

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.06.029

引用格式:李桂花. 外军无人机数据链的发展现状与趋势[J]. 电讯技术,2014,54(6):851-856. [LI Gui-hua. Status and Trend of Foreign Military Data Link for Unmanned Aerial Vehicles[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(6):851-856.]

外军无人机数据链的发展现状与趋势*

李桂花**

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:无人机数据链是无人机的重要组成部分,是飞行器与地面系统联系的纽带。首先按照飞行高度和重量对无人机进行了分类,在此基础上概述了外军无人机数据链的发展现状;然后介绍了几种典型无人机数据链如数字数据链(DDL)、战术通用数据链(TCDL)和 Quint 网络技术(QNT)数据链的发展和性能,并分析和展望了无人机数据链通用化、安全化、网络化等发展趋势;最后总结了外军无人机数据链发展的经验,希望为从事无人机和数据链研究的工程技术人员提供参考。

关键词:无人机;数据链;通用数据链;发展综述

中图分类号:TN919;V279 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2014)06-0851-06

Status and Trend of Foreign Military Data Link
for Unmanned Aerial Vehicles

LI Gui-hua

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract:The data link is an important component of unmanned aerial vehicle(UAV),connecting UAV to ground system. First,the UAVs are classified according to fligh height and payload. Based on that,the current status of foreign military UAV data link is summarized. Secondly,some typical UAV data links such as Digital Data Link(DDL),Tactical Common Data Link(TCDL),and Quint Network Technology(QNT) data link are introduced and the trends of UAV data link are analyzed. Finally,the development experience of foreign military data link is summarized. The related information provides reference for those engaged in UAV and data link.

Key words:unmanned aerial vehicle (UAV);data link; common data link (CDL);development summarization

1 引言

无人机数据链是无人机系统的“神经”,承担着无人机与地/海面控制站及其他地/海面终端设备之间信息上传和下达的任务,是无人机系统高效运行必不可少的关键组成部分之一。无人机数据链的具体功能一般包括载荷和任务系统数据的传输、起降阶段无人机监控所需的指控及状态信息传输、任务飞行阶段无人机监控所需的指控与状态信息传输,具有传输速率高、传输距离远、系统容量大、抗干扰和抗截获能力强等特点^[1-2]。近年来,无人机数据链的不断发展,为无人机在军事作战领域的各种应用提供了有力的保障。总结和分析了外军无人机数据链的发展,可为相关领域的工程技术人员提供参考,因而具有重要意义。

2 外军无人机数据链的发展现状

目前世界各国的无人机有成百上千种,各种类型的无人机差异很大,大型的无人机与有人驾驶战

斗机差不多大,如美空军的 RQ-4“全球鹰”无人机,也有小型无人机可以放入军用背包,如美陆军的 RQ-11B“乌鸦”无人机,甚至有手掌大小的微型无人机。这些无人机平台的体积和载重量存在着巨大差异,同时与体积和载重量息息相关的工作特性也有很大差别,这就决定了它们选择用来支持无人机运转的数据链也有所不同。

(1)无人机的分类

一般无人机是按照飞行高度和重量来进行分

类。美国联邦航空局按飞行高度和作用范围将无人机分为 3 类,美国防部则在此基础上进一步将其细分为 5 类^[3],见表 1。而北约则按飞行高度和续航时间把无人机分为 3 类:战术无人机(低空,一般低于4 572 m,短航时)、中空长航时无人机(中等高度,一般在3 048 ~ 15 240 m之间,长航时)和高空长航时无人机(高空,一般在13 716 m以上,长航时)。目前使用较多的分类方式是按北约分类标准分为 3 类。

表 1 美军无人机路线图 2009-2047 中对美军无人机的分类
Table 1 Classification of UAVs in United States Air Force Unmanned Aircraft Systems Flight Plan 2009-2047

无人机类别	重量/kg	飞行高度/m	飞行速度/(n mile · h ⁻¹)	代表机型
1	0 ~ 9.08	<365.76	100	FCS Class I, RQ-11B/C, RQ-16A, Pointer
2	9.53 ~ 24.97	<1 066.80	<250	ScanEagle, SilverFOX, Aerosonde
3	<599.28	<5 486.40	<250	RQ-7B, RQ-15, STUAS, XPV-1, XPV-2
4	>599.28	<5 486.40	任意	MQ-5B, MQ-8B, MQ-1A./B/C, A-160
5	<1 589.00	>5 486.40	任意	MQ-9A, RQ-4, RQ-4N, N-UCAS

(2)外军无人机数据链的发展现状

高空长航时无人机主要用于替代传统的战略侦察机,因此飞行高度和续航时间都与有人侦察机接近,甚至更高,目前服役的高空长航时无人机最典型的是美空军的 RQ-4“全球鹰”无人侦察机。高空长航时无人机的体积庞大,载重量大,这也使其可以加装一些有人驾驶飞机上装备的设备,包括数据链。美空军的“全球鹰”无人机装备了多种数据链链路,包括两种视距数据链和两种卫通数据链等,特别是“全球鹰”无人机并没有装备美军为无人机定制的战术通用数据链(TCDL)系统,而是装备了有人驾驶飞机上才装备的通用数据链(CDL)^[4]系统。由于高空长航时无人机对装机设备的体积、重量和功耗限制小,几乎可以根据需求装备需要的各种链路。

中空长航时无人机(MALE)是近期无人机发展的热点之一,其飞行高度较高,续航时间长,能执行较为复杂的任务,为战术作战任务提供更佳的支持。中空长航时无人机平台的空间和载重量中等,可以搭载多种航空电子设备和载荷,配备较为复杂和完善的的数据链设备。目前,中高空长航时无人机搭载的载荷主要包括光电、雷达和信号情报等侦察载荷,有些还配备有武器载荷(如“捕食者”无人机),为了支持无人机利用这些载荷更好地完成作战任务,中空长航时无人机一般都会同时配备视距和超视距卫通数据链。视距数据链目前使用最多的是美军和北约认可的标准数据链战术通用数据链(TCDL),除

此之外也有一些 C、L 和 S 频段的视距数据链被选用,宽带、高速和抗干扰是这些数据链的共同特点。中空长航时无人机都配备有卫通数据链,且卫通数据链正越来越多地成为中空长航时无人机使用最多的数据链,美军提出的远程分离式操作模式正是基于卫通数据链实现。

低空战术型无人机的作用距离一般仅在视距范围内,以执行侦察任务为主,起到为地面作战人员提供视距外的战场情况的作用,主要载荷为光电侦察载荷和视距通信链路,且通信链路一般仅有 1 条。由于这类无人机多为特定用途的专用无人机,因而大多采用定制的数据链系统,且仍有很多采用的是模拟调频(FM)数据链,这种数据链只能传输标准格式的模拟视频,频谱利用效率低且安全性差。为了克服这些缺点,一些无人机开始换装数字数据链,如美陆军大量使用的 RQ-11B“乌鸦”无人机^[5]。不过,随着相关通信和设备小型化技术的成熟,未来小型战术无人机也有望装备“迷你”型 CDL 终端,从而可以与其他无人机数据链互操作性。低空飞行的小型战术无人机一般不装备卫通链路,因为它们通常无法携带卫通所需的高增益天线,并且它们经常需要快速变换高度,也不利于跟踪天线锁定卫星。这类无人机更多的是采用视距数据链,而中高空、长航时无人机则需要采用卫通链路以支持全球作战。

总之,中、高空长航时无人机都会同时配备视距和超视距卫通数据链,CDL 和 TCDL 数据链是视距

数据链的主要选择,卫通数据链(工作频段集中在 VHF/UHF、C、X 和 Ku 频段)则是作战时的远程数据传输的主要链路;战术类无人机现阶段多采用定制视距数据链,类型多样。中高空无人机为了确保系统的可靠性,其配备的数据链系统一般都会采用冗余配置,有的甚至是三重冗余配置,冗余链路一般还会支持一些特殊需求如空中交通管理(ATC)话音、兼容 Link 16 数据链、支持一站多机控制或一机多站控制等。

3 外军典型无人机数据链

3.1 数字数据链(DDL)

DDL 是 AeroVironment 公司为美陆军的 RQ-11B“乌鸦”无人机开发的一种基于 IP 的数字数据链,也是一种比较典型的适用战术无人机的数据链,它能为小型无人机的指挥与控制提供低功率的宽带数字网络,最大限度地提高频谱利用效率。DDL 终端有两种形式:定制模块和独立收发信机,其质量分别仅为 98 g 和 661 g,可提供 4.5 Mb/s 的数据率。数字化的 DDL 数据链的频谱利用率大幅提高,原来美陆军的“乌鸦”无人机采用模拟数据链时,在某一特定地理区域内,必须限制只能有 4 架无人机工作,而采用 DDL,则最多可以允许 16 架数字“乌鸦”无人机在特定地理区域作战。

3.2 战术通用数据链(TCDL)

TCDL 是美军专门针对无人机的列装需求、基于标准型 CDL 数据链发展出来的一种全双工、抗干扰战术宽带数据链。为了降低终端尺寸、重量和功耗,它只能工作在 Ku 频段(上行链路工作在 15.15 ~ 15.35 GHz 频段,下行链路工作在 14.40 ~ 14.83 GHz 频段),作用距离(斜距)最大可达 200 km,其上行链路数据率为 200 kb/s,而下行链路数据率为 10.71 Mb/s 和 45 Mb/s。随着相关技术的快速发展,TCDL 的上下行数据率有望提升到与目前的 CDL 相当的水平。TCDL 的上下行链路都进行了加密,上行链路用于传输无人机指控数据,具备抗干扰能力,下行链路用于传输无人机载传感器获得各种情报(如图像和视频)和其他相关数据。由于 TCDL 是衍生自 CDL,因而两者可以无缝地互操作,从而避免了在该领域出现“烟囱”系统,这也促使 TCDL 系统不仅在无人机上广泛应用,而且也被应用于直升机和固定翼飞机,并发展出了单兵便携式

等各型终端。

3.3 QNT 数据链

美国国防预先研究计划局(DARPA)为了解决武器弹药、地面的空中控制员(单个地面作战单元)和战术无人机等平台数据连接能力存在的缺陷,于 2005 年发起了 Quint 网络技术(QNT)研究计划,它将会是一种模块化、可靠且廉价的网络数据链,用以支持打击时敏和移动目标所需的精确打击和高效率的机器到机器的瞄准定位,并支持目标战斗识别、分发战术无人机和单个地面传感器数据以及战斗毁伤评估。

QNT 数据链目前仍在开发之中,按照 DARPA 的要求,QNT 必须具备组网能力,采用软件无线电设计,支持半双工或全双工工作,可以构成最多包含 1 000 个节点的网络,距离为 150 n mile 时传输速率达到 10 kb/s 以上,而距离为 40 n mile 时数据率达到 2 Mb/s。QNT 终端将会运行美军联合战术无线电系统(JTRS)波形库里面的波形如增强位置报告系统(EPLRS)、移动目标用户系统(MUOS)、战术瞄准网络技术(TTNT)或 Link 16 等。目前,罗克韦尔·柯林斯公司已经研究出了 QNT 样机,它是一个双信道的软件无线电台,工作在 VHF(30 ~ 88 MHz, 118 ~ 152 MHz)、UHF(225 ~ 400 MHz)和 L 频段(1 350 ~ 1850 MHz),距离为 100 n mile 时数据率可达 500 kb/s,而距离为 50 n mile 时,数据率可达 2 Mb/s。该样机可运行柯林斯公司的 TTNT 和动态套接波形(DSW)波形。

4 外军无人机数据链发展趋势

目前,小型化、轻型化、经济可承受性、模块化和可扩展性等仍是无人机数据链发展的基本要求,是系统配置选择和设计时首要考虑的要素,在这些无人机数据链发展的基本需求变化不大的同时,无人机数据链在近期仍然显现出一些发展趋势。

(1) CDL 标准有望统一北约无人机数据链

CDL 数据链最初在 20 世纪 90 年代初被美国国防部定义为传输图像情报的数据链标准,后得到了北约的认可,北约为了推广 CDL 标准还制定了 STANAG 7085 等相关标准。CDL 标准的应用范围也随着需求的增多而不断扩展,在美军 1991 年发布的《战术数据链发展战略》中有这样的定义:“未处理的宽带、图像和信号情报数据用 CDL 传送,所有

处理过的数据则用 Link 16 数据链分发”,而在 1994 年该文件的更新版中,又修改为“处理过的数据也可由 CDL 传送”。

目前,CDL 标准以及由其衍生出来的缩减型——TCDL 成为北约国家中高空长航时无人机的首选数据链,大多数中空长航时无人机即使不是直接选择 CDL 或 TCDL 产品,也会选择能与之兼容的数据链,目的便是实现互操作性。美国防部已经决定让战术及更大型的无人机(重量在 13.6 kg 以上)都采用 Ku 频段的通用数据链(CDL)^[6],同时 CDL 标准也有向战术性无人机扩展的趋势。美空军研究实验室正在开展一项为小型无人机研发“Mini-CDL”数据链的计划,主要是为重 4~90 kg 的小型无人机设计数据链,2007 年 2 月选中罗克韦尔·柯林斯公司完成计划的第一阶段工作,研究 Ku 频段电台小型化技术,并研制能支持小型无人机的终端。2013 年 11 月 19 日,美国爱德华国家实验室根据美国防部的研究需求,发布了“用于小型战术无人系统(SUAS)的通用数据链(CDL)”的招标书。

(2) 提高无人机链路安全性

现在,美军的网络空间作战能力建设正如火如荼地进行,这种对于网络空间安全的担忧再次唤起了人们对于无人机控制链路安全性的关注,这也使得数据链加密成为最新的热点,或者更确切地说是数字化和加密。2009 年 12 出版的《华尔街杂志》上刊登的一篇文章吸引了很多人的眼球,它声称:不安全的传统模拟无人机数据链可能会被敌对分子劫持^[7]。这一论调显然在无人机领域并不新鲜,无人机系统对数据链的依赖性使其成为敌对分子最可能攻击的目标。

事实上,为了解决这一问题外军已采取了一些措施。例如,美军要求其中高空无人机采用 Ku 频段的 CDL 数据链,其考虑的因素之一就是它能提供美国安局定义的 1 级加密,至于美军小型战术无人机使用的模拟链路,则正在逐步替换为安全性更高的数字链路。目前,无人机数据链的完整性、安全性和抗干扰能力正成为无人机数据链设计越来越关注的问题。

(3) 无人机数据链网络化

目前,北约无人机系统最为推崇的 CDL 系列数据链是点对点的链路,而现代战场上无人机数量越来越多,对数据链路的需求也不断增加,急需提高无人机数据链的频谱和带宽利用效率。美国 Cubic 公

司的副总裁 Gary Nault 就表示,“下一代无人机数据链将是网络为中心的,并且这种,空中 Wi-Fi 概念并不像人们想象的那样遥远”^[8]。

Elisra 公司目前就正在开发一种新型的无人机数据链系统,不同于 CDL 的点对点模式,它采用时分多址(TDMA)工作模式,以获得更高的带宽效率。与此同时,以 Cubic 公司和 L-3 通信公司为首的数据链供应商正在开展一项被称之为 DirecNet 的研究计划,目标是用开放式标准建立一个移动数据与通信网络,用于高速数据传输。设想中的 DirecNet 网络是一个网状网络,将能达到每秒千兆的传输速率,无人机配备高性能的定向通信天线后,就能让地面站和无人机通信实现网状通信,使无人机控制支持无缝中继,实现最大限度的互操作性和作战应用灵活性。

(4) JTRS 与 CDL 系列数据链之间的兼容性

美军的联合战术无线电系统(JTRS)研制计划是目前世界上最为庞大的军事项目之一,它推动了军民用领域软件定义电台的发展,是美军军事转型和网络中心作战能力建设的关键项目之一,它将被部署到美三军以及海军陆战队,替换美军现役的大约 75 万部电台。但就是这种将在美军广泛使用的通信终端,并不支持 CDL 波形,JTRS 的波形库中没有包含 CDL 波形。最直接的后果是,配备 JTRS 电台的作战单元,还必须再配备相应的 CDL 终端,才能从无人机获取侦察视频和图像,这对于战场上的徒步士兵等作战单元而言,无疑增加了负担。

目前,影响 JTRS 支持 CDL 波形最致命的是工作频段问题,JTRS 的工作频段是 2 MHz~2 GHz,而 CDL 的工作频段在 2 GHz 之上。为此,美军事实验室已经对研制一套既能接收 JTRS 波形又能接收 CDL 波形设备的可行性进行评估,而将 CDL 接收终端作为附属设备附加到 JTRS 终端上也成为各供应商竞争的市场。Cubic 公司功率仅为 4 W 的“小型 CDL”传输速率最高可达 45 Mb/s,目前处于最终测试阶段,并且已经在无人机(如 KillerBee 和 Skylark II 无人机)上进行了飞行测试,它可以把视频发送给配备了 Rover 或“视频侦察员”设备的作战人员。而哈里斯公司开发的 RF-7800T ISR 手持式视频 ISR 接收机,质量仅为 1.27 kg 左右,可以接收 L、S 和 C 频段的战术视频传输。

(5) 图像压缩

数据链路的能力与情报、监视、侦察(ISR)数据

分发的需求息息相关。美国国家地理情报局 2005 年发布的标准 MISP/STANAG 4609 定义了高清晰图像标准,包括 1 280 pixel×720 pixel 的图像,要提供达到该级别的实时彩色或热图像要求数据链的传输速率达到 1.48 Gb/s,远高于 TCDL 的 45 Mb/s。现在能够提供这一数据输出能力的数字链只有 FLIR Systems 公司的 Star SAFIRE HD 系统,它采用光通信(而不是射频)向地面站发送连续图像。该系统已被多种有人平台采用,包括韩国的 P-3 飞机和一些未披露的美国无人机系统。当然,也可以用现有数据链以较低传输速率传输图像,但这样就无法达到实时性要求。

通过无线方式发送高清图像,需要采用先进压缩技术。现在使用较多的压缩格式是 MPEG-2 技术,它要求传输速率达到 25 Mb/s,操作员需要对图像进行降级处理,以使其适应可用数据率的需求。新的 MPEG-4 压缩标准支持用 10 Mb/s 链路发送全高清图像。随着侦察设备越来越先进,图像分辨率将会越来越高,目前美国及北约相关机构正在制定更高清晰度图像标准,即 1 920 pixel×1 080 pixel 的图像,它要求数据传输速率达到 3 Gb/s 或更高。未来还可能会推出极高清即 4 000 pixel×2 000 pixel 的图像。除了数据链路以外,更高清晰度的图像对处理技术也提出了更高的要求,目前仍然无法提供如此高清晰度图像处理所需的处理速度,但这一问题很有可能在未来几年得到解决。

5 外军无人机数据链发展经验

近年来,无人机在实战中的突出表现大大刺激了无人机系统的军事应用,也推动了外军无人机数据链的发展,取得了丰硕的成果。在此过程中,外军发展无人机数据链考虑、关注和解决的问题以及取得的成果经验,有很多是值得我们关注和借鉴的。

(1) 关注无人机适航问题

无人机的大量应用,也给现代越来越繁忙的空域带来了管理问题。很多小型战术无人机由于体积和载重量小,根本未配备相应的识别设备,而且有些无人机采用特殊纤维材料制成,有人驾驶飞机根本探测不到,对空域安全造成很大的隐患。

要解决这一问题,一方面是为无人机开发小型识别设备,另一方面则需要为中高空飞行的无人机配备支持空中交通管理(ATC)通信的通信链路,让无人机操作员可以通过它们与空管人员直接通信,

提高空管效率。目前外军主要通过为无人机加装支持 ATC 话音的短波电台如柯林斯公司的 ARC-210 电台,来达到这一目的。从目前的发展来看,无人机适航问题是一个必须解决的问题,而数据链在这方面的作用则有待挖掘。

(2) 数据链的安全性

正如前文所述,无人机数据链的安全性正成为目前研究的热点。未来在数据链的设计中,安全性和抗干扰能力越来越重要,必须保护无人机获取的数据和情报,防止敌人接管飞机的控制。在不对称作战中,敌人不仅会用武器将无人机逐出空域,而且会试图抢夺无人机的控制权;还可以通过数据链瞄准无人机地面站,通过一定的手段对抗地面站。由于无人机采用遥控工作模式,一旦控制权被篡夺,造成的危害性非常严重。

提供无人机数据链的安全性是无人机数据链发展的前提条件。美国的做法很值得借鉴,在无人机数据链规划层面就考虑安全性问题,尽管 Ku 频段的数据链由于物理特性限制,存在一些局限性,但由于可以提供更高的安全性,美国防部仍然打算大力推广。当然,性能和安全性的权衡也很重要。

(3) 标准化问题

无人机数据链的标准化、规范化是未来发展的大势所趋。目前,美军正在根据规划路线图推进,不过由于实现问题短期内仍无法实现。而欧洲防务局也在关注无人机数据链的标准化问题。2007 年 3 月,两家芬兰公司 Patria 和 Insta 代表欧洲防务局研究了应用于欧洲国家长航时无人机编队的通用多模数据链载荷并发布了相应的报告,报告中列出了未来 20 年的研发路线图,用以确定需要的能力、接口和协议。目前北约虽然在大力推广 CDL 系统数据链,但很多国家并未将其作为唯一选择,给未来的互操作性问题留下了隐患,特别是欧洲正在努力建设“统一的天空”。因而,尽可能早地考虑数据链标准化问题,及早制定相关标准并逐步完善,是各国发展无人机数据链都可采取的策略。由于不同类型的无人机装备的数据链差别很大,实施标准化会受到各种因素的限制,需要逐步推进。

(4) 统一管理和规划的重要性

在目前信息化军队建设的背景下,任何电子信息系统体系的开发和建设都需要由国防管理机构进行统一的管理和规划,但由于管理体系、资金、需求、应用以及其他相关影响因素和利益的影响,各军兵种和各部门的行动经常会达不到协调一致。

早期由于各军兵种对于无人机系统应用的重视程度不同,在无人机数据链开发方面的投入也不相同,因而并没有上升到国防规划的层面。以美军为例,早期对无人机应用比较重视的是空军和陆军,但这两个军兵种的应用需求差异很大,因而出现了空军积极应用 CDL 标准系列数据链而陆军则使用了很多定制数据链的情况,直到美国防部意识到无人机系统对于美军的军事作战的重要性,开始发布无人系统发展路线图,才开始从国防部的层面对无人机以及数据链进行规划。当然,这就必须解决之前各军兵种定制数据链的问题,如美国防部推广 Ku 频段的宽带数据链,就由于加改装的耗时耗力,而阻力重重。

另外,具体设备的供应商对于无人机数据链的发展也起到了积极的推动作用,在美国防部的协调和组织下,相关的无人机数据链供应商也在积极推进美军无人机数据链标准的建设。美国的 L-3 通信和 Cubic 公司不仅是美国也是北约很重要的无人机数据链供应商,它们去年与 BAE-Harris 和诺·格-BAE 团队一起参加了在海空互操作性实验室进行的 NAVAIR aegis 项目的射频无线实验室测试。测试目标是要在多个参与方之间发送信息,并确保数据链可以进行无缝传输并实现互操作性。

6 小 结

无人机的蓬勃发展造就了无人机数据链市场的火热,但越来越多定制无人机数据链的涌现却带来潜在互操作性问题,对网络中心作战体系的建设构成威胁。另一方面,愈演愈烈的网络战、网络入侵也对无人机数据链的安全性拉响了警钟,早期使用的低安全性无人机链路有些仍在服役,成为了潜在的隐患。目前的外军无人机数据链就是这样一个“热点”与“隐患”并存的领域。无人机数据链未来发展的主要任务就是提高安全性、改善频谱和带宽利用效率、促进标准化和互操作性以及不断提高性能指标等,其中,CDL 系列数据链在外军无人机数据链体系中的作用越来越稳固,未来对其不断完善,不断改进,发展适应多种平台的终端可能将会是今后很长一段时间外军无人机数据链发展的主要趋势之一。

参考文献:

- [1] 黄永兢,王玉文,黄超,等. 基于 QualNet 的无人机数据链时延仿真[J]. 电讯技术,2012,52(7):1210-1215.
HUANG Yong-jing, WANG Yun-wen, HUANG Chao, et al. UAV data link time delay simulation based on QualNet [J]. Telecommunication Engineering, 2012, 52(7): 1210-1215. (in Chinese)
- [2] 霍元杰. 网电空间下的数据链对抗技术及发展趋势[J]. 电讯技术,2013,53(9):1243-1246.
HUO Yuan-jie. Technology and developing trend of datalink countermeasure in cyberspace [J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53(9): 1243-1246. (in Chinese)
- [3] Department of Air Force. United States Air Force Unmanned Aircraft Systems Flight Plan 2009-2047[R]//ADA505168. Washington DC: Department of Air Force, 2009.
- [4] 陈颖,邓洁,许林. 美军战术通用数据链的发展[J]. 电讯技术,2007,47(1):1-3.
CHEN Ying, DENG Jie, XU Lin. An Overview of the US Forces' Tactical Common Data Link (TCDL) [J]. Telecommunication Engineering, 2007, 47(1): 1-3. (in Chinese)
- [5] AeroVironment Launches Production of Its New Digital Data Link with \$ 16. 8 Million Order[EB/OL]. 2009-02-10 [2014-05-10]. [http://www. avinc. com/resources/press_release/aerovironment_launches_production_of_its_new_digital_data_link_with_16. 8_mi](http://www.avinc.com/resources/press_release/aerovironment_launches_production_of_its_new_digital_data_link_with_16.8_mi).
- [6] Baddeley A. Touching Base[J]. Unmanned Vehicles, 2010(4/5):31.
- [7] Gorman S, Dreazen Y J, Cole A. Insurgents Hack U. S. Drones[J]. Wall Street Journal, 2009(12):3.
- [8] 严雯,王洪涛,卿利,等. 基于数据链的无人机空中自动防撞技术[J]. 电讯技术,2013,53(7):859-863.
YAN Wen, WANG Hong-tao, QING Li, et al. Auto-ACAS for UAV based on data link [J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53(7): 859-863. (in Chinese)

作者简介:



李桂花(1978—),女,江西高安人,2002年于西安电子科技大学获学士学位,现为工程师,主要从事科技情报方面的工作。

LI Gui-hua was born in Gao'an, Jiangxi Province, in 1978. She received the B. S. degree from Xidian University in 2002. She is now an engineer. Her research concerns scientific and technical intelligence.

Email:58266669@qq. com