

机载客舱无线化网络方案研究



陈祥*,李宇,王洪全

中电科航空电子有限公司,四川 成都 611731

摘 要:现代民航飞机大都是封闭式环境,和外界相隔离,乘客难以接入互联网。本文针对客舱乘客上网场景,提出机载客舱乘客电子设备接入互联网的具体网络架构和通信方式,并通过NS-2仿真软件进行网络架构承载能力测试。试验结果表明,该方法可以基本满足乘客的上网需求。

关键词:客舱上网;客舱无线化;地空宽带;卫星宽带;网络仿真

中图分类号:V243

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2020.06.006

互联网通信已经成为人们生活中的必备通信方式,人们越来越离不开互联网^[1]。随着生活节奏的加快,越来越多的商务人士为了节约时间,开始选择飞机作为主要出行工具。这就导致越来越多的人开始投入到民航业中,这无疑会增加民航业的竞争力。但是现有的飞机几乎都是一个全封闭的空间,很少能和外部进行通信。这就降低了乘客的飞行体验,造成了商务人士间接的经济损失。为了提高行业的竞争力,航空公司的飞机上若能够接入互联网,无疑会从众多民航企业中脱颖而出,进而形成企业和乘客双赢的局面。

为了达到双赢的目的,有必要在飞机上安装能和外部通信的设备。但是在安装设备的同时,必须考虑到很多因素^[2-5],如重量(质量)、安全性、经济性、适航性,设备如何布置和设备之间如何进行通信等。

就设备之间的通信方式而言,有有线和无线两种方式。有线连接安全可靠,传输稳定,但是需要在已经有限的飞机空间中为电线和电缆提供足够的空间,同时电缆和电线会增加飞机的重量,增加重量对航空公司来说是非常不愿意做的一件事^[6]。无线连接最大的优点是可以减少布线,非常灵活,但最大的缺点是连接不可靠,可能会存在频段的干扰并会伴随有瑞利衰落和莱斯衰落等显著的衰落现象,使得传输质量不高^[7]。同时,航空公司经常改变飞机使用的航线和飞机的机票等级配置,这就需要改变座椅位置。当客舱内实现无线化时,会使改装非常方便^[8]。

为了实现最优化的解决方案,本文提出有线和无线的混合方式。在客舱头部顶端的合适位置放置收发天线模块,进行乘客电子设备和天线模块之间的无线传输,天线模块和主服务器、交换机之间使用有线连接,以实现系统的稳定性和传输的可靠性。

1 机载宽带网络实现原理

互联网技术的快速发展,使得各项技术逐渐走向成熟,因此也促进了民航飞机上无线网络技术的进步。飞机和外部通信的方式主要有两种:一种是基于地面蜂窝基站的互联网接入技术;另一种是基于卫星的互联网接入技术^[3-4,9-11],每种技术各有优劣。

1.1 基于LTE的地空宽带接入技术

该技术主要是在飞机飞行的航线下建设相应的地面基站,在基站上架设大功率的对空天线来实现和飞机间的通信。该技术具有高带宽、低时延、低资费的优点。在国内航班的飞机上,可以采用这种地空宽带接入技术。

但是,飞机和基站之间的通信仍存在很多尚未解决的难题。为了能尽可能好地提高乘客的通信质量,本文引入电信中用于手机等可移动设备的高速无线通信标准长期演进(LTE)技术。LTE技术中引入了正交频分复用(OFDM)和多输入多输出(MIMO)等关键技术,可以显著地提高通信的质量,增加频谱效率和数据传输的速率。另外该技术支持多种带宽分配,使得频谱分配更加灵活^[12-13]。采用此

收稿日期:2020-03-10; 退修日期:2020-03-26; 录用日期:2020-04-13

*通信作者:Tel.:13880713459 E-mail:chenxiang@cetca.net.cn

引用格式:Chen Xiang, Li Yu, Wang Hongquan. Research on aircraft cabin wireless network scheme[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(06):35-41. 陈祥, 李宇, 王洪全. 机载客舱无线化网络方案研究[J]. 航空科学技术, 2020, 31(06):35-41.

方法将LTE信号通过基站天线发射,由飞机腹部的天线接收,将接收信号传送至客舱的相关服务器。由于陆地情况复杂,当天气恶劣或飞机出现突发情况要切换航线时,这就会使飞机腹部收发天线接收到的无线信号非常差,从而影响乘客的上网体验。

当飞机为国际航班时,使用地空宽带接入技术显然是不实际的。而相对国内航班而言,国际航班的乘客更需要互联网服务,因此就有必要找到一种适合国际航班的无线接入技术。

1.2 基于Ka波段的卫星宽带接入技术

在早期,地面可以通过工作在L波段的卫星与飞机驾驶舱之间进行语音通信,这种通信对带宽的要求较低,但由于客舱对带宽的要求非常高,所以该波段不适合于客舱和卫星之间的通信频段。随着航天事业的迅速发展,具有Ku/Ka波段的卫星相继上天,由于Ku/Ka波段具有大带宽,这就使得客舱通过卫星接入互联网成为可能。将成熟的卫星通信技术、无线网络技术和飞机相关技术结合起来,可使飞机通过卫星接入到互联网。

与Ku波段相比,Ka波段卫星使用QPSK、8PSK、16APSK等高阶调制技术,可有效提高频带利用率和传输速率;运用蜂窝状多波束特征天线,可有效提高卫星频道效率、系统收发性能、有效辐射功率等;Ka波段卫星上使用了功率动态分配器;采用了高效的抗雨衰技术;使用了自适应技术,可以根据天气状况自动设定编码格式。这些技术使得Ka卫星的通信能力大幅提升。因此,飞机客舱通过Ka波段卫星接入互联网必将逐渐成为主流。

基于卫星的无线网路系统主要由乘客移动设备、AP接入点、机载服务器、机载天线模块、卫星系统、地面基站、地

面服务器组成。机载天线模块将乘客数据发送给卫星。当飞机进行长途飞行时,卫星可能覆盖不到中国,这就需要卫星之间进行数据转发,卫星将信号处理后发送给中国相应的陆地基站,通过陆地基站接入互联网。

2 机载无线网络融合方案

本文提出一种用户友好、集成视频、音频和数据的传输系统。该系统由客舱娱乐系统单元、客舱服务控制单元、其他控制单元、主交换机、辅助交换机和天线模块组成。具体连接框图如图1所示。

客舱娱乐系统单元包括用来存储视频/音频数据的存储器,以及用于实时读取和输出数据信号的服务器。在该服务器内嵌入了一个操作软件来接收和处理来自乘客的命令和数据的发送。客舱娱乐系统单元作为一个高吞吐量的服务器,能够满足数百人对视频/音频服务的需求。客舱服务控制单元连接到辅助交换单元上,可以让每一个乘客打开/关闭阅读灯,或可以呼叫乘务员等的操作。其他控制单元用来控制乘务员面板之间的通信,并且也可以控制乘务员之间的互通电话等。

主交换单元是一个千兆以太网交换机,具有足够的端口和吞吐量,用来将用户的控制命令传输给客舱娱乐系统单元,并将客舱娱乐系统单元输出的数据传输到相应的位置上。辅助交换单元也是一个以太网交换机,用于控制和客舱娱乐系统无关的信号流。天线模块用来对数据进行相关的编码,并输出到相应的乘客座位上或接受乘客的命令。

考虑到冗余性,本文提出客舱无线化具体布置的两种方案。

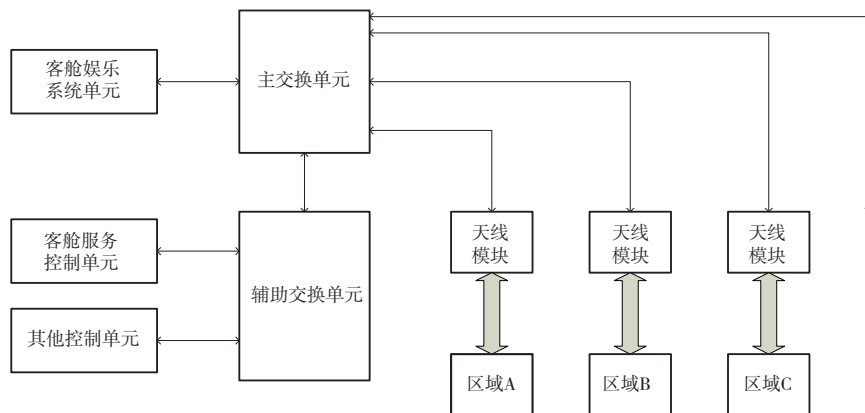


图1 系统连接框图

Fig. 1 System connection diagram

(1) 每一个圈代表一个天线射频可以到达的范围, 每个蓝圈之间相切, 每个红圈之间相切。这样做的好处是可以节约频谱资源, 每一个蓝圈内的天线可以共用一个频率而互相之间不会干扰; 同样, 为了避免干扰, 红圈和蓝圈内的天线频率不能相同。这样, 当某一个天线故障时, 用户可以临时切换到另一个网络, 从而尽可能小地影响用户的通信体验, 如图2所示。

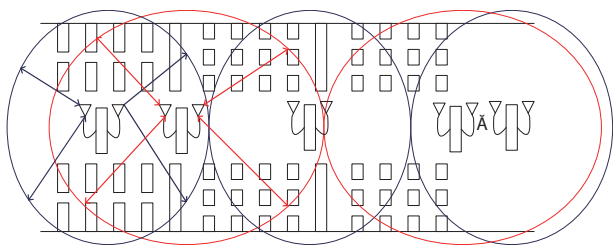


图2 客舱无线化具体布置图(1)

Fig. 2 Detailed layout of cabin wireless(1)

为了获得最佳的通信效果, 在接入AP之前, 乘客可自行选择接入哪一个AP, 或由用户电子设备软件自动选择最佳AP接入点(现在很多电子设备已经可以做到这一点)。

(2) 每一个区域放置两个天线模块, 但是使用时每次只使用一个天线模块。当一个区域的天线模块故障时, 马上启用另一个天线模块, 这时乘客会暂时断开网络, 备用天线模块重启后乘客才能重新接入互联网。此方案的优点是: 由于每个区域相切, 各个区域的频率不会相互干扰, 因此只需要一个频率就可以实现全舱的WIFI覆盖。同时, 和第一个方案相比, 每次工作的天线模块数量减少将近一半, 可以达到省电的目的。缺点是: 由图3可以看出各个舱之间有天线模块死角, 当乘客处在天线模块的死角时, 网络质量大大降低甚至没有信号, 并且和第一个方案相比, 增加了天线模块的数量, 从而增加了飞机的重量。飞机重量增加的同时还可能使得每一个AP节点的负载增大, 这就出现丢包率较高等现象, 影响用户的上网体验, 如图3所示。

每一位乘客可以使用自己的电子设备(如笔记本电脑、手机、平板电脑等), 也可以使用客舱自带的电子设备。首先, 将乘客自己的电子设备或客舱自带的电子设备与AP进行无线连接, 并完成初始化, AP为每一个设备分配唯一的IP地址, 然后自动弹出预先设计好的操作界面; 只有在该操作界面上, 乘客才可以进行视频/音频点播或进行Internet/Email的操作, 以确保数据安全。

每一个座位上都配有一个无线耳机, 可用来接收广播、音频, 也可以是正在被客舱娱乐系统单元传输的视频信号

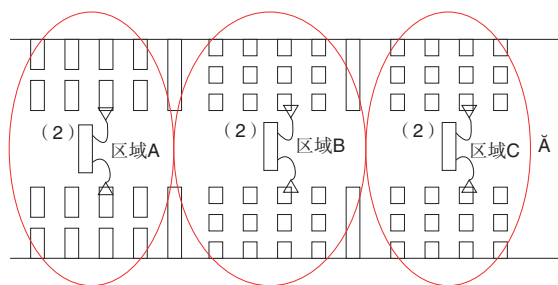


图3 客舱无线化具体布置图(2)

Fig. 3 Detailed layout of cabin wireless(2)

中的音频信号。该无线耳机包括音量控制键、通道选择键。音频播放必须有优先级, 当乘客正在听音乐时, 乘务员突然要广播信息, 此时将立即打断相关工作, 并接收乘务员广播信号。例如, 乘客发送观看视频的命令后, 该命令由主交换单元传送到客舱娱乐系统单元, 客舱娱乐系统单元首先解析出相应的地址, 然后将视频封装上地址信息, 发送到主交换单元, 由主交换单元传送到相应的区域, 并进行无线传输。

客舱娱乐系统单元可以对要输出的数据进行MIMO-OFDM编码, MIMO-OFDM编码的无线数据信号可以有效地从包含不同延迟、振幅和基于时间的变化的众多间接波中复制出原始信号。

在传输时, 采用UDP协议, UDP在发送和接收系统之间不需要“握手”, 并且UDP通常可以通过消除连接状态需求为特定应用程序提供更活跃的客户端服务。使用UDP传输数据的速度通常更快, 此外, UDP的每个数据段的头开销较小。

耳机内嵌有数据同步器, 以使选定的音频通道与想用的视频数据包同步; 数模转换器将数字信号转换为模拟信号放大后送入耳机。

在进行无线传输时, 有显著的瑞利衰落等的信号衰落, 降低用户接收到的视频/音频信号的质量; 此外, 来自座位、乘客、机组人员等的信号阻塞也会降低信号质量。为了最小化信号衰落和阻塞的影响, 客舱娱乐系统单元可以包括射频衰落映射子系统。每个座椅或座椅组可以包含一个子系统, 用于测量和传输位于子系统附近的射频信号特征, 进而选择最优的正向误差修正, 从而提高视频/音频信号的质量。

3 客舱网络架构承载能力测试

由于飞机一般分为商务舱和经济舱两种, 通过上述两种客舱无线化具体布置图可以看出, 对于相同机型的商务舱而言, 无线AP的负载几乎是一样的, 但对于经济舱而言,

方案一有4个无线AP,而方案二只有2个无线AP,因此方案一的无线AP负载明显小于方案二。但当飞机的客舱位置较少时,使用方案二时每个无线AP的负载也不会太大,可以满足乘客的上网要求,同时还能达到省电的目的。

根据以上架构,本文选择波音787型飞机的客舱进行无线网络仿真,由于波音787的商务舱一般为30个座位,经济舱约有250个座位,因此本文选择方案一来进行无线网络仿真,测试卫星宽带接入技术是否能基本满足乘客的上网需求。

基于波音787,利用NS-2网络仿真软件进行客舱网络架构的承载能力测试及约束条件分析。波音787上5部AP与交换机相连,再通过交换机连接到客舱娱乐系统单元,基本网络结构可以通过图4无线网络仿真节点拓扑图的仿真实现。其中节点0~4为无线AP,节点5为主交换单元(网关),节点6为客舱娱乐系统单元,节点7为通信卫星。为达到仿真的真实性,需要设置与现实环境相关的背景参数。飞机上的无线上网功能,主要通过Ku波段卫星,其理想总带宽为50MB/s,而实际值为32MB/s,5部AP一般情况下负责60人区域的上网需求,而一部客舱娱乐系统单元则负责与5部AP通信,客舱娱乐系统(节点6)与通信卫星(节点7)之间的传播时延设定为200ms,将节点6到节点7传播时延设定较大的原因是模拟真实环境下距离的因素,弥补NS-2各节点间距较小的不足,因此放大了传输时延,但不会影响仿真结果中反映出的实际乘客上网情况。

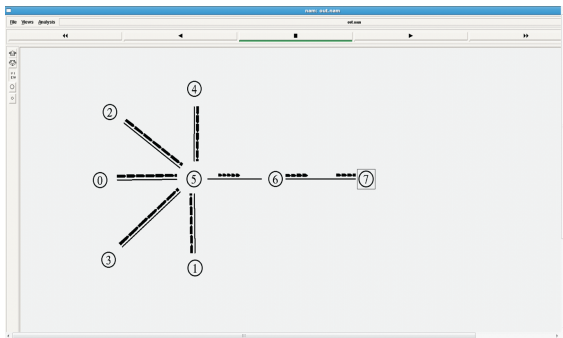


图4 无线网络仿真节点拓扑图

Fig. 4 Wireless network simulation node topology

为使仿真结果更接近真实环境,我们将客舱无线网络环境分为三种场景进行仿真:(1)轻流量应用场景:此场景下5个AP覆盖区域内的乘客主要以浏览网站、文字聊天、看文字新闻为主,每位乘客平均产生的流量小于100KB/s,5部AP区域下的总流量业务小于20MB/s;(2)中流量应用场景:此场景下,5个区域内的乘客大部分以文字业务为主,

一部分观看视频流、收听音频等,此时,每位乘客的平均流量大约为300KB/s,5部AP所管辖区域的总吞吐量,在30MB/s左右;(3)重度流量应用场景:此场景下,5个区域内的用户主要以收看视频流、收听音频为主,此时每个用户的平均的流量达到500KB/s,总带宽达到瓶颈链路带宽。

(1) 轻流量应用场景

当5个区域内的乘客都以文字等低流量业务为主时,平均每个乘客产生的流量大约为100KB/s,使用相对稳定的cbr流,设定仿真时长为10s,通过采集节点6与7之间的网络延迟、吞吐量和丢包率情况见图5~图7),反映此情况下的机载无线网络的性能。

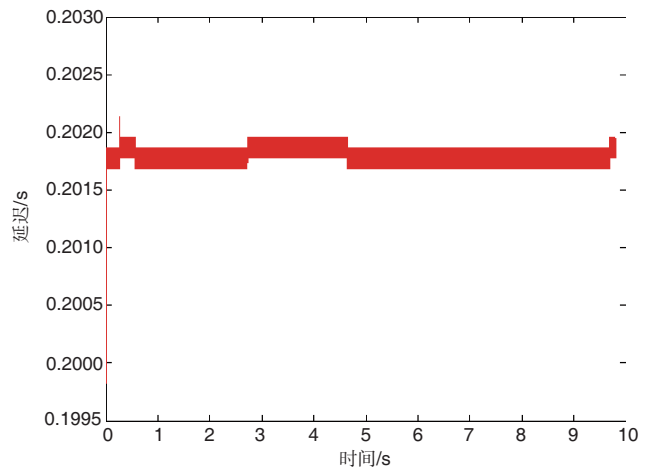


图5 轻流量应用场景下节点6、7之间的网络延迟

Fig. 5 Network delay between 6 and 7 in light traffic scenario

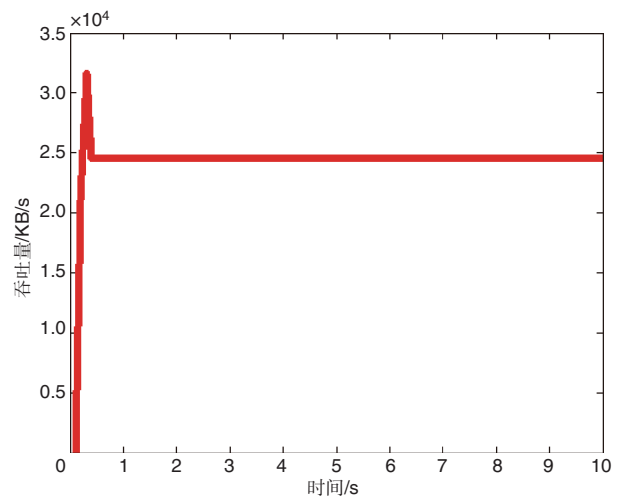


图6 轻流量应用场景下节点6、7之间的吞吐量

Fig. 6 Throughput between 6 and 7 in light traffic scenario

从图5~图7中可以看出,在低流量场景下,网络延时与既定延时接近,在200ms左右,没有发生较明显波动;吞吐

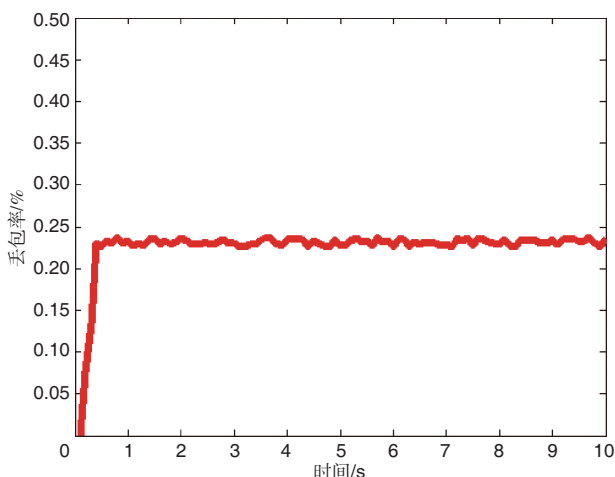


图7 轻流量应用场景下节点6、7之间的丢包率

Fig. 7 Packet loss rate between 6 and 7 in light traffic scenario

量基本稳定,达到理论值。丢包率也很低,在0.24%左右,基本不会影响乘客上网需求。因此,可以得到,在轻流量应用场景下,机载无线网络能无负担地满足乘客的上网需求。

(2) 中流量应用场景

在5个区域内的乘客多数进行文字业务、少数看视频听音频的中流量场景下,平均每名乘客产生的数据量大概为300KB/s,设定仿真时长为10s,同样适用cbr流,用于描述卫星向乘客发送的文字及多媒体等数据流。

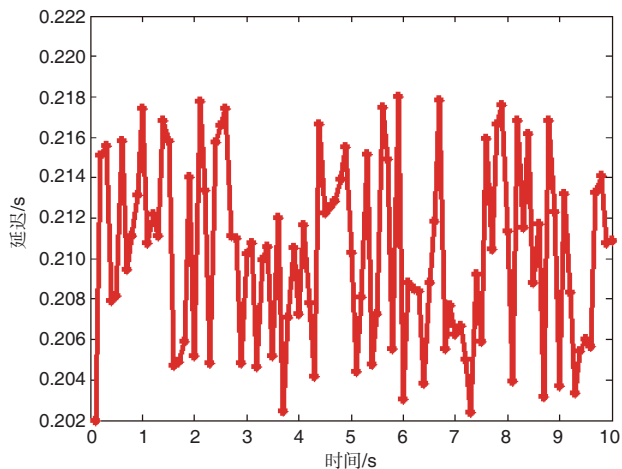


图8 中流量应用场景下节点6、7之间的网络延迟

Fig. 8 Network delay between 6 and 7 in medium traffic scenario

由图8~图10可以看出,在中流量场景,网络的总体延迟出现波动,延迟数值在0.20~0.22s之间;吞吐量接近理论瓶颈链路带宽32MB/s,丢包率平均达到0.4%左右,若再增加网络流量,将产生网络拥塞。因此,中等级流量业务会使无线网络的

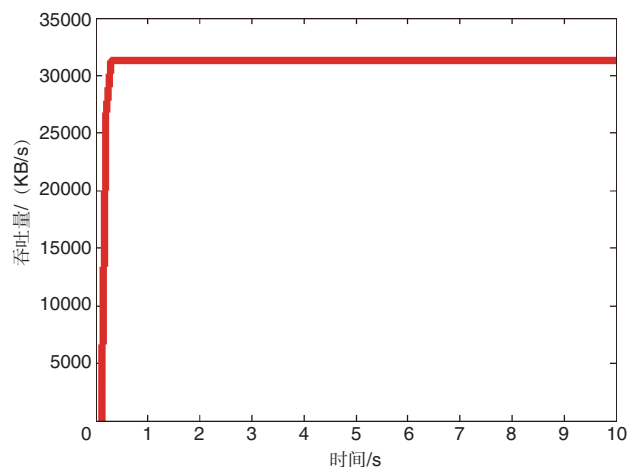


图9 中流量应用场景下节点6、7之间的吞吐量

Fig. 9 Throughput between 6 and 7 in medium traffic scenario

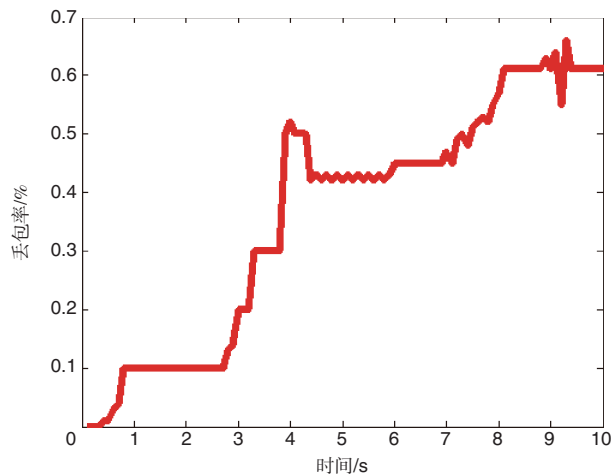


图10 中流量应用场景下节点6、7之间的丢包率

Fig. 10 Packet loss rate between 6 and 7 in medium traffic scenario

服务质量降低,网络也会出现波动性,但仍能保证乘客的日常上网需求。

(3) 重度流量应用场景

在5个AP覆盖的区域内,乘客以看视频居多,也有少数浏览文字时,此时处于高等级流量场景下,平均每位乘客产生的数据量约为500KB/s,总流量超过瓶颈链路带宽。设定仿真时长为10s。

从图11~图13可以看出,网络总承载量较之前有了较大幅度上升,网络延迟也有所增加,平均在0.24s,除了距离造成的延迟外还有其他处理延迟造成影响;吞吐量处于饱和状态,基本占满总带宽;丢包率也增加较大,基本在5%左右,这使得网络环境恶化,乘客上网加载速度变慢。这种高

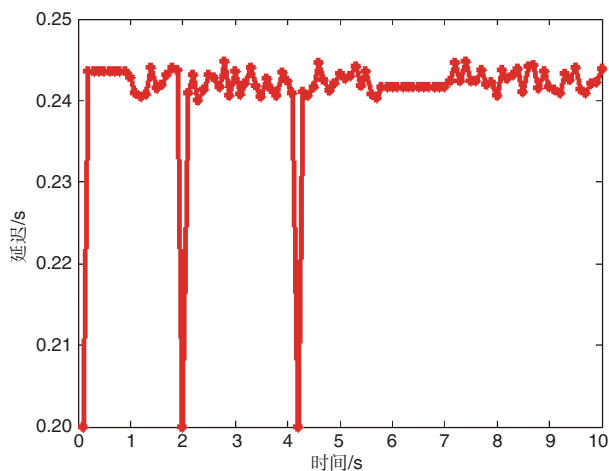


图 11 重度流量应用场景下节点6、7之间的网络延迟

Fig. 11 Network delay between 6 and 7 in heavy traffic scenario

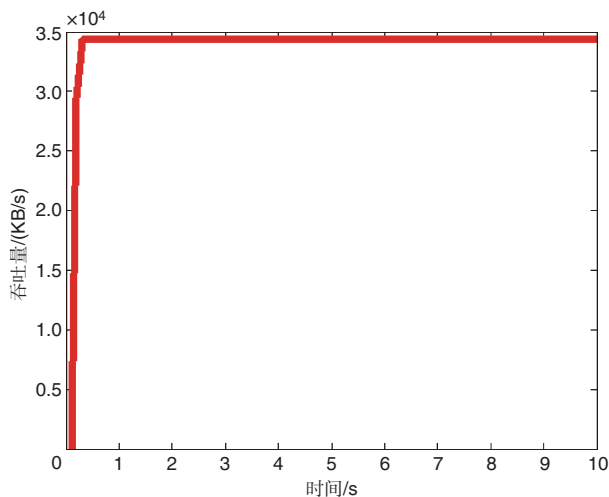


图 12 重度流量应用场景下节点6、7之间的吞吐量

Fig. 12 Throughput between 6 and 7 in heavy traffic scenario

等级流量场景下,客舱娱乐系统单元会出现过载的现象,机载无线网络满足所有乘客的上网请求略显吃力。

由于并非所有的机上乘客都有上网的要求,加之机载娱乐系统自带的、已经缓存在机上服务器的娱乐项目可供乘客选择;同时,基于Ka波段的卫星通信比基于Ku波段的卫星通信具有更宽的带宽、更高的传输速率等很多优点,因此,基于Ka/Ku波段的卫星宽带接入技术可以基本满足乘客的上网需求。

4 结束语

本文提出一种各个模块之间有线连接,乘客电子设备

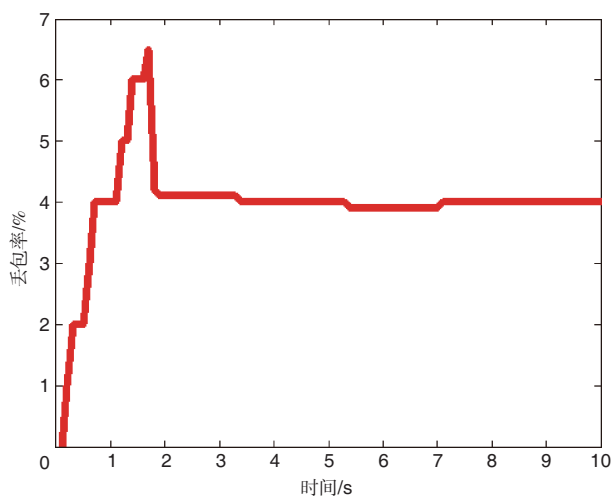


图 13 重度流量应用场景下节点6、7之间的丢包率

Fig. 13 Packet loss rate between 6 and 7 in heavy traffic scenario

和数据收发天线模块之间无线连接的融合系统,通过进行客舱网络架构承载能力的测试,验证卫星宽带接入技术可以基本满足乘客在客舱的互联网接入服务。针对在客舱内天线模块的布置,本文提出了两种可实行方案,这两种方案各有优缺点,通过分析每个架构的优缺点,可供制造商综合考虑,来达到最佳效果。

AST

参考文献

- [1] 许昉. 无线光通信技术在民用飞机客舱系统领域的应用[J]. 科技信息, 2013(20):393-395.
Xu Fang. The application of wireless optical communication technology in the field of civil aircraft cabin system[J]. Scientific and Technological Information, 2013(20): 393-395. (in Chinese)
- [2] 孙欢庆. 民用飞机综合航电系统技术发展研究[J]. 航空科学技术, 2010(3):6-8.
Sun Huanqing. Research on integrated avionics system of civil aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2010(3): 6-8. (in Chinese)
- [3] 魏麟. 航空移动卫星业务通信信道模型及性能研究[J]. 航空科学技术, 2007(5):30-34.
Wei Lin. A simulation study of aeronautical mobile satellite services communication channels and performance[J]. Aeronautical Science & Technology, 2007(5):30-34. (in Chinese)
- [4] 曹贺, 陈元琳. 基于移动互联的航空科技信息服务平台及其

- 架构研究[J]. 航空科学技术, 2019(4):56-60.
- Cao He, Chen Yuanlin. Study of aviation science & technology information service platform and architecture based on mobile internet[J]. Aeronautical Science & Technology, 2019(4):56-60. (in Chinese)
- [5] 涂顺国, 吴剑, 张东豪. 飞机通信系统内的中低频干扰抑制研究[J]. 南昌航空大学学报(自然科学版), 2012, 26(3):103-108.
- Tu Shunguo, Wu Jian, Zhang Donghao. Research on low-frequency interference rejection in airplane communication system[J]. Journal of Nanchang Hangkong University(Natural Sciences), 2012, 26(3): 103-108. (in Chinese)
- [6] Harman R M. Wireless solutions for aircraft condition based maintenance system[C]//Aerospace Conference, 2002.
- [7] Folden D, Jackson T, Panique M, et al. An aircraft cabin wireless system for games and video entertainment[J]. Computers in Entertainment, 2007, 5(1):7.
- [8] 杨光耀. 一例客舱无线局域网(WIFI)系统设计改装探讨[J]. 山东工业技术, 2014(7):22-23.
- Yang Guangyao. A case of modification on aircraft cabin of WIFI wireless network system[J]. Shandong Industrial Technology, 2014(1):22-23. (in Chinese)
- [9] Wu J, Yuan S, Zhou G, et al. Design and evaluation of a wireless sensor network based aircraft strength testing system [J]. Sensors, 2009, 9(6):4195-4210.
- [10] Kaouris A, Zaras M, Revithi M, et al. Propagation measurements inside a Boeing737 aircraft for in-cabin wireless networks[C]// Vehicular Technology Conference, 2008.
- [11] Buga W J. Systems and methods for delivery of wireless data and multimedia content to aircraft[P]. US Patent US200900708 41A1, 2009:1-10.
- [12] Díaz N R, Esquitino J E J. Wideband channel characterization for wireless communications inside a short haul aircraft[C]// IEEE Vehicular Technology Conference, 2004.
- [13] Armstrong N L, Antar Y M M. Investigation of the electromagnetic interference threat posed by a wireless network inside a passenger aircraft[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2008, 50(2):277-284.
- (责任编辑 陈东晓)

作者简介

陈祥(1981-)男, 硕士。主要研究方向: 机载卫星通信系统。

Tel:13880713459 E-mail: chenxiang@cetca.net.cn

李宇(1988-)男, 学士。主要研究方向: 飞机加改装设计。

E-mail: liyu@cetca.net.cn

王洪全(1986-)男, 硕士。主要研究方向: 机载卫星通信系统。

E-mail: wanghq@cetca.net.cn

Research on Aircraft Cabin Wireless Network Scheme

Chen Xiang*, Li Yu, Wang Hongquan

China Electronics Technology Avionics Co., Ltd., Chengdu 611731, China

Abstract: Nowadays, civil aircraft are mostly enclosed environment, which is isolated from the outside world. In this paper, the specific network architecture and communication mode of cabin passenger electronic devices connected to the Internet are proposed for passenger connectivity, and the carrying capacity of the network architecture is tested by NS-2 simulation software. Experimental results show that this method can basically meet the needs of passengers on the Internet.

Key Words: cabin connectivity; wireless cabin; ground-to-air broadband; satellite broadband; network simulation

Received: 2020-03-10; Revised: 2020-03-26; Accepted: 2020-04-13

*Corresponding author. Tel.: 13880713459 E-mail: chenxiang@cetca.net.cn