,需要增加SR类别,同时降低标准SR流量的帧率,可以将原来的两类SR扩展成4类,即SR_A类、SR_B类、SR_C类和SR_D类,每个类对应VL的BAG在一定区间内进行分布,比如,可将BAG值在区间(1 ms, 2 ms]内的VL映射为A类,在区间(2 ms, 8 ms]内的VL映射为B类,在区间(8 ms, 32 ms]内的VL映射为C类,在区间(32 ms, 128 ms]内的VL映射为D类。通过构建4类SR流量映射方法,并为每个SR

类分配适当的带宽,可以实现AFDX网络流量的传输。

对于BE流量,则利用剩余带宽进行传输。考虑TT流量和SR流量优先级高于BE流量,可以采用AVB协议对于SR_A和SR_B流量带宽和不超过总带宽75%的建议,保障TT流量和改造后的SR_A到SR_D类流量带宽和同样不超过总带宽的75%。

依据上述流量映射方法,简单计算各个SR流量类型可以接纳VL的条数。不失一般性,考虑各个VL的最大帧长一致,则每个SR流量类型对应的VL条数 N 满足

$$\frac{L \times 8 \times N}{G_{\text{BAC}}} = 100 \times 15\% \quad (1)$$

式中: L 代表帧长; G_{BAC} 代表带宽分配间隔。如果设置帧长为84 Byte,根据式(1)可以计算出各个SR流量类型可以接纳的VL条数,如表2所示。

表2 AVB组网流量映射示例
Table 2 Traffic mapping for AVB SR classes

流量类型	预定带宽/%	BAG/ms	VL条数 N
TT	15	[0.5, 1]	[11, 22]
SR_A	15	(1, 2]	(22, 44]
SR_B	15	(2, 8]	(44, 178]
SR_C	15	(8, 32]	(178, 714]
SR_D	15	(32, 128]	(714, 2857]

3 案例分析

1) 网络架构。

本文讨论航电环境下AVB组网应用例子。参照某飞机航电系统,本文设计了基于AVB网络的综合航电系统架构,如图5所示。

这个架构包含导航系统、综合

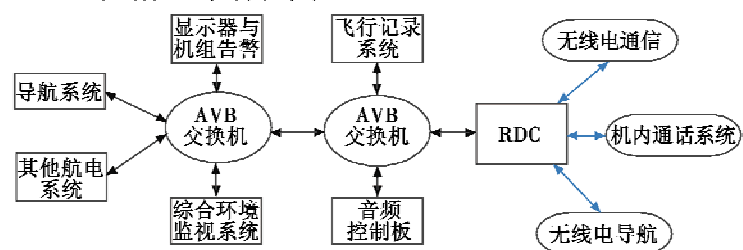


图5 AVB综合航电系统架构

Fig.5 Integrated avionics system architecture of AVB

表3 应用场景流量配置

Table 3 Traffic configuration for the application scene

源节点	目的节点	带宽/(bit · s ⁻¹)	帧长/Byte	流量类型
导航 TT(两路)	环境监视	672 k	84	TT
环境监视 TT(两路)	导航	672 k	84	TT
环境监视 TT	其余节点	672 k	84	TT
导航音频	音频控制板、飞行记录	1.2 M	140	SR_A
导航视频	飞行记录、显示器	12.3 M	1100	SR_A
环境监视视频(两路)	飞行记录、显示器	12.3 M	1100	SR_A
音频控制板音频	导航、显示器、RDC	1.2 M	140	SR_A
显示器与机组告警音频	音频控制板、飞行记录	1.2 M	140	SR_A
RDC 音频	音频控制板、飞行记录	1.2 M	140	SR_A
RDC 音频(两路)	音频控制板、飞行记录	1.2 M	140	SR_B
音频控制板音频(两路)	RDC	1.2 M	140	SR_B
显示器与机组告警视频	飞行记录	12.3 M	1100	SR_B
环境监视 BE	其他系统	剩余带宽	1500	BE
其余系统 BE	环境监视	剩余带宽	1500	BE

环境监视系统、飞行记录系统、显示器与机组告警系统、音频控制板和远程数据集中器(RDC)等端节点,各个端节点通过两个 AVB 交换机相连,无线电通信、无线电导航和机内通话系统通过 RDC 接入到 AVB 网络中,同时网络中端节点通过 AVB 交换机与其他航电系统相连。

2) 流量配置。

图 5 所示的综合架构中,各个系统之间不仅包括严格定时传输的消息流,还包括多路音视频信号以及普通消息流。网络中流量具体配置信息如表 3 所示。

3) 仿真分析。

依据 AVB 航电环境改造方案,设计了时间触发 AVB 行为仿真模型,根据表 3 中的参数,在 OMNeT++ 环境中对此网络进行实时性仿真验证。

首先,对整个网络性能进行分析,整个 AVB 网络被配置 100 Mbit/s 的带宽,共包含 8 组 TT 流,22 组 AVB 流,10 组 BE 流,取每组数据流端到端延迟均值进行比较,如图 6 所示。

图 6 中,每个点代表一组数据流延迟均值,从图中可以清楚地看出整个网络中 TT 流、AVB 流、BE 流的总体延迟概率分布情况,各组数据流端到端延迟均在预定义范围之内,说明经过适应性改造的时间触发 AVB 可以适应航电环境中混合关键消息的实时传输需求。

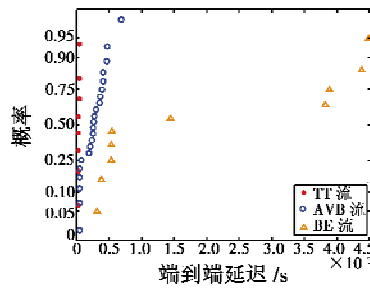
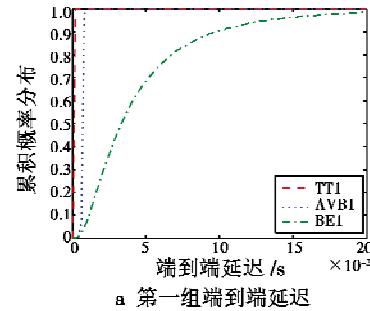


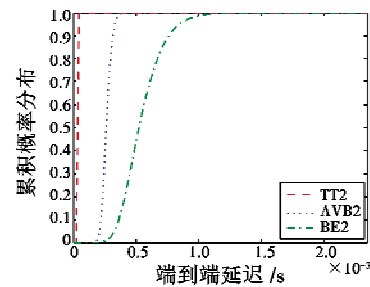
图6 整网延迟分布

Fig. 6 Network latency distribution of end-to-end latency

然后,从每类流量中挑选出两组流量运用累计分布函数 CDF 处理,观察概率分布,结果如图 7 所示。



a 第一组端到端延迟



b 第二组端到端延迟

图7 端到端延迟分布

Fig. 7 Cumulative distribution of end-to-end latency

图 7 中:TT1 代表综合环境监视系统到音频控制板的 TT 流;AVB1 代表环境监视系统到飞行记录系统的视频流;BE1 为 RDC 到环境监视的 BE 流;TT2 为导航到环境监视的 TT 流;AVB2 为音频控制板到 RDC 的音频流;BE2 为环境系统到飞行记录系统的 BE 流。

从图 7 中可以看出:TT 流采用时间触发机制进行传输,端到端延迟具有最高的时间确定性,不受 AVB 流和 BE 流的影响;AVB 流的延迟分布大于 TT 流,但也很快收敛,其概率累积分布曲线具有很陡峭的上升部分,说明 AVB 流端到端延迟分布在较窄的区间,消息传输很稳定;由于受 TT 流和 AVB 流调度影响,BE 流端到端延迟具有最大的不确定性,相比于 AVB 流,BE 流概率累积分布曲线的上升部分分布在一个较宽的区间内。

4 结论

本文针对 AVB 在航电环境中的应用展开讨论,主要集中于它的实时性机制。分析了 AVB 协议,对比了与 AFDX 在航电应用方面以及实时性保障方面的异同;构建了航电环境下的改造方案,研究了 AVB 流量与 AFDX 的 VL 的映射关系;设计了时间触发 AVB 仿真模型,通过典型综合航电组网案例,开展了网络延迟分析,结果表明时间触发 AVB 网络比 AFDX 网络具有一定的优越性。

本文方法对 AVB 网络音视频实时传输技术在航电环境中的应用探索具有指导意义,改造后的 AVB 网络可作为先进综合式航空电子系统统一网络的候选。后续工作还需进一步研究协议应用的完整性以及网络的可靠性等。

参考文献

[1] 熊华钢,王中华.先进航空电子综合技术[M].北京:国防工业出版社,2009. (XIONG H G, WANG Z H. Advanced avionics integration

- techniques [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2009.)
- [2] IEEE 802.1 AVB Task Group. IEEE 802.1 Audio/Video Bridging (AVB) [R/OL]. (2012-11-01) [2015-09-20]. Available: <http://www.ieee802.org/1/pages/avbridges.html>, 2012.
- [3] IEEE. IEEE standard for layer 2 transport protocol for time sensitive applications in a bridged local area network [S]. New York: IEEE Standards, 2011: 1-57.
- [4] GEYER F, HEIDINGER E, SCHNEELE S, et al. Evaluation of audio/video bridging forwarding method in avionics switched Ethernet context [C]//IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2013: 000711-000716.
- [5] HEIDINGER E, GEYER F, SCHNEELE S, et al. A performance study of audio video bridging in aeronautic Ethernet networks [C]//The 7th IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems, 2012: 67-75.
- [6] ALDERISI G, CALTABIANO A, VASTA G, et al. Simulative assessments of IEEE 802.1 Ethernet AVB and Standards time-triggered Ethernet for advanced driver assistance systems and in-car infotainment [C]//IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), 2012: 187-194.
- [7] ARINC Specification 664: aircraft data network, part 7-Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) network [S]. Annapolis: Aeronautical Radio Inc, 2005.
- [8] IEEE. IEEE Std 802.1AS-2011; IEEE standard for local and metropolitan area networks—timing and synchronization for time-sensitive applications in bridged local area networks [S]. New York: IEEE Standards, 2002: 1-48.
- [9] IEEE. IEEE Std 802.1 Qat: IEEE standard for local and metropolitan area networks, virtual bridged local area networks, amendment 14; Stream Reservation Protocol (SRP) [S]. New York: IEEE Standards, 2010: 1-5.
- [10] STEINBACH T, LIM H T, KORF F, et al. Tomorrow's in-car interconnect? A competitive evaluation of IEEE 802.1 AVB and time-triggered Ethernet (AS6802) [C]//IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), Piscataway, New Jersey: IEEE Press, 2012: 1-5.
- [11] IEEE. IEEE 802.1 Qav: IEEE standard for local and metropolitan area networks, virtual bridged local area networks, amendment 12; forwarding and queuing enhancements for time-sensitive streams [S]. New York: IEEE Standards, 2009: 1-17.
- [12] MEYER P, STEINBACH T, KORF F, et al. Extending IEEE 802.1 AVB with time-triggered scheduling: a simulation study of the coexistence of synchronous and asynchronous traffic [C]//IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), 2011: 67-72.
- [13] SCHNEELE S, GEYER F. Comparison of IEEE AVB and AFDX [C]//IEEE Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2012: 1-24.
- [14] ALDERISI G, PATTI G, BELLO L. Introducing support for scheduled traffic over IEEE audio video bridging networks [C]//IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2013: 1-9.
- [15] SUETHANUWONG E. Scheduling time-triggered traffic in TTEthernet systems [C]//IEEE 17th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2012: 1-4.
- [16] IEEE 802.1 TSN Task Group. IEEE 802.1 Qbv-enhancements for scheduled traffic [R/OL]. (2015-09-07) [2015-09-20]. <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1bv.html>, 2012.
- [17] HILLEBRAND J, RAHMANI M, BOGENBERGER R, et al. Coexistence time-triggered and event-triggered traffic in switched full-duplex Ethernet networks [C]//IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems, 2007: 217-224.
- [18] STEINER W. TTEthernet specification [R/OL]. (2008-11-21) [2015-09-20]. <http://www.tttech.com>, 2008.

Abstract: The demand for audio/video applications in avionics network is increasing rapidly. There are highly requirements for network bandwidth and quality of service. Audio/Video Bridging (AVB) technology can provide a synchronized and low-latency audio/video service in traditional Ethernet network, and therefore it has received attention in avionics applications. On the basis of analyzing AVB protocol, a time-triggered AVB transmission mechanism is proposed with the real-time guarantee and a traffic mapping model for message exchange in avionics network. The system architecture of AVB is constructed as a case study for an integrated avionics system. The simulation results indicate that the time-triggered AVB is expected to meet transfer needs in DIMA and is superior to AFDX.

Key words: avionics network; Audio Video Bridging (IEEE802.1 AVB); time-triggered; real-time