

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.11.025

# 民用航空通信技术现状与发展\*

王志明\*\*,曾孝平,黄杰,刘学

(重庆大学通信工程学院,重庆 400044)

**摘要:**VHF 频段日益拥塞,航空旅客通信需求不断增加。首先,从陆地空域、机场场面和跨洋/偏远地区空域几种航空通信场景介绍了航空通信技术的发展现状,阐述了航空移动(航路)服务和旅客通信服务的发展现状和趋势;其次,结合国内外研究情况,总结了民用航空通信技术的发展趋势和面临的挑战;最后,给出了航空移动通信发展的相关建议。

**关键词:**民用航空;航空通信;航空旅客通信服务;移动通信;因特网

**中图分类号:**TN92;V11 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)11-1537-08

## Situations and Developments of Mobile Communication Technologies for Civil Aviation

WANG Zhi-ming, ZENG Xiao-ping, HUANG Jie, LIU Xue

(College of Communication Engineering, Chong Qing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:**VHF(Very High Frequency) spectrum band is becoming more congested and the capacity demand of aeronautical personal communication(APC) is increasing. First, this paper presents current status of aeronautical communication technologies from the scenes including continental domain, oceanic/remote domain and airport surface domain, and elaborates the developments and trends of aeronautical mobile route services and APC services. Then, it summarizes the orientations and challenges of aeronautical communication technologies according to the research projects at home and abroad. Finally, it gives some suggestions for aeronautical mobile communication developments.

**Key words:**civil aviation; aeronautical communication; APC service; mobile communication; Internet

### 1 引言

20 世纪 40 年代,航空通信普遍采用甚高频(Very High Frequency, VHF)模拟语音通信系统,1947 年国际民航组织的成立和同年在亚特兰大召开的世界无线电通信大会将 VHF 频段(118 ~ 132 MHz)也划为航空移动(航路)服务使用,标志着航空 VHF 通信的标准和惯例的形成<sup>[1]</sup>。

20 世纪 70 年代,飞机通信寻址与报告系统(ACARS)的出现和普及标志着航空甚高频数据链的事实标准形成<sup>[2]</sup>。随后,演进甚高频数据链 VDLs

(VHF Data Link 1/2/3/4)依次被提出。为提高系统容量,1979 年世界无线电大会将航空移动(航路)服务频段扩展至 117.975 ~ 137.000 MHz,并不断减小信道间隔,到目前为止,信道间隔已经达到了最小值 8.33 kHz。2003 年,国际民航组织空中导航第 11 次会议作出了为满足不断发展的空中交通管理需求,航空移动通信基础架构必须演进以提供足够的容量和服务质量及新功能的决议<sup>[3]</sup>。随之,欧洲航空安全组织和美国联邦航空管理局启动了 Action Plan 17(AP17)计划,从 2004 年到 2007 年,在调研

\* 收稿日期:2013-08-07;修回日期:2013-11-06 Received date:2013-08-07;Revised date:2013-11-06  
基金项目:国家自然科学基金资助项目(61171089)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No. 61171089)

\*\* 通讯作者:jamewzm@163.com Corresponding author:jamewzm@163.com

评估现有航空通信技术的基础上,建议:机场场面采用基于 802.16e 标准 AEROMACS 方案;跨洋/偏远空域采用卫星通信;陆地空域采用 L-DACS(L-band Digital Aeronautical Communication System),未来陆地空域的最终建议方案需要根据 L-DACS1/2 实验测试评估结果做最后选择<sup>[4]</sup>。这些建议方案被用于欧洲单一天空和美国新一代航空运输系统计划项目的部署中。

本文以民用航空通信链路系统为基础,综述了不同的航空通信区域的通信及监视技术和主要航空通信业务的发展现状,并列表对不同类型的通信技术进行了对比分析,最后对民用航空通信技术的发展方向和面临的挑战进行了评述。

## 2 民用航空通信技术现状

民用航空通信按起飞、飞行和降落阶段可分为 3 个区域的通信:陆地空域区域、机场场面区域和跨洋/偏远地区空域区域的通信等。按服务可分为:空中交通服务,用于控制在一定空域内飞行,包括空中交通管制、航空移动(航路)服务等;航空公司运营和管理服务,用于航空公司的商业运营与管理通信;航空旅客通信服务。

### 2.1 陆地空域通信

#### 2.1.1 航空短波通信

短波通信是最早的航空通信方式,采用单边带模拟调制方式。短波通信通过电离层反射进行远距离通信,能够支持跨洋和偏远地区的通信覆盖。短波数据链采用 2.7 kHz 的信道间隔和时分双工,峰值速率为 300 ~ 1 800 b/s,用以承载跨洋或偏远地区的航空移动(航路)服务。短波通信多径严重、多普勒频移大、延迟大(达 2 min)、频谱拥挤、干扰严重、数据传输正确率低(不到 80%),造成短波通信的可用性和可靠性不高。目前,航空短波通信主要用于跨洋或极地等 VHF 系统没有覆盖的区域,在卫星通信或 VHF 系统不可用时提供飞机位置报告等航空移动(航路)服务<sup>[5]</sup>。

#### 2.1.2 VHF 模拟语音通信

航空 VHF 模拟语音系统最初采用双边带模拟语音调制和 200 kHz 的信道间隔,可以提供 70 个信道,随后 100/50/25/8.33 kHz 的信道间隔依次被采用以提高容量。截至 2012 年,大多数国家已经采用 25 kHz 的信道间隔,欧洲部分地区已经采用

8.33 kHz 的信道间隔。

航空 VHF 模拟语音系统提供广播语音服务和飞行员管制员之间的语音通信,是主要的航空语音调度通信方式。欧洲航空安全组织和美国联邦航空管理局的合作研究指出,在固有的 VHF 频段内,纵使采用 8.33 kHz 信道间隔或 VDL3 等数据链承载语音通信,到 2020 年左右,很多高密度飞行区域 VHF 频段也会完全饱和<sup>[4]</sup>。

#### 2.1.3 甚高频数据链(VDL)

航空数据链系统(VDLs)用于提供常规空中交通服务信息,如气象和压力情报、自动终端情报服务、飞行阶段报告和管制员飞行员数据链服务等。航空 VHF 数据链系统有 VDL0、VDL1、VDL3 和 VDL4 4 种。VDL0,即 ACARS,采用幅度调制的最小频移键控,25 kHz 信道间隔,信息传输速率为 2.4 kb/s,数据率为 300 b/s<sup>[1]</sup>。VDL1 是为提升 ACARS 服务质量提出的,并没有部署应用就被 VDL2 代替。VDL2 采用 25 kHz 带宽,8DPSK 调制,信息传输速率最高为 31.5 kb/s,兼容 ACARS,实际使用中,为避免共信道干扰,VDL2 信道两侧的信道不能传输语音信号<sup>[6]</sup>。VDL3 采用 8DPSK 和时分多址技术,支持数据突发和话音突发业务,信息传输速率最高为 31.5 kb/s。由于没有说服航空公司安装和使用 VDL3 设备,2004 年,联邦航空管理局放弃了 VDL3 的部署。VDL4 为两个移动站或者一个移动站和一个地面站之间提供甚高频数字通信链路,基于自组织时分多址技术,采用高斯最小频移键控,传输速率为 19.2 kb/s<sup>[7]</sup>。

#### 2.1.4 L 频段数据链系统(L-DACS)

L 频段数据链系统是美国联邦航空管理局、美国国家航空航天局和欧洲航空安全组织开展了未来通信系统研究计划(Future Communication Study, AP17)后提出的未来航空通信在陆地空域的地空数据链系统,实现巡航和终端机动区覆盖。L-DACS 系统规划使用 960 ~ 1 164 MHz 的航空移动航路服务频段,覆盖半径 200 n mile,支持移动速度达 1 080 km/h<sup>[8]</sup>。由于 960 ~ 1 164 MHz 频段已经被测距设备系统、二次监视雷达等现有航空无线电导航监视系统占用,L-DACS 只能使用测距系统的频谱间隔,且不能干扰现有系统的正常工作<sup>[9]</sup>。AP17 计划最终只给出了两个候选的 L-DACS 系统建议:L-DACS1 和 L-DACS2。L-DACS1 以 B-AMC(Broadband Aeronautical Multi-carrier Communication)和 TIA902(P34)标准为基础,基于频分双工和

QPSK、16QAM 和 64QAM 自适应编码调制的正交频分复用技术, 信道带宽为 500 kHz, 子载波数为 64, 有效子载波数为 50, 子载波间隔为 9.765 625 kHz, 循环前缀长度为 17.6  $\mu$ s, 支持覆盖 200 n mile 的覆盖范围, 前向链路期望使用 985.5 ~ 1 008.5 MHz 的 DME 系统频谱间隔, 反向链路期望使用 1 048.5 ~ 1071.5 MHz 频谱段的间隔<sup>[10]</sup>。L-DACS2 以 LDL(L-band Data Link) 和 AMACS(Aeronautical Mobile All-purpose Communication System) 为基础, 基于时分双工和 GMSK, 带宽为 200 kHz, 调制系数为 0.5, 时延带宽积为 0.3, 期望使用 960.5 ~ 975 MHz 的频段<sup>[11]</sup>。

针对 L-DACS 与现有系统的电磁兼容性问题, 欧洲航空安全组织、日本电子导航研究中心等从航空场景建模、干扰消除等方面研究了 L-DACS 与现有系统的相互干扰, 最后对 L-DACS 系统如何满足电磁兼容性要求的方法和策略进行了研究<sup>[12-13]</sup>。截止到 2013 年, 欧洲航空安全组织和联邦航空管理局等已经开展大量实验测试研究 L-DACS1/2 与现有航空导航监控系统的兼容性, 但 L 频段最终低空数据链的建议方案还依赖于 L-DACS1 与 L-DACS2 的最终综合实验测试结果<sup>[14]</sup>。陆地空域各通信技术总结对比如表 1 所示。

表 1 陆地空域航空通信技术对比

Table 1 Comparison of aeronautical communications technologies for continental domain

技术名	距离/km	调制	频段/MHz	带宽/kHz	速率/(kb/s)	业务
短波 Voice	500 ~ 2 500	SSB-AM	2.85 ~ 24.89	3	<2.5	ATC, 应急语音
VHF Voice	≤360	DSB-AM	118 ~ 136	25/8.33	2.4(AM-MSK)	ATC, 应急语音
VDL0	≤360	AM-MSK	131.55 ~ 131.85	25	2.4	ACARS
VDL2	≤360	D8PSK	136.575 ~ 136.975	25	31.5	ACARS, AOC 等
L-DACS1	≤370	OFDM+ACM	960 ~ 1 164	500	220 ~ 1 038(RL)/ 303 ~ 1 373(FL)	AM(R)S 等
L-DACS2	≤370	CPFSK/MSK	960 ~ 975	200	270.833(FL+RL)	AM(R)S 等

## 2.2 机场场面通信

### 2.2.1 泛欧数字集群系统

泛欧数字集群系统(Terrestrial Trunked Radio, TETRA)是基于时分多址技术的专业移动通信系统, 采用 25 kHz 信道间隔, 每个射频信道分 4 个时隙, 支持 3 种模式: 语音加数据模式、分组数据优化的模式和直接模式不需基础设施。TETRA 工作频率在 380 ~ 520 MHz 和 806 ~ 866 MHz。

### 2.2.2 机场数据链(ADL)

机场数据链(Airport Data Link, ADL)是德国宇航中心在滑行和起降管理控制项目(TARMAC)框架中提出的先进机场数据链, 用于飞机在起降和滑行中与塔台间的高速大容量通信, 支持 50 km 范围内 300 ~ 500 km/h 的 100 个用户同时在线。TARMAC 采用多载波码分多址技术, QPSK 调制, 8 192 kHz 的系统带宽, 载波间隔为 4 kHz, 正交频分复用符号持续时间为 250 ms, 保护间隔为 10 ms, 扩展长度因子为 8。因此, 最大用户数为 128, 每用户最小速率 128 kb/s, 最大速率 2.048 Mb/s<sup>[15]</sup>。

### 2.2.3 航空移动机场通信系统(AEROMACS)

AEROMACS 是欧洲航空安全组织和联邦航空

管理局在共同开展的 AP17 计划中为提高机场容量和效率提出的未来机场地面通信建议方案, AEROMACS 是基于 802.16e 的安全无线宽带通信系统。AEROMACS 系统使用 5 091 ~ 5 150 MHz 的专属航空移动航路服务系统频段, 物理层和 MAC 层基于 802.16-2009 协议, 除选择时分双工和 5/10/20 MHz 信道带宽及对应的调制编码外, 其余均直接采用 802.16(e) 标准<sup>[16]</sup>。

AEROMACS 主要应用于空中交通管制、航空与气象学信息、航空公司运营管理、机场场面操作与服务 and 机场运营等<sup>[17]</sup>。目前, AEROMACS 标准化工作主要是解决 802.16(e) 在航空环境下实施过程中遇到标准未涵盖的问题, 如同步(前缀长度和同步算法选择)、正交频分接入正交性(大多普勒频移/时钟同步偏移等情况下为保证误码率损失在 0.1 dB 内, 需要动态的频率跟踪方法)、高功率放大器(高峰均比导致的实现问题)、大多普勒频移(5 GHz 频段下最高 296 km/h 速度下的多普勒频移系数(典型值 4)远大于普通场景)<sup>[18]</sup>。机场场面各通信技术总结对比如表 2 所示。

表 2 机场场面航空通信技术对比

Table 2 Comparison of aeronautical communication technologies for airport surface domain

技术名	距离/km	调制	频段/MHz	带宽/MHz	峰值速率/(kb/s)	用户数 (最大)	业务
TETRA(R1)	3.8 ~ 17.5	$\pi/4$ DQPSK	380 ~ 470, 870 ~ 876 915 ~ 921	0.025	36	4	机场集群调度
ADL	<55	QPSK (MC-CDMA)	未分配	8.192	单用户>128、 2 048	128	滑行、起降及 集群调度
AEROMACS	<10	ACM (QPSK-64QAM)	5 091 ~ 5 015	5/10/20	7 500(5 MHz)	Undefined	飞行情报服务、 紧急情报服务

### 2.3 跨洋/偏远地区通信

20 世纪 70 年代以前,民航飞机在跨洋和偏远地区只能通过航空短波通信实现空中交通管理等通信,随着全球定位系统及卫星导航通信系统的引入,空中定位精度提高,飞机前后间距缩短到 4 min(30 n mile),航路间距缩短为 30 n mile,增大了跨洋空域的空中交通管理系统容量<sup>[19]</sup>。

航空移动卫星通信使用的频段主要有 C 频段、L 频段、Ku 频段、Ka 频段,其中 L 频段主要用于应急通信(Inmarsat 和 Iridium);C 频段主要用于开放卫星通信业务;Ku 频段卫星应用较广,如广播电视、机内语音与 Internet 接入等;Ka 频段卫星主要用于宽带通信。

#### 2.3.1 L 频段航空卫星通信

##### (1) Inmarsat Aero-H/H+/I

Inmarsat Aero-H 是基于第三代海事卫星系统提供用于航空安全相关服务的卫星链路,使用高增益天线提供 9.6 kb/s 每信道的多信道语音业务,也可提供 10.5 b/s 的数据通信;Aero-H+ 比 Aero-H 廉价,同时第四代海事卫星覆盖区均可用;Aero-I 使用中级增益天线在第三代海事卫星部分覆盖区域和第四代覆盖区提供多信道语音和 4.8 kb/s 的电路交换数据业务,目前主要用于没有其他通信可用时的应急备用链路。

##### (2) Inmarsat Swift-64

Swift-64 由第三代海事卫星系统提供,单信道速率为 64 kb/s,通过信道绑定可提供 256 kb/s 的数据速率,主要设计用于航空旅客通信(Internet),但实际的链路性能却促进了其提供安全相关的服务。

##### (3) Inmarsat Swift-Broadband

Swift-Broadband 是国际海事卫星组织在 L 频段为满足乘客、机组和飞行员的通信需求,在竞争数据

传输模式下单信道最高可达 432/332/200 kb/s,按需数据流模式下可提供 8/16/32/64/128 b/s 或 256 b/s 几种传输速率,实现数据和语音通信,可同时提供 AOC 等航空安全相关和航空旅客通信<sup>[20]</sup>。

##### (4) 铱星系统(Iridium)

铱星系统用于提供全球移动电话业务,也提供低速率数据通信,数据传输有基于路由器的无限制数字互连连接、短突发等接入方式,峰值数据率为 2.4 kb/s。

#### 2.3.2 Ku 频段航空卫星通信

Ku 频段航空卫星通信主要提供广播和宽带接入业务,主要由 Connexion By Boeing (CBB)、Panasonic eXConnect 和 Row44 提供。CBB 宽带卫星通信设计用于航空旅客通信<sup>[21]</sup>,2004 年倒闭后被美国政府收购,用于政府公务通信。Ku 频段卫星下行到飞机采用新一代数字卫星广播标准方式,支持 QPSK、8PSK 和 16APSK 的自适应编码调制;上行采用 D-TDMA(Deterministic TDMA)方式接入,支持多频时分多址,BPSK、QPSK 和 8PSK 调制,0.431 ~ 0.793 速率的 Turbo 编码和 1 ~ 16 的扩频因子<sup>[22]</sup>。ViaSat Yonder 是 Satcom Direct 公司提供的 Ku 频段全球卫星高速因特网和网络电话业务,上行最高速率 256 kb/s,下行 1 ~ 2 Mb/s。

#### 2.3.3 Ka 频段卫星通信

Ka 频段卫星因其充裕的带宽资源有望提供相对 Ku 频段低廉的服务。Inmarsat 计划 2014 年在其第五代海事卫星系统中包含 Ka 频段点波束,用以提供全球高速通信。与 Ku 频段卫星相比,Ka 频段地面站天线反射增益高,信号路径损耗大、波束窄。但文献[23]指出,在相同的条件下(发射功率、天线增益和波束大小),Ku 频段卫星系统的吞吐量不会低于 Ka 频段卫星系统。航空卫星通信技术总结对比如表 3 所示。

表 3 航空卫星通信技术对比  
Table 3 Comparison of aeronautical satellite communication technologies

名称	范围	频段/GHz	速率/(kb/s)	终端重量/kg	业务
Aero-H/H+/I	除两极外		10.5/4.8	6.8~12	ATM(ACARS,语音)
Swift-64	除两极外	1.626 5~1.646 5 1.525 0~1.545 0	500~1 000	11.4~18.2	VoIP/Aero H+
Swift-Broadband	除两极外		1 000~2 000	11.4~18.2	VoIP/Aero H+,Internet
Globalstar	全球	2.483 5~2.500 0(下行) 1.610 0~1.626 5(上行)	自适应 2.4/4.8/9.6 (语音) 9.6(数据)	7.25	语音、低速率数据
ARINC SKYLink	区域	1.920~1.933 2.120~2.125	512~3 500 128(上行)	25~36.3	Internet 和 Intranet
Iridium	全球	1.621 35~1.626 5	4.8/2.4 1 100 路语音(5.15 MHz)	<8	语音,ATC,AOC
eXConnect	除两极外	14.0~14.25 12.5~12.75	3 600~50 000	与 IFE 集成	Internet, VOIP
Yonder	除两极外	11.55~12.75 14.0~14.5	1 000~2 000	14.5 (AIRSAT 1)	移动宽带接入
Ka 频段卫星	除两极外	18.3~20.2 28.1~30.0	Undefined	Undefined	Internet, VOIP

## 2.4 航空移动航路服务

航空移动航路服务为机载基站和地面站之间提供安全、准点和高效的飞行通信服务,包括空中交通管制、飞行情报和告警、自动相关监视、管制员驾驶员数据链通信等安全相关的空中交通服务和航空运营管理通信(飞行计划、天气情报、发动机监视、航班和机务人员调度等)等影响飞行安全、准点和效率等与航空公司相关的服务。

短波系统、VHF 模拟语音系统作为主要的航空移动航路服务承载数据链,用于紧急情况下的飞行员与管制员之间的语音通信,飞机通信寻址与报告系统、VDL2 及 Inmarsat Swift-Broadband 承载飞行安全、气象和有序飞行相关的航空移动航路服务,如放行相关、自动终端情报服务、文本和图像天气信息、装载清单、引擎信息等。针对 VHF 频段的频谱拥塞,一方面优化网络结构和频谱分配;另一方面,采用新的航空通信导航系统 L-DACS、AEROMACS、航空移动卫星通信等。因此,我国近期内(2020 年以前)航空短波通信将逐渐转为只提供偏远地区(如西藏和新疆的部分地区)覆盖或作备用系统,VDL2 将逐步部署代替飞机通信寻址与报告系统承载航空移动航路服务。

## 2.5 航空旅客通信

航空旅客通信是通过卫星中继或者直接接入地面站的方式在飞机与地面之间为乘客提供语音与数据通信。2004 年,美国航空无线电委员会也重新评

估了手机等无线电子设备对航空无线电导航通信的干扰,2007 年裁定仍永久禁止在飞机上使用手机,但开放了笔记本、平板电脑等使用 2.4 GHz ISM 频段的电子设备的使用许可。欧盟、英国、澳大利亚等国家和地区 2006 年开放了在飞机上使用手机的许可,只不过需要采用特殊的技术和认证的专用设备,如微微蜂窝、使用 1 800 MHz 频段等。2006 年以来,全球有多家公司开始提供全球或区域的舱内因特网接入或打电话业务。近期,美国联邦航空管理局也将解除禁止在飞机上使用手机的禁令。

机舱宽带接入主要有两种方式,一种是建立地基网。Aircell 公司在美国本土(除阿拉斯加外)通过建立地基基站提供机内 Internet 接入服务(Gogo)。Gogo 采用基于地面 3G 的 EV-DO 技术的空地网络系统将机内基站连接到地面基站,下行可达 3.1 Mb/s(地面基站到飞机基站),2012 年底升级为 ATG4 系统(采用 Rev. B、多个定向天线,双调制器)后,下行峰值速率可达 9.8 Mb/s。Gogo 的空地网络使用美国联邦通讯委员会批准的专属频带,网络稳定、速率快,业务体验可媲美地面 DSL 网络,但受地基基站建设制约,目前已采用卫星网络补充其覆盖的不足。与 Aircell 类似,中国民航飞行学院、为邦远航无线技术有限公司、华为技术有限公司联合研制的“中国民航地空宽带通信系统”的成功试验飞行标志着中国民航进入空中互联网时代,传输速率 30~60 Mb/s。2012 年,中国电信已经在成都至北京的

航线上建成 17 个地对空基站,海南航空 2013 年初已在北京至西安的航班上启动了地空联网测试。

另一种是采用卫星中继。Onair、Aircell 采用 Inmarsat 的 Swift - Broadband 技术。Aeromobile、Row44 等公司通过 Ku 频段同步卫星提供的全球机内 Internet 接入和打电话业务。近年来,Aircell 等公司也已经计划通过 Ka 频段卫星增强其网络覆盖、网络容量等。

在移动电话方面,Onair、Aeromobile 等通过在机舱内安装微微蜂窝基站,移动电话直接接入机舱内基站,机内基站数据通过卫星中继连接到地面网络。机内的 Internet 接入已经逐渐普及,部分地区也已经开通机内语音通信,即使机内手机通信仍被禁止,通过机内 WiFi 等网络的 VOIP 语音通信技术也已经成熟,介于机内打电话业务尚未被允许和开通 VOIP 语音通信后面临的道德等其他问题,目前 Aircell 等公司仍然未开通机内 VOIP 的语音通信。

综上所述,归纳民用航空移动通信技术发展演进如图 1 所示。民用航空移动通信在陆地空域将逐渐由 VHF 模拟语音通信过渡到 VDL 数字语音通信,未来有望采用 L 频段数字航空通信系统,但目前,L 频段在我国的兼容性和频段许可仍有待研究与讨论;在跨洋或偏远地区将逐渐由短波系统过渡到卫星通信;机场场面通信目前不同国家地区差别较大,未来趋于采用相同的标准或者兼容较好的宽带通信系统。航空旅客通信也将趋于国际航线采用卫星通信为主,国内航线采用地空宽带通信系统补充卫星通信的方式,以满足未来大容量的航空旅客通信需求。

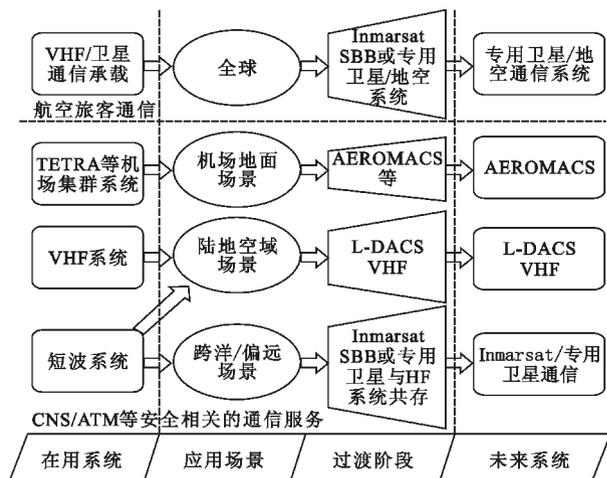


图 1 民用航空通信技术发展演进图

Fig. 1 Future evolution of civil aviation communication technologies

### 3 民用航空通信技术的发展趋势及面临的挑战

从 2004 年开始,欧洲航空安全组织和联邦航空管理局开展了诸多未来航空通信系统的研究,API7 计划调研并提出了未来航空通信的候选技术,NEWSKY 计划提出了基于 IPv6 的未来一体化航空通信网络架构。“十一五”和“十二五”期间,我国也开展了诸多民用航空移动通信技术、系统和法律法规方面的研究。这些研究指出了未来航空移动通信的发展趋势<sup>[4,24]</sup>:

(1) 高速大容量数据传输:新应用和服务更多采用数据通信方式;航空旅客通信的开放,将带来民航移动通信需求的飞跃,未来航空移动通信系统需要具备大容量数据传输的能力;

(2) 以网络为中心的管理操作:未来各航空实体间不断增加的信息交互需求、协同决策和全系统信息管理都要求以网络基础,各服务系统相互兼容,以支持网络化的管理与操作;

(3) 多链路共存:一架航空器可能同时使用多条无线链路,如 VDL、L-DACS 等,采用多链路管理与调度策略以提供不同 QoS 的服务;

(4) 通用航空的管理与通信需求将大大增加。

未来航空通信技术的研究是选择至少 10 年后仍有能力满足航空通信的需求并被广泛部署的系统。如 NEWSKY 计划讨论了未来航空网络的系统架构,通过在链路层管理一种或多种物理层链路,结合路由与无缝切换技术为上层应用提供 QoS 服务,并提出在大西洋上空组建航空 MESH 网络实现航空导航监视和数据通信,是对未来多网络多链路、宽带化航空网络的一次探索<sup>[24]</sup>。但 L-DACS、AEROMACS、航空移动卫星系统(Inmarsat-5、Ka 频段和 Ku 频段卫星)、ADS-B、4D 导航、航空旅客服务等系统或应用要全球化部署应用仍面临着诸多挑战<sup>[4,12,24-27]</sup>:

(1) 标准化:L-DACS、AEROMACS 和航空移动卫星系统(Ku 频段、Ka 频段)作为未来全球化的航空通信数据链,形成国际化的标准对新系统的部署及未来全球航空网络的互联互通互操作具有重要意义;

(2) 电磁兼容性:新的航空通信技术与现有技术的兼容性决定了新技术能否被采用、能否顺利过渡,如 L-DACS 系统与 DME、TACAN、UAT、SSR、GSM900、GPS 等系统的兼容性;

(3) 服务的兼容性:ATS、AOC 等安全相关或者

影响飞行安全的服务, 在与 AAC、APC 等非操作相关的服务在共享通信容量时的资源分配和调度, 业务之间共存和兼容性问题;

(4) 通信协议一致性: 目前航空通信系统地面网络已经采用 IPv6 协议, 而 AOC、APC 仍采用 IPv4 协议;

(5) 频谱资源: 由于各个国家频谱管理和分配的不同, 要寻求统一的全球航空通信频段困难重重, 大大增加了未来航空移动通信的全球部署的难度;

(6) 链路的异质化部署: 一体化的地基、空基、天基网络实现了多种通信链路的异质化部署, 在多链路多接口网络架构下, 如 VHF 信道、L-DACS 信道、卫星信道等, 如何进行有限资源下的网络结构规划和多链路的调度与管理;

(7) 不断增长的空中交通需求: 一方面空中交通密度不断增加, 要求精确的航空定位导航支持; 另一方面, 航班密度的增加和航空旅客通信需求的增长对航空通信带宽的需求更大。L-DACS 是面向未来航空通信需求的地空数据链系统, 需要对未来航空通信的需求做出准确的预测以及相应的 L-DACS 系统容量规划。

## 4 结 论

近年来, 民用航空运输业稳步增长, 空中交通流量的增加使现有空中交通管理系统趋于拥塞, 航空旅客通信的开放要求未来航空移动通信具有高速大容量数据传输能力。未来空中交通管理通信的语音通信将逐渐由原来的短波和甚高频模拟语音通信过渡到甚高频数字语音通信, 未来将会采用基于多载波的宽带通信系统, 如在陆地空域采用 L-DACS、跨洋/偏远地区采用专用卫星通信, 机场场面采用 AEROMACS; 航空旅客通信将采用卫星通信实现全球覆盖(如 Inmarsat SBB), 在陆地上空采用地空宽带通信系统补充的方式, 如 Aircell 采用中兴的 EV-DO 系统。为实现全球化的部署和空天地信息网络, 建议通过更多国际化合作与讨论, 建立统一的频谱划分方案和技术标准, 从未来航空通信需求出发, 全球化规划航空通信网络, 实现全球无缝覆盖。同时, 在通用航空方面, 也要重点研究适合我国国情的通用航空管理和通信系统。

## 参考文献:

[1] Stacey D. Aeronautical radio communication systems and networks[M]. England: Wiley, 2008: 105-125.

[2] Yue Meng, Wu Xiaofeng. The Approach of ACARS Data Encryption and Authentication[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Computational Intelligence and Security. Nanning: IEEE, 2010: 556-560.

[3] Fistas N. Future Aeronautical Communication System - FCI[C]//Proceedings of Take Off Conference. Salzburg: Eurocontrol/CND, 2009: 1-40.

[4] Schütz W, Schmidt M. Action plan 17—Future communication study: Final conclusions and recommendations report[R]// Proceedings of Eurocontrol/FAA. Brussels, Belgium: Eurocontrol/FAA, 2007: 1-80.

[5] 董彬虹, 李少谦. 短波通信的现状与发展趋势[J]. 信息与电子工程, 2007, 5(1): 1-5.  
DONG Bin-hong, LI Shao-qian. Current Status and Developing Tendency for High Frequency Communications[J]. Information and Electronic Engineering, 2007, 5(1): 1-5. (in Chinese)

[6] Lamiano D F, Leung K H, Monticone L C, et al. Digital broadband VHF aeronautical communications for air traffic control[C]// Proceedings of 2009 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference. Arlington, VA: IEEE, 2009: 1-12.

[7] ICAO. Manual on VHF Digital Link (VDL) Mode 4[M]. Paris: International Civil Aviation Organization, 2004: 1-1-4-1-1-6.

[8] Gilbert T, Jin J, Berger J, et al. Future Aeronautical Communication Infrastructure Technology Investigation [NASA/CR—2008-215144 [R]. [S. l.]: ITT Industries, 2008: 63-67.

[9] Sung K W, Zander J. Aeronautical Communication Systems as Potential Primary Users in Secondary Spectrum Access[C]// Proceedings of 10th Scandinavian Workshop on Wireless Ad-hoc Networks. Stockholm, Sweden: [s. n.], 2011: 1-4.

[10] Graupl T, Ehammer M, Rokitansky C H. L-DACS 1 data link layer design and performance[C]//Proceedings of 2009 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference. Arlington, VA: IEEE, 2009: 1-12.

[11] Eurocontrol. L-DACS2 System Definition Proposal: Deliverable D2[R]. [S. l.]: Eurocontrol, 2009: 121.

[12] Helios. FCI Technology Investigations: L-Band Compatibility Criteria and Interference Scenarios Study, Deliverables S1-S7: L-Band Interference Scenarios[R]. [S. l.]: Eurocontrol, 2009: 1-14.

[13] Schneckenburger N, Franzen N, Gligorevic S, et al. L-band compatibility of LDACS1 [C]// Proceedings of 2011 Digital Avionics Systems Conference. Seattle, WA: IEEE, 2011: 1-11.

[14] Jain R, Templin F, Yin K S. Analysis of L-Band Digital Aeronautical Communication Systems: L-DACS1 and L-DACS2[C]// Proceedings of 2011 Aerospace Confer-

- ence. Big Sky, MT:IEEE, 2011: 1-10.
- [15] Haas E, Lang H, Schnell M. Development and implementation of an advanced airport data link based on multi-carrier communications [J]. European Transactions on Telecommunications, 2002, 13(5): 447-454.
- [16] Kerczewski R J, Apaza R D, Dimond R P. AeroMACS system characterization and demonstrations [C]// Proceedings of 2013 Aerospace Conference. Big Sky, MT: IEEE, 2013: 1-10.
- [17] Wargo C A, Apaza R. Application survey for the future aeromacs [C]// Proceedings of 2011 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference. Herndon, VA: IEEE, 2011: 1-10.
- [18] Yiping C. A survey of AeroMACS: Next generation airport surface mobile communication systems [C]// Proceedings of 2011 Wireless Mobile and Computing. Shanghai: IEEE, 2011: 513-516.
- [19] Eurocontrol/FAA Future Communication Study Evaluation Scenarios. Future Communications Infrastructure - Technology Investigations [R]. [S. l.]: Eurocontrol/FAA, 2007: Appendix of ACP/1-WP/21.
- [20] ICAO. Manual for Aeronautical Mobile Satellite Route Service Part 1 [M]. Paris: ICAO, 2007: 4-10.
- [21] McLain C, Panthi S, Sturza M, et al. High throughput Ku-band satellites for aeronautical applications [C]// Proceedings of 2012 Military Communications Conference. Orlando, FL: IEEE, 2012: 1-6.
- [22] Wang Yun, Shi Peizhong, Li Kai, et al. D-TDMA: An Approach of Dynamic TDMA Scheduling for Target Tracking in Wireless Sensor Networks [C]// Proceedings of 2010 IEEE/ACM Int'l Conference on & Int'l Conference on Cyber, Physical and Social Computing, Green Computing and Communications. Hangzhou: IEEE, 2010: 546-553.
- [23] Chris Hudson. Ku- Vs. Ka-Band—Pondering Performance [J]. SatMagazine, 2012: 20-24.
- [24] Schnell M, Scalise S. Newsky-A concept for networking the sky for civil aeronautical communications [C]// Proceedings of 2006 IEEE/AIAA 25th Digital Avionics System Conference. Portland, OR: IEEE, 2006: 1-4.
- [25] Neji N, Lacerda R, Azoulay A, et al. Survey on the Future Aeronautical Communication System and its development for continental communications [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 62(1): 182-191.
- [26] Jain R, Templin F. Requirements, Challenges and Analysis of Alternatives for Wireless Datalinks for Unmanned Aircraft Systems [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2012, 30(5): 852-860.

- [27] Tavernise P. Future mobile satellite communication: Project 15.2.6: The "feeder link" to the ESA Iris Program [C]// Proceedings of 2011 Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications - Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles. Capri, Italy: IEEE, 2011: 19-25.

### 作者简介:



王志明(1986—),男,陕西咸阳人,2009年于重庆大学通信工程学院获学士学位,现为重庆大学通信工程学院博士研究生,主要研究方向为民用航空宽带移动通信、航空自组网;

WANG Zhi-ming was born in Xianyang, Shaanxi Province, in 1986. He received the B. S. degree from Chongqing University in 2009. He is currently working toward the Ph. D. degree. His research interests include broadband mobile communication for civil aviation, and aeronautical Ad Hoc networks.

Email: jamewzm@163.com

曾孝平(1956—),男,四川广安人,分别于1982年、1987年和1996年获学士学位、硕士学位和博士学位,现为博士(后)、教授、博士生导师、国家级教学名师奖获得者、宝钢优秀教师奖特等奖获得者、重庆大学通信工程学院院长、美国俄亥俄州立大学客座教授,主要研究方向为宽带无线网络、通信信号处理和生物医学信号处理;

ZENG Xiao-ping was born in Guang'an, Sichuan Province, in 1956. He received the B. S. degree, the M. S. degree, and the Ph. D. degree from Chongqing University in 1982, 1987, and 1996, respectively. He is now a professor, Ph. D. supervisor, Dean of College of Communication Engineering at the College of Communication Engineering, Chongqing University, China. He is also a visiting professor at The Ohio State University at Columbus. His research interests include broadband wireless network, communication signal processing and biomedical signal processing.

黄杰(1988—),男,重庆人,2011年于重庆邮电大学获学士学位,现为重庆大学博士研究生,主要研究方向为现代通信技术与系统、航空自组网;

HUANG Jie was born in Chongqing, in 1988. He received the B. S. degree from Chongqing University of Post and Telecommunications in 2011. He is currently working toward the Ph. D. degree. His research concerns modern communication technology and system, aeronautical Ad Hoc networks.

刘学(1983—),男,重庆人,2008年于重庆通信学院获硕士学位,现为重庆大学博士研究生,主要研究方向为航空自组网。

LIU Xue was born in Chongqing, in 1983. He received the M. S. degree from Chongqing Communication College in 2008. He is currently working toward the Ph. D. degree. His research concerns aeronautical Ad Hoc networks.