

美军 ACMI 关键技术及发展趋势

万明, 樊晓光, 褚真福, 黄雷, 丛伟

(空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038)

摘要:空战机动仪器(ACMI)是一种在空战训练中对飞行员平台操纵能力、武器使用能力、战术运用能力进行训练和评估的辅助设备。以P4, P5, P5IS空战机动仪器为代表,详细阐述了典型ACMI的结构与功能。对ACMI中的无线组网通信、精确时空定位、武器建模与仿真、杀伤结果实时告知、地面显示与回放等关键技术进行了分析。最后指出了ACMI的内嵌式与虚实结合的发展趋势。

关键词:空战机动仪器; 空战训练; 嵌入式训练; ACTS

中图分类号: V246; E926 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)01-0062-05

Key Technologies and Development Trend of USAF ACMI

WAN Ming, FAN Xiao-guang, ZHUO Zhen-fu, HUANG Lei, CONG Wei

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

Abstract: Air Combat Maneuvering Instrumentation (ACMI) is an auxiliary equipment for training and assessment of the pilot's skills of platform controlling, weapon operating, and tactics applying. The typical architectures and functions of ACMI are introduced taking P4, P5 and P5IS as examples. Analysis is made to the key technologies, including wireless communication network technology, accurate time/space positioning technology, weapon modeling and simulation technology, real-time attack effect notification technology, and ground display and replay technology. Finally, the developing trends of embedded equipment and live-virtual integration are pointed out.

Key words: air combat maneuvering instrumentation; air combat training; embedded training; ACTS

0 引言

空战机动仪器(Air Combat Maneuvering Instrumentation, ACMI), 亦称为 ACTS(Air Combat Training System)吊舱或 TACTS(Tactical Air Combat Training System)吊舱, 是一种在空战对抗训练中对飞行员的平台操纵能力、武器使用能力、战术运用能力进行训练和评估的辅助设备, 同时具备训练安全监视、武器装备性能验证等功能。目前仅 Cubic 公司就在全球 60 多个空军基地建设了 ACMI 系统^[1]; 2013 年美国空军国民警卫队采购 135 枚 ACMI P5, 合同价高达 2 295 万美元, 作为其推进装备现代化的重要内容之一^[2]; 美军内利斯基地也将投入 1 700 万美元继续完善原有的 ACMI 系统^[3]。在空战对抗训练领域, ACMI 体现出非常重要的作用。

本文首先对 3 种典型 ACMI 的组成结构与功能、性能进行了阐述, 然后论述 ACMI 的关键实现技术和发展趋势, 以期对我军空战对抗训练装备的建设和发展提供借鉴与参考。

1 典型 ACMI 设备

1.1 P4AX ACMI

P4AX 的结构与功能组成如图 1 所示。其主要部件包括:

- 1) 1553B 串行总线接口模块, 主要功能是实现与飞机挂点 MIL-STD-1760 接口的总线通信;
- 2) 数字接口单元, 实现各种接口信号的转接;
- 3) 数据处理单元, 实现设备的核心功能控制;
- 4) 惯导组合, 用于测量载机的位置、姿态、速度、加速度、角速度、角加速度等运动参数;
- 5) 大气数据传感器, 获取大气参数;
- 6) 测距和数据转发器, 测量两机之间的距离, 并实现训练数据的收发;
- 7) 发声模块, 主要用于产生告知语音;

收稿日期: 2014-02-09

修回日期: 2014-09-22

作者简介: 万明(1979—), 男, 江西南昌人, 博士, 讲师, 研究方向为综合航空电子系统。

8) 低功率 UHF 发送器,实现与载机 UHF 电台的语音通信。

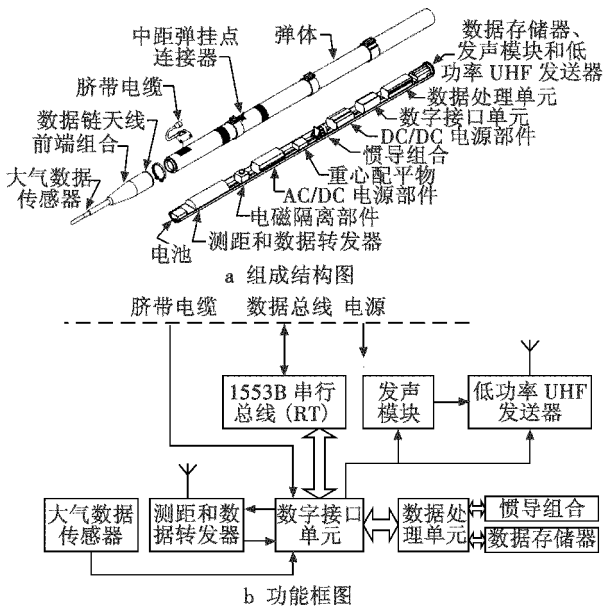


图 1 P4AX ACMI

Fig.1 P4AX ACMI

与 P3 系列相比,P4AX 主要增加了 2 项功能:

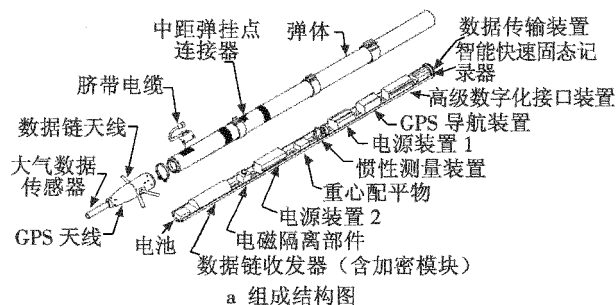
1) 语音告知功能,告知语音由发声模块产生,可产生 1~3 个音节的语音消息,然后由低功率 UHF 发送器发送至机载电台,实现空战结果的实时告知,例如当本机被仿真导弹“命中”时,飞行员将听到“You're dead”的语音消息,该发射器功率仅有 1 W,因此语音通信距离仅覆盖载机;

2) 增设数据总线接口,随着飞机数字化程度的提高以及外挂接口标准 MIL-STD-1760 的实施,飞机航电和武器系统能够直接通过 MIL-STD-1553B 总线与 ACMI 通信,其数据采集能力进一步加强,武器仿真的精度也随之提高。

P4 其他型号与 P4AX 基本类似,主要区别在于配挂的飞机,以及在飞机上的安装挂点。

1.2 P5 ACMI

1994 年,随着全球覆盖率达 98% 的 24 颗 GPS 卫星布设完成,ACMI 的结构也发生了较大变化,P5 的结构与功能组成如图 2 所示^[4-5]。



a 组成结构图

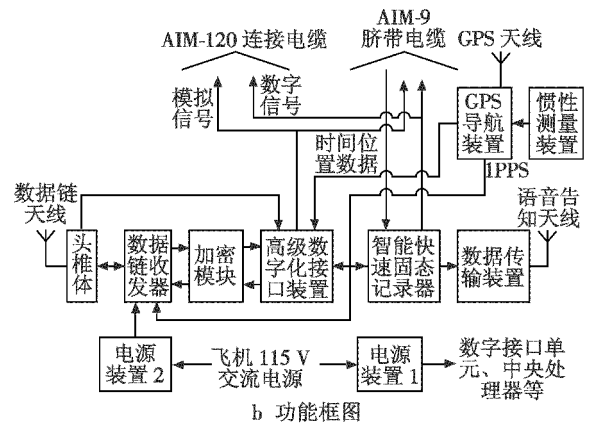


图 2 P5 ACMI

Fig.2 P5 ACMI

P5 的主要部件包括:

1) 惯性测量装置,该装置使用 3 个正交加速度计和 3 个正交角速率测量装置测量飞机加速度及姿态,数据将送往 GPS 导航装置进行处理;

2) GPS 导航装置,该装置是一个 10 信道的 L1/L2 P/Y 和 C/A 接收机,可在高动态情况下获取时空位置信息,并为 ACMI 内部其他模块提供 1PPS 精确时钟同步信号;

3) 头锥体组件,该组件位于前端,采用空气动力学外形设计,并可从 ACMI 管线中拆卸,它包括大气数据传感器组件、GPS 天线以及数据链天线;

4) 数据链收发器,该收发器使用了时分多址 (Time Division Multiple Access, TDMA) 通信协议,为训练任务参与者提供无线通信能力;

5) 数据加密模块,提供对无线传输数据的加密功能;

6) 高级数字化接口装置,该装置对来自飞机接口、惯性测量装置、GPS 导航装置、大气数据传感器等的输入数据进行处理,输出至智能快速固态记录器用于记录,同时将关键数据包送至数据链收发器进行无线传输;

7) 智能快速固态记录器,实际上是 ACMI 的核心处理单元,用于 ACMI 各部件工作时的协同、武器的仿真计算和攻击结果的评估;

8) 数据传输装置,包括可移动 PCMCIA 闪存卡,用于加载任务配置文件,记录 ACMI 采集的数据,以及 ACMI 软件的更新,该装置还包含语音发声模块和低功率 UHF 发送器;

9) 电源装置,其中两个电源装置中,一个专为数据链收发器供电,另一个为其他模块供电,当 ACMI 不能从载机中获取电力时,使用 3 个电池组成的电池组件保持加载在 GPS 接收机上的初始化数据;

10) ACMI连接器,提供两种挂载方式,分别兼容 AIM-9 发射架和 AIM-120 发射架,并与之采用相同的机械、电气接口。

与 P4 相比,P5 功能上的改进主要体现在采用了嵌入式武器仿真技术,并采用 GPS 装置实现飞机的时空定位,同时采用 1 级无线通信中继技术,实现了无疆域限制的空战训练。

1.3 P5 机内子系统

P5 机内子系统的外形与功能组成如图 3 所示。

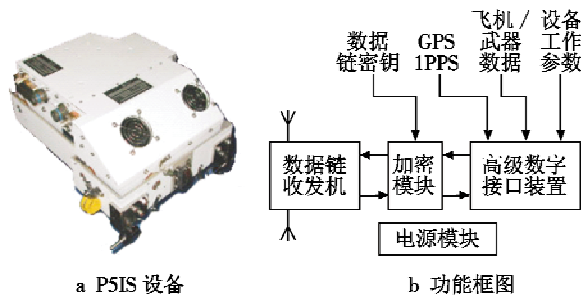


图 3 P5 机内子系统

Fig.3 Internal subsystem of P5

P5IS 安装于飞机内部,与 P5 相比可以看出,P5IS 的功能框图可以看作是 P5 功能框图的子集,其改进主要体现在:

- 1) 共用飞机的 GPS、大气、惯导数据,以及武器控制数据;
- 2) 共用飞机数据记录装置;
- 3) 语音告知功能与通信系统集成一体化设计;
- 4) 采用多功能孔径综合技术复用飞机 L 和 S 频段天线实现训练数据收发。F-35 飞机上下表面均安装有 L 和 S 频段天线,选用 L 还是 S 频段天线取决于任务预先规划时设置的工作频率和作用距离。

2 ACMI 的关键技术

2.1 无线组网通信技术

各参训飞机 ACMI 之间、参训飞机 ACMI 与地面基站之间的数据传输主要实现两大功能:

- 1) 空战对抗训练过程中,将飞机时空定位数据、武器投放数据、仿真武器弹道数据、武器攻击解算结果等实时上传至地面导调指挥中心,实现战场态势监控,并防止安全事故;
- 2) 当模拟武器解算结果为“命中”时,实时告知目标机,以便目标机知悉已被“命中”。

从外军实践来看,无线组网通信一般都采用 TDMA 通信协议,该协议与 Link16 数据链采用的协议相同。为避免影响正常的指挥通信,ACMI 一般采用专用频段。P5 采用的无线通信频率为 1 350 ~ 1 450 MHz, 1 710 ~ 1 850 MHz(L 波段)和 2 200 ~ 2 400 MHz(S 波

段),最大通信距离为 80 n mile(1 n mile = 1 852 m)(空-空)和 125 n mile(空-地)^[6-7]。P4 系列之前的 ACMI 未能实现无疆域限制,各 ACMI 的入网过程需要地面站协同。P5 通信网络可实现自组织式入网,无需地面站协同,实现了真正的无疆域限制空战训练。

2.2 精确时空定位技术

空战对抗训练需要实时解算武器攻击的结果,而武器发射时刻攻击机和目标的相对位置、速度,武器仿真过程中目标的相对位置、速度、加速度等对于武器结果的评估具有非常大的影响。因此,在空战对抗训练评估中,需要尽可能地获得飞行时间、空间的精确数据。

在 ACMI 研制初期,采用三角定位法实现飞机之间相对位置的确定^[8],该方法要求飞机不能有大的机动,同时需要在测量区域内至少存在 3 个地面基站,对定位的条件要求较高,且算法复杂,一定程度上限制了系统时空定位的性能。

GPS 系统的出现为实现精确时空定位提供了新的技术实现途径。目前,P5 采用的是 12 通道的全向 C/A 或 P(Y)码接收机,可同时测量飞机的位置和速度,其精度如表 1 所示。

表 1 P5 GPS 测量精度^[7]

Table 1 GPS measurement accuracy of P5

参数	C/A 码差分 GPS	C/A 码非差分 GPS	P(Y)码差分 GPS	P(Y)码非差分 GPS
水平位置/m	2.8	8.24	1.5	1.8
垂直位置/m	4.2	12.44	2.5	3.0
速度/(m·s ⁻¹)	0.5	0.5	0.5	0.5

需要说明的是,P(Y)码目前并未对我国开放,因此如果我国采用相同的实现方式,定位精度要略低一些。

在 P5 中,GPS 信息与惯性测量信息是组合使用的,以便在 GPS 信号不佳,或者 GPS 信号受机身遮挡情况下,持续提供有关飞机的位置、姿态、速度,以及时间等信息。

2.3 武器建模与仿真技术

空战对抗训练中,武器建模仿真的逼真度对于训练的效果是决定性的。武器仿真模型越真实,越接近真实武器,则训练作用越好;反之,则易造成飞行员对于武器性能的误解,这在战时将极有可能产生致命影响。

美军 P5 可实现其飞机几乎所有挂载空空、空地武器的模拟攻击。将其实现方法有针对性地分为两大类:

- 1) 对于非制导武器,如炸弹、火箭弹、航弹等,采用通用建模仿真技术,通过仿真模型参数配置实现与实际武器的匹配;
- 2) 对于制导武器,采用专用的仿真模型,因为不同制导武器的外形尺寸、使用方式、操作过程、动力学特性、运动学特性等通常具有较大差别。

需要说明的是,美军在对外(如法国)提供 ACMI 时,对于所有武器的模拟仿真一般使用通用的 Sim-Builder 软件,该软件是非涉密的^[9]。

P5 的武器仿真集中在智能快速固态记录器中实现。攻击机发射武器后,攻击机的智能快速固态记录器开始弹道解算,评估攻击结果。1 枚 P5 可同时实现 8 枚导弹的弹道仿真。

需要说明的是,对于飞行员对飞机平台的操纵能力,ACMI 系统还有其他一些定量评估方法,例如 Tac-Space 和 AAMI 方法等^[10-12]。

2.4 杀伤结果实时告知技术

ACMI 系统需要进行武器仿真计算,以便支持实时的空战对抗训练。在武器仿真评估完成后,若需要通知攻击机目标已被“击落”,或者通知目标机已被“命中”等情况时,需要某种途径通知对抗双方攻击结果。在这一点上,美军在 ACMI 研制过程中探索了多种技术解决途径。

1) 改进飞机的武器挂载接口、外挂管理计算机、显示控制系统、通信系统等一系列设备,并在通信系统存储告知语音,实现杀伤结果实时告知,这种方式对飞机改动量非常大,且对飞机实战功能的影响需要重新全面评估,实施代价较大。

2) 在 ACMI 上加设 UHF 电台与载机通信,实现结果告知,该方案需要解决两个问题:① 参训时载机需要将语音电台调至与 ACMI 的 UHF 电台一致的频率,这在一定程度上影响了飞机设备的实战使用模式;② UHF 电台的功率必须尽可能小,同时又要保证与载机电台之间的可靠通信。因为不能让训练场上所有飞机都知道某架飞机被“命中”,美军设置该电台辐射功率为 1 W。

3) 采用蓝牙通信技术,该方式在美军某些援外项目中使用过,与途径 2) 类似,同时还要解决蓝牙数据至飞行员耳机的语音变换与通道设置问题。

2.5 地面显示与回放技术

P5 和 P5IS 虽然不需要地面基站的支持,但是为了在地面实时监控空中训练态势,确保飞行训练过程的安全,在美军所有 ACMI 靶场,仍设置有地面基站。

除了在训练时实时监控态势,在训练结束之后还需要及时汇总训练数据,进行训练过程回放与讲评。因此,在美军 ACMI 靶场通常配套建设有功能非常完善的地面显示与回放系统^[13-14]。

P5 配套的地面显示与回放系统有多重配置形式,可以基于大型服务器设计,也可采用便携式计算机设计,既可采用固定形式,也可采用车载、舰载等形式^[15]。其中的关键技术是数据汇聚管理技术^[16]、大数

据融合处理技术^[17]、战场环境建模与仿真技术、二维/三维显示技术^[18]等。

3 ACMI 的发展趋势

3.1 采用内嵌式设计满足隐身需求

随着美军第四代隐身飞机(“四代机”)F-22, F-35 装备部队,原有的外挂式 ACMI 在隐身性能上已不能满足新型战机的需要。同时,在美国第三代隐身飞机(“三代机”)训练中,ACMI 发挥的巨大作用使美军认识到飞机作战功能与训练功能一体化设计的重要性。因此,在“四代机”研制初期,作战训练功能就被考虑进设备研制方案中。内嵌式 ACMI,即 P5IS 的功能与外挂式 P5 完全相同,以单独的现场可更换单元(Line Replaceable Unit, LRU)硬件形式安装在飞机内部,作为飞机设备的一部分完成训练功能。P5IS 采用内嵌式设计方案后,通过与载机共享大气、惯导和 GPS 等数据,实现了设备功能的高度综合化,大大减小了设备的体积、重量和功耗。在无线通信网络方面,为了与外挂式 P4, P5 兼容, P5IS 仍然采用了专用的通信频段,但在技术实现上采用了孔径综合技术,即与飞机其他设备共享天线孔径。

3.2 与虚拟战场态势结合扩展战场环境

在 F-35 飞机的研制过程中运用了一项新技术,称为嵌入式训练(Embedded Training, ET)技术,该技术的特征是通过构建虚拟战场环境和武器系统,营造逼真的复杂战场环境,提高训练的效费比^[19]。F-35 的嵌入式训练系统(Embedded Training System, ETS)分为 P5IS 和虚拟训练模型(Virtual Training Model, VTM)两个部分,如图 4 所示。

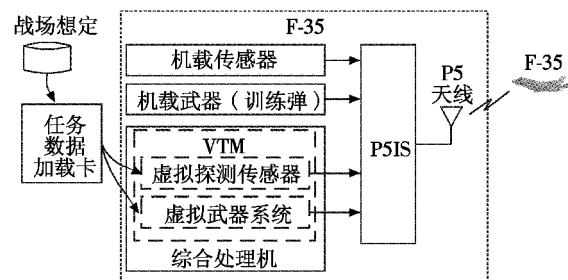


图4 F-35 ETS 功能框图

Fig. 4 Block diagram of F-35 ETS function

VTM 由美国国家航空航天实验室(National Aerospace Laboratory, NLR)和荷兰空间(Dutch Space, DS)公司共同研制,用于建立虚拟的战场环境,提供虚拟的探测传感器与武器系统,实现虚拟超视距空战训练。VTM 的功能完全由软件实现,驻留于综合核心处理机(Integrated Core Processor, ICP)中,实际上相当于在实际任务系统之上增加了一套新的任务系统,通过任务

加载数据,可构建虚拟的战场环境和机载武器^[20]。

在 F-35 战机中,P5IS 用于实现实装对抗训练,VTM 用于扩展战场环境。通过这种真实环境和虚拟环境交互融合,可使飞行员体验更复杂的战场环境,在更严酷条件下掌握战斗技能。

4 结束语

ACMI 是世界大国空军在进行空战对抗训练时普遍采用的训练装备之一,它以飞机外挂或内置设备形式投入使用,不影响原机系统的操作使用,能够在空战对抗训练过程中对空战态势、训练安全等进行有效的监视,更主要的是能够实现机载武器的模拟攻击仿真计算,在不投放真实武器的情况下训练飞行员熟悉飞机平台和武器系统,理解复杂战场环境,掌握空战技术和战术。

本文针对美军 ACMI 的典型结构、关键技术和发展趋势进行了论述,以期能为我国空战对抗训练装备的建设与发展提供借鉴与参考。

参 考 文 献

- [1] Cubic Defense. Training products and systems capabilities and commitment [EB/OL]. [2014. 09. 01]. http://www.idexuae.ae/ExhibitorLibrary/1403/10717_Training_Capabilities_Brochure_2.pdf.
- [2] The National Guard Association of the United States. Rangeless Air Combat Training System (ACTS) [EB/OL]. [2014. 09. 01]. <http://www.ngaus.org/sites/default/files/pdf/ACTS%20FY13.pdf>.
- [3] HUNTLEY C. Final Environmental Impact Statement [EB/OL]. [2014. 09. 01]. <http://www.nellis.af.mil/shared/media/document/AFD-080404-038.pdf>.
- [4] GERALD R S. Performance measurement and the navy's Tactical Aircrew Training System (TACTS) [R]. U. S. Department of Defense, Washington D. C., ADA110669, 1981.
- [5] 丛伟,景博. 美国空军空战训练系统的发展历程和启示 [J]. 电光与控制, 2011, 18(7): 55-59. (CONG W, JING B. Development and revelation of USAF air combat training system [J]. Electronics Optics & Control, 2011, 18(7): 55-59.)
- [6] Cubic Defense. P5 CTS/TCTS Air Combat Training System [EB/OL]. [2014. 09. 01]. <http://www.cubic.com/LinkClick.aspx?fileticket=r9TghSawlv0%3D&tabid=294>.
- [7] DRS Training & Control Systems. DRS Air Combat Training System [EB/OL]. [2014. 09. 01]. <http://www.drs.com/Products/Training/PDF/DACTS.pdf>.
- [8] WAYNE L W. Development of a composite measure for predicting engagement outcome during air combat maneuvering [R]. U. S. Department of Defense, Washington D. C., ADA52344, 1982.
- [9] Arotech Corporation. Annual report 2005 [EB/OL]. [2014. 09. 01]. <http://www.arotech.com/compro/annrep05.pdf>.
- [10] 丛伟,景博,黄雷,等. 量化的近距空战训练对抗态势分析方法 [J]. 火力指挥与控制, 2012, 37(4): 70-72. (CONG W, JING B, HUANG L, et al. Quantitative engagement situation analysis method in close air combat training [J]. Fire Control & Command Control, 2012, 37(4): 70-72.)
- [11] BREIDENBACH T, CIAVARELLI A. Measurement methods and metrics for aircrew assessment during close-in-air-to-air [R]. U. S. Department of Defense, Washington D. C., ADA168066, 2008.
- [12] DE MORAES R M, DOS SANTOS, MACHADO L. A modified naive Bayes to online training assessment in virtual reality simulations [C]//Proceeding of the 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering, 2008: 1373-1378.
- [13] MAJOR J, BO F. Mission debriefing system [R]. RTO HFM Workshop, Netherland: RTO, 2000: 1-7.
- [14] GERALD L T, STOFFER R. Performance measurement and the tactical aircrew combat training system [R]. U. S. Department of Defense, Washington D. C., ADA114669, 2003.
- [15] Aerosoft GmbH. F-16 Fighting Falcon manual [EB/OL]. [2014. 09. 01]. http://www.aerosoft2.de/downloads/fl6/Manual_F16_Engl.pdf.
- [16] 樊晓光,李建勋,丛伟,等. ACTS 数据有效性检验算法仿真 [J]. 电讯技术, 2010, 50(5): 1-7. (FAN X G, LI J X, CONG W, et al. Simulation of air combat training system data validity inspection algorithm [J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(5): 1-7.)
- [17] 朱孝政,马江峰,何林远. 机载任务记录器中数据记录器组件的设计与实现 [J]. 电子设计工程, 2012, 20(7): 41-43, 48. (ZHU X Z, MA J F, HE L Y. Airborne mission recorder data logger component design and implementation [J]. Electronic Design Engineering, 2012, 20(7): 41-43, 48.)
- [18] GARDNER M T, AMBURN G P. Simulation-based remote debriefing for red flag missions [C]// IEEE International Conference on System of Systems Engineering, 2005: 300-307.
- [19] KLAUS H B. Training with embedded simulation [R]. NATO, Brussels, RTO-MP-MSG-060, 2010.
- [20] BILLS C G, FLACHSBART B, KERN S, et al. F-35 embedded training [R]. NATO, Brussels, RTO-MP-HFM-169, 2011.