

文章编号: 2095-4980(2024)01-0054-09

联合战术通信系统的发展及其应用

云 超, 谭志强, 鲁 航, 蒋攀攀, 黄立刚

(63891 部队, 河南 洛阳 471000)

摘 要: 联合战术通信系统(JTRS)是美军各层次网络空间能力建设和发展的重要通信装备,是实现其“战术级网络空间优势”的重大举措。针对 JTRS 最新动态及其调整变化,给出了 JTRS 的进展情况,包括 JTRS 电台演进和软件通信体系结构规范(SCA)标准;深入研究了 JTRS 电台体系架构和典型组网结构,并对 JTRS 的主要波形、相关电台进行了梳理分析与归纳总结,并对 JTRS 发展动态进行了分析展望。通过对 JTRS 发展及其应用进行深入研究,能够为战术互联网和新型软件无线电电台的发展提供借鉴,从而促进我国军事通信装备跨越式发展。

关键词: 联合战术通信系统; 软件无线电; 体系结构; 主要波形; 相关电台

中图分类号: TN951

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2022093

Development and application research of Joint Tactical Radio System

YUN Chao, TAN Zhiqiang, LU Hang, JIANG Panpan, HUANG Ligang

(Unit 63891 of PLA, Luoyang Henan 471000, China)

Abstract: Joint Tactical Radio System(JTRS) is an important communication equipment for all levels of cyberspace capabilities development and construction for US army, which is the major initiative for realizing the advantages of tactical cyberspace. The overview of JTRS is expounded, including the radio evolution and specification of Software Communication Architecture(SCA) standard. Then the radio station of JTRS architecture and typical networking construction are studied in detail. The primary waveforms and related radio stations of JTRS are analyzed and the latest developments are expected. This work can provide reference for the development of new tactical Internet and software defined radio.

Keywords: Joint Tactical Radio System; software defined radio; architecture; main waveform; related radio station

联合战术通信系统(JTRS)是美军实现联合指挥控制的重要通信装备,已成为数字化战场环境中作战人员通信的主要手段。JTRS 以提供应用软件可移植能力、提倡使用商业标准、支持波形模块的重用、建立能不断演进的商业框架和体系结构为目标,最终实现一个模块化、可互操作、作为网络节点工作的软件定义无线系列电台,能够将陆海空作战人员网络连接到全球信息栅格(Global Information Grid, GIG)^[1]。JTRS 是一种多波段、多模式和网络化传输语音、视频和数据信号的无线电系统,已成为当今和未来美军军事通信的重要组成部分。

在战术无线通信装备领域,美军经过多年的发展,突破了相关软硬件基础技术,形成一套全新的基于软件无线电的战术通信装备研发、生产、管理和采购体制。目前,美军已发展形成了单兵、背负、车载、机载、舰载等全系列战术通信电台,并已大批量装备部队。欧洲各国也都有多个战术通信电台的研制和列装计划。JTRS 作为美军当前最新的无线电传输系统,其发展思路和采用的技术路线对新型军用通信系统的发展趋势具有很强的引领示范作用。通过研究美军 JTRS 系统的技术体制、体系架构、主要波形与电台等,能够为相关通信系统研究提供借鉴和参考,对新型军事通信装备建设发展具有现实意义。

1 JTRS 进展情况

随着未来数字化部队对通信速度、容量、互通性的更高要求,设备的规范化、小型化、频段扩展、减少电台品种和数量成为目前军事通信亟待解决的问题。为此,美国国防部倡议的 JTRS 计划开发一种适用于所有军种

要求的电台系统，覆盖 2 MHz~2 GHz 频段(后续扩展到 2.5 GHz)，后向兼容传统系统，实现多种新的先进波形，极大增强部队之间的互相通信能力^[2]。

1.1 JTRS 概述

随着通信指挥控制情报系统(Communication, Command, Control and Intelligence systems, C³I)在战争中发挥的作用日益突出，美军发现其现役战术通信装备存在诸多不足，主要表现在：不能实现互连互通互操作；不能工作于多个频段，波形少；频带窄，传输速率低，不能支持多种业务；不能实现硬件/软件技术升级；研制生产使用和维护成本高。为弥补上述不足，美国国防部 1997 年启动了 JTRS 计划。这一重要的战术通信计划欲采用 JTRS 代替三军 20 多个系列 100 多种共计 75 万部电台。2005 年 1 月，美国国防部成立了联合计划执行办公室(Joint Programme Executive Office, JPEO)专职管理 JTRS 计划，开发一种适用于所有军种要求的电台系统。JTRS 将成为数字化战场环境中作战人员通信的主要手段，是未来军事通信的基本组成部分。

JTRS 利用软件无线电技术，联合工业部门共同制定了统一、开放的体系结构标准，按照该标准研制一个具有开放体系结构和可灵活配置、可升级的战术电台系列。实现平台与波形的松耦合，制定共用波形，实现体系装备的持续演进^[3-5]。JTRS 是一种硬件和软件都采用开放系统结构的、多频段多模式、软件可重编程的无线电系统，具有灵活组网的能力。

JTRS 采用开放的体系结构，实现波形软件与硬件平台分离，研制可灵活配置、升级方便的战术电台系列，解决各军种战术通信系统频带、波形单一，非模块化结构成本高、升级难等问题。经过多年的发展，JTRS 覆盖网络企业域、地面域、机载、海上和固定站域、特种电台等多个应用领域，其主要 4 个域及其电台组成如图 1 所示。

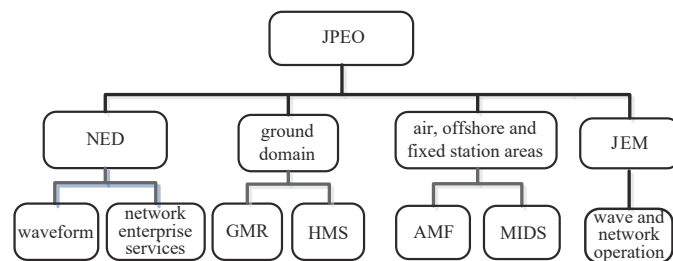


Fig.1 Four domains and radio composition of JTRS

图 1 JTRS 四个域及其电台组成

1) 网络企业领域(Network Enterprise Domain, NED)。主要包括：波形和网络企业服务。

2) 地面域。主要包括：地面移动电台(Ground Mobile Radios, GMR)；手持背负小型电台(Handheld, Manpack and Small Form Fit, HMS)。

3) 机载、海上和固定站域。主要包括：空海固定台(Airborne, Maritime/Fixed station, AMF)；多功能信息分发系统(Multifunctional Information Distribution System, MIDS)。

4) 特种电台。联合战术通信系统(JTRS)增强型多波段组内/组间无线电台(JTRS Enhanced Multiband Inter/Intra Team Radio, JEM)。

为加强管理，2005 年 1 月，美国国防部成立了 JPEO，专职管理 JTRS 计划。2006 年 3 月，美国国防部批准 JPEO 提出的 JTRS 重组计划，重组后的计划将所有研制工作归纳为 5 个重点项目领域。2011 年 10 月，由于成本和性能问题，美军取消了 GMR 项目。2012 年，美国国防部关闭了 JTRS JPEO，将其采办职能转交给陆军，并授权陆军联合战术组网中心(Joint Tactical Networking Center, JTNC)管理 JTRS 无线电台的采购任务。JTRS 办公室的关闭，是期望以一种更为合理的方式继续推进软件无线电项目，而 JTNC 的职能重点在波形和网络的运行管理，并负责利用开放标准和基于波形互操作性的认证促进低成本电台采办。

从 2012 年至今，JTRS 所有的硬件项目办公室都已经转移至各军兵种。HMS JTRS 和 AMF JTRS 由美陆军负责；MIDS JTRS 在美海军的监督下开展；已经取消的 GMR 项目现在以非开发项目的形式采办，即中层组网车载无线电台(Middle Networking Vehicle Radio Station, MNVR)；JTRS NED 计划更名为联合战术网络(Joint Tactical Network, JTN)计划。JTRS 项目已逐步调整转型为 JTNC，将利用最近 10 年 JTRS 开发所取得的巨大技术进步，并利用行业开发、构建和提供高成本效益的硬件解决方案。

1.2 JTRS 电台演进

到目前为止，JTRS 项目开发的部分领域电台设备已相继问世，主要包括：a) GMR(2011 年被终止，后被

MNVR 代替, MNVR 又于 2018 财年被停止); b) HMS; c) AMF(目前已被调整为小型空中联网电台(Small Air Network Radio, SANR); d) MIDS; e) JEM 共 5 个类型。

2012 年, JTRS 项目调整转型为 JTNC, 原 JTRS 硬件项目剩下 3 个: HMS、AMF 和 MIDS。AMF 和 HMS 成为陆军项目, MIDS 则归海军管理。JTNC 为美国国防部牵头开发和维持软件定义无线电波形和网络管理器, 确保战术网络互操作性能^[6-8]。

JTRS 在配合美陆军同步项目未来战斗系统(Future Combat Systems, FCS)过程中, 多次参与了 FCS 的演示, 并随 FCS 螺旋式推进的开发策略分阶段输出技术成果, 从而增加当前部队的战备能力。2011~2013 年, JTRS 与战术级作战人员信息网(Warfighter Information Network-Tactical, WIN-T)增量 2 网络作为网络的核心设备组件多次参与网络集成鉴定等测试验证, 其目标是实现美陆军战术通信网络的快速集成和成熟应用。

通过快速反应采办, 能够解决已确定能力的不足, 并以较低成本实现新技术在整体网络的插入。这种发展策略在增强当前部队战备能力的同时, 降低了项目的技术难度, 并为项目的技术成果提供了现成的试验平台、畅通的反馈渠道以及合理的改进依据, 起到一举多得的效果。

1.3 SCA 规范标准

JTRS 计划旨在实现三军互联互通, JTRS 成立了 JPEO, 提出了系统顶层设计规范——软件通信体系结构(SCA), 全面定义了 JTRS 设备软、硬件体系架构及波形接口规范, 实现了战术通信装备软件组件配置、管理和互联互通的标准化^[9]。

目前 SCA 规范已成为无线通信领域的国际标准, 它采用软件无线电的设计思想, 将模块化、标准化的硬件单元通过标准接口构成基本平台, 根据实际需求, 借助软件动态加载, 可形成系列化装备, 实现通信装备互联互通、灵活扩展、减型增效, 满足各种通信波形的灵活性和开放性要求。

SCA 规范的开放体系架构给整个战术无线通信装备的研发、生产、管理、采购和维护体制带来了较大的变化。装备的研发引入了平台开发和波形开发两种不同的形式, 并通过标准化的接口规范和军用标准来规范战术无线通信装备的研发; 实现通信装备硬件平台、软件平台和通信波形的分离和专业化发展, 可形成宽频段、多功能、动态配置、灵活组网的系列战术通信装备, 对于提升装备的“三互”(互联、互通、互操作)能力和“三化”(通用化、系列化、组合化)水平, 减少装备品种, 降低装备研制、升级和维护成本等具有重要意义。

2 JTRS 体系架构

JTRS 成立了 JPEO, 提出了 SCA, 全面定义了 JTRS 设备软、硬件体系架构及波形接口规范, 实现了战术通信装备软件组件配置、管理、互联互通的标准化^[10]。

2.1 JTRS 电台体系架构

JTRS 电台采用多频段、多模式, 一部电台可以完成多项功能。JTRS 体系结构以软件可编程和模块化为基础, 既兼容传统波形/电台, 又支持功能不断升级。其主要特点为多频段多模式、多信道、可网络互联, 使 JTRS 各种型号的电台在复杂的战场环境下不仅能做到相互之间兼容互通, 还可通过其跨频段、跨时空的横向和纵向网络, 为分布在广阔战区内不同地域的美国陆、海、空和海军陆战队提供远程超视距且安全可靠的语音、数据、图像和视频通信。

JTRS 电台使用众多战术无线电构建模块化、多波段和多模式的移动自组网(Mobile Ad Hoc Network, MANET), MANET 能在作战现场自由移动和无缝接入更高层次的固定网络, 传输时间敏感信息(数据、语音、视频、图像)^[11-12]。JTRS 动中通能力支持空中、地面和海上部队实现动态战术通信连接。

JTRS 的体系结构是以美国国防部可编程模块通信系统综合小组指导文件定义的 JTRS 参考模型(System Reference Model, SRM)为基础, 增强互通能力。SRM 包括实体参考模型(Entity Reference Model, ERM)和软件参考模型(Software Reference Model, SwRM), 其中 ERM 包含 8 个功能实体: a) RF; b) Modem; c) Black-side 处理; d) 信息系统保密; e) 网际互联; f) 系统控制; g) 人机接口; h) 一种临界系统(为满足国家安全局签署的要求而设的黑色互连和红色互连)。SwRM 涉及 SRM 中的各功能实体软件及这些实体之间的软件关系。

典型的 JTRS 电台体系结构如图 2 所示, JTRS 系统采用 SCA 实现系统内部模块之间的通信, SCA 采用开放式体系结构框架, 实现通信平台组件的可移植性、可互换性、互操作性、软件重用性^[9]。JTRS 的开放性和模块化主要在软件中实现, 因此, 要求软件: a) 模块化, 能适应不同硬件结构; b) 可扩展, 能适应质的增长(如功能、波形、网络、接口的增加); c) 可伸缩, 能适应量的增长(如模块加倍以适应多个信道); d) 可移植, 与硬件、互

连方式、操作系统独立；e) 可靠，将采用国家安全局“委托功能完备模块”进行设计；f) 可复用，能提供波形、功能和基元库及其维护；g) 开放性，将利用商用语言、接口和工具。

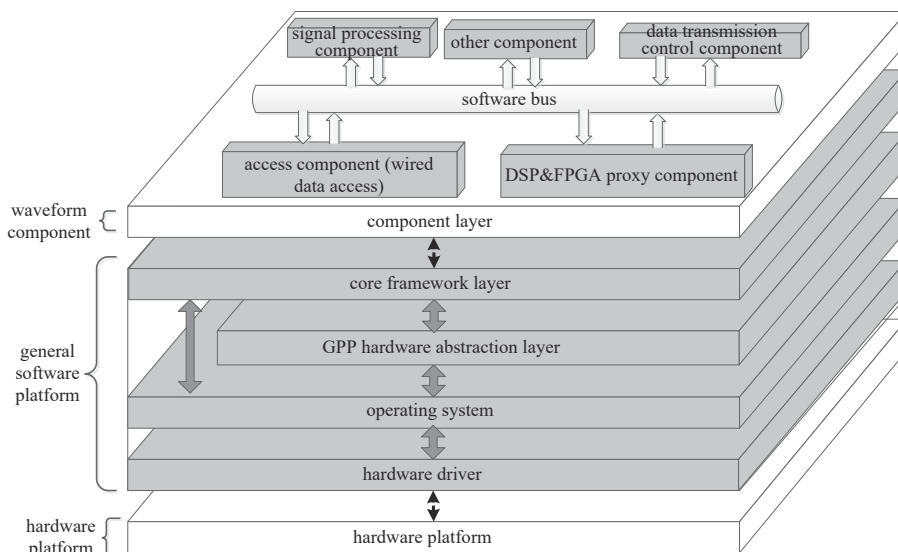


Fig.2 Typical JTRS architecture
图2 典型JTRS电台体系结构

2.2 JTRS 典型组网结构

美陆军战术通信系统一般是指集团军以下的各级通信系统，其主要作用是为作战部队提供保障战役或战斗顺利进行所必须的通信联络。美陆军战术通信网典型旅/营/连级网络架构如图3所示，其网络架构包含3层：底层由士兵无线电波形(Soldier Radio Waveform, SRW)节点支持；中间层由宽带网络波形(Wideband Network Waveform, WNW)节点支持；上层由WIN-T系统中研制的高频段组网波形(High-band Network Waveform, HNW)支持。骨干网(HNW)层之下是WNW层，其具有2个子层：一个子层用于连接车际之间的通信，另一个子层用于全局连接。末端SRW层也分为2个子层：一个用于士兵通信，另一个用于传感器组网。

JTRS 中研制的 WNW 和 SRW 波形给前沿无线战术通信性能带来了革命性的提升，是传统的单信道地面和机载无线电系统 (Single-Channel Ground and Airborne Radio System, SINCGARS) 或其他波形无法实现的。通过提升带宽以及这两种波形高级网络能力的同步支持，在战场战术边缘的陆海空战斗人员无需卫星链路，能以一种及时可靠安全的方式收发军事行动相关信息。所有 WNW 和 SRW 节点之间的通信通过陆地无线电频率(RF)链路进行，且无论是否存在 GPS，都能够支持移动操作^[13]。

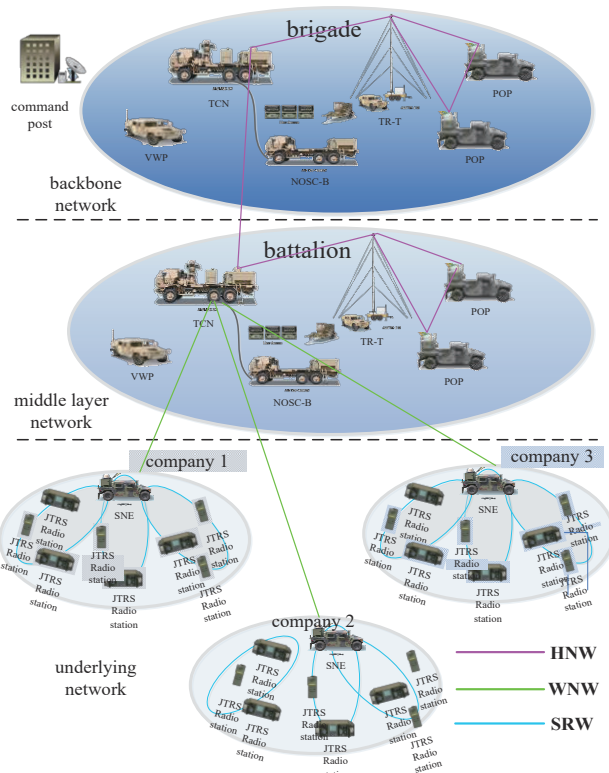


Fig.3 Typical brigade battalion company network
图3 战术通信网典型旅/营/连级网络架构

3 JTRS 主要波形与电台

JTRS 电台通过加载联合作战所需的多种波形，实现通信、导航、定位、识别、数据链等多种战术无线通信功能，最终为 GIG 提供一个无缝的战术通信网络基础设施。JTRS 按面向对象方式对硬件属性进行分类，硬件平

台架构包含射频、保密、数据总线、处理器及供电等部分^[14]。JTRS 电台频谱范围为 2 MHz~2 GHz(后续扩展到 2.5 GHz), 覆盖了现役电台的各个频段; 同时, 其定义软件无线电体系架构的标准、软件平台、硬件平台、波形设计规范也适用于更高频段的扩展, 实现从高频到极高频的架构统一, 从而实现海陆空三军互联、互通、互操作能力。

3.1 主要波形

波形的实现主要通过硬件抽象、软硬分离; 同时, 使用通用处理器实现波形的信息处理, 达到扩展的功能^[15-16]。美军 JTRS 按照优先发展宽带网络波形的原则, 开发了 WNW、SRW、联合机载网络-战术边界波形 (Joint Airborne Networking-Tactical Edge, JAN-TE)、移动用户目标系统波形 (Mobile User Objective System, MUOS) 等新波形。除上述新增波形外, JTRS 还兼容了传统的 SINCGARS、EPLRS、Link-16、UHF SATCOM、HaveQuick I/II、HF 等已有波形。

JTRS 的波形主要在 NED 域进行研制, 包括 14 种传统波形 (Bowman VHF、EPLRS、HaveQuick II、HFSSB/ALE、HF5066、Link-16、SINCGARS、UHF LOS、VHF LOS、UHF DAMA SATCOM 181/182/183/184)、3 种移动自组织组网波形 (WNW、SRW 及 MUOS 波形)。在美陆军 WNW 波形和 SRW 波形得到了广泛应用, 为兼容上一代的战术互联网, EPLRS、HaveQuick II、SINCGARS 三种波形也在系统应用范围之内。

3.2 相关电台

JTRS 电台主要包括: GMR 电台 (后期 MNVR 电台)、HMS 电台、AMF 电台和 MIDS 设备。

1) GMR 电台

JTRS 中的 FlexNet™-Four 设备为四信道的 GMR 电台, 如图 4 所示。GMR 电台支持最大四通道的配置, 由功率单元、统一收发信机单元、网控与信息安全单元、控制终端组成, 其中统一收发信机单元由基带处理模块和收发信机模块构成, 可覆盖 2 MHz~2 GHz 频段, PA 通过分段实现覆盖, 四通道的 UT 和 NIU 部署在车载适配器上。



Fig.4 FlexNet™-Four radio stations of JTRS
图 4 JTRS 中 FlexNet™-Four 电台

FlexNet™-Four GMR 电台是美军 JTRS 的重要组成部分, 该电台基于 SCA 架构, 覆盖短波、超短波等频段, 并具有多个信道、统一的综合化显示设备; 业务接口为以太网口, 大大提升了系统的机动性、互通性、多功能等能力。GMR 设备并未大量列装美国陆军, 其原因主要是 FCS 暂停, 而 GMR 作为 FCS 系统配套设备, 不满足其他作战平台的要求; 此外, GMR 价格高昂, 因此并未大量装配部队, 但模块化、综合化、集成化设备是未来发展的方向。

美陆军广泛装备了 AN/PRC-117G 单信道背负/车载电台, 如图 5 所示。AN/PRC-117G 于 2006 年 10 月面世, 2007 年开始全速生产, 该电台可运行 JTRS 波形 (WNW、SRW 等)。据航空防务网 2010 年 3 月 25 日报道, 哈里斯公司接受了美海军陆战队价值 7 300 万美元的合同, 生产 AN/PRC-117G 电台^[17]。据哈里斯公司网站 2010 年 7 月 14 日报道, 哈里斯公司已收到美国防部一份 1 100 万美元的订单, 生产 AN/PRC-117G 多频段便携式电台。2015 年 8 月, 美国海军陆战队向哈里斯公司订购了价值 36 亿美元的 117G 电台。



Fig.5 AN/PRC-117G radio station of MNVR for JTRS
图 5 JTRS 中 MNVR 电台 AN/PRC-117G

在不断发展过程中, 后期采用了相对 GMR 成本更低的双信道 MNVR 电台 AN/VRC-118, 如图 6 所示。AN/VRC-118 以 AN/PRC-117G 电台为基础研制, 加载 WNW 波形, 并用于美军 WIN-T 系统。2016 年 10 月, 美陆军与哈里斯公司签授大约 1 000 万美元的 AN/VRC-118 初始生产合同, 于 2018 和 2019 年列装部队。



Fig.6 AN/VRC-118 radio station of MNVR for JTRS
图 6 JTRS 中 MNVR 电台 AN/VRC-118

2) HMS 电台

HMS 系列电台目前包括: 单信道手持步兵电台 AN/PRC-154(A) (如图 7 所示)、双信道背负电台 AN/PRC-155 (第 1 代)、AN/PRC-158 (第 2 代)、AN/PRC-162 (第 2 代)、双信道手持指挥员电台 AN/PRC-163、AN/PRC-148C 等。

美军正通过 HMS 项目持续推进双信道手持指挥员电台(HMS LR)的开发应用。通过整合 TSM 等先进商用波形的军事应用,全面提升第 2 代背负电台和新一代指挥员电台的性能和应用。

3) AMF 电台

AMF JTRS 是软件可编程的多频段、多模式移动 AdHoc 组网电台,可为美陆军航空平台同时提供话音和数据通信。电台所运行的网络可支持通用作战图、态势感知和全战场任务指挥系统的互操作。美军要求 AMF 能确保士兵能够在所有任务区及战斗作战环境内进行横向及纵向话音和数据通信。通过将数据网络延伸至连及连以下梯队,AMF 有助于填补美军能力缺口,使平台可享受网络服务,并实现美陆军航空平台与陆军地面域及联合空中网络域的连接。

AMF 电台采用一体化设计原则,小型机载平台(A)、舰载(M)及固定站(F)均采用软件无线电的开放式体系架构,实现平台的开放性、通用性和可扩展性;采用公共的硬件组件,实现平台的可重构及灵活升级;采用公共的软件平台,实现多种波形的灵活配置及平台间的互联互通。

AMF 采购的具体设备称作 SANR。SANR 是一种双通道、软件定义、经美国国家安全局 1 类认证的组网电台,为移动和动态作战环境提供无缝、实时信息,可满足陆军航空战术通信要求。SANR 通过支持中间层和低层战术网络的先进组网能力,为陆军航空平台提供更高的数据吞吐量,同时保留 SINCGARS 能力。SANR 将替代当前陆军航空平台(包括侦察、攻击、运输和通用)上的 SINCGARS ARC-201D 电台。经项目调整,目前机载与海上/固定站 JTRS(AMF JTRS)由美陆军主管。

4) MIDS 设备

MIDS JTRS 是一种安全可伸缩的模块化无线抗干扰数字信息系统,主要向机载、地面、海上以及联合部队以及盟军作战平台提供战术航空导航、Link-16 以及 J-Voice。MIDS 通过数字与语音通信提供实时低成本信息以及态势感知。MIDS JTRS 作为下一代 MIDS 产品,是在 MIDS 小容量终端(Low Volume Terminal, LVT)基础上发展起来的 4 通道无线电台,目的是将 MIDS 与 JTRS 及 SCA 相兼容,在保持 MIDS LVT 尺寸的同时集成 JTRS 能力。目前的 MIDS LVT 只能支持传统的 Link-16 和 TACAN,而 MIDS JTRS 除了有一个专用通道用来支持 Link-16 和 TACAN 外,还有 3 个 2 MHz~2 GHz 的可编程通道用来支持多种符合 SCA 的 JTRS 波形。该电台运行的初始波形为 Link-16,未来增量还可能支持的其他 JTRS 波形。JTRS 中典型四通道 MIDS 设备如图 8 所示,主要装备于机载平台。其中一个通道可以运行 Link-16 波形,其余 3 个通道支持 WNW、SRW 和 JAN-TE 波形(或其他波形),可与采用相同波形的通信节点互通。

美海军和空军正在为许多平台部署 MIDS JTRS 系统,如 F/A-18E/F、RC-135 “联合铆钉”、EC-130H “罗盘呼叫”飞机等。为解决第五代隐身飞机和第四代战斗机之间的互操作通信缺口,使之能共享任务关键数据,承包商 DLS 公司利用 MIDS JTRS 进行“多功能先进数据链”的演示,这种能力可使第四代战斗机接收到更加详细的信息以改善其态势感知^[18-19]。

4 JTRS 发展趋势

4.1 最新动态

截止 2021 年年底,JTRS 计划很多构想和目标都已基本实现。JTRS 计划中软件的复用已经开始,多家供应商已付费获得了 JTRS IR 中的波形软件,并正将其应用到各自的无线电设备中。从 2019 年 7 月开始,美海军计划分批采购最新版 MIDS JTRS 电台,其包含 WNW 波形、SRW 波形以及一些 JAN-TE 的未来波形,能够在机载、车载、舰载和手持等不同平台加载相同波形的 JTRS 电台之间互通,作为网络节点实现不同形式节点之间的安全通信。



Fig.7 AN/PRC-154(A) radio station of HMS for JTRS
图 7 JTRS 中 HMS 电台 AN/PRC-154(A)



Fig.8 MIDS device of JTRS
图 8 JTRS 中 MIDS 设备

4.2 关键技术

JTRS 关键技术主要包含系统体系架构、设备主要能力和系统兼容能力。

4.2.1 系统体系架构

JTRS 制定了详细的战术电台软硬件体系结构, 目前 JTRS 硬件架构已趋于成熟, 已定义了详细的战术电台硬件结构, 主要包含射频模块、调制解调器、红/黑区处理器、信道加密模块和输入/输出等; 而软件标准 SCA 也随着平台不同需求不断地演进发展, 其软件结构定义了一个包含核心框架、中间件和操作系统等组成的通用运行环境, 能够使 JTRS 波形部署在多种无线电硬件设备、平台当中, 实现战术通信功能。未来 JTRS 的发展主要通过波形升级方式实现新的功能, 软件通信架构 SCA 主要面向通用处理环境, 能够在更加广泛操作环境中提供一种通用的描述方法, 使整个 JTRS 具备更加开放的体系结构, 支持实现新功能快速、便捷的迭代升级。

4.2.2 设备主要能力

1) 运算处理能力。为适应未来更加复杂波形的应用, JTRS 硬件平台必须具备能够满足波形使用条件的强大运算处理能力。随着 FPGA 和 DSP 处理能力的不断发展, 硬件平台将集成更高速的、更大容量的通信接口和数据存储器及功能更强大的各种处理器, 能够为 JTRS 提供强大运算能力和数据交互能力, 支持新波形的扩展与应用。

2) 组网通信能力。为支持美军未来网络中心思想的贯彻实施, 支撑战场环境下不同军兵种之间互联互通的应用需求, JTRS 需具备更强大的高带宽组网能力和发展丰富多样化网络协议栈的能力, 能够适应于军事通信对传输时延、传输带宽、服务质量(QoS)及网络拓扑变化的自组网要求, 并向网络宽带化和智能化方向不断发展。

3) 设备体积功耗。JTRS 作为战术通信系统终端设备, 必须适应多种不同类型平台。终端设备必须跟随作战人员或作战平台在战场范围内灵活机动, 对设备的体积、尺寸、质量、功耗等要求较高, 特别是小型手持终端设备, 要求更加紧凑小巧、功耗更低、质量更轻。

4.2.3 系统兼容能力

JTRS 中重点开发的波形主要包含 WNW、SRW 和 JAN-TE, 都已用于美陆军最新战术级作战人员信息网和美空军宽带数据链系统当中, 并作为转型通信体系结构和 GIG 的组成部分, 是 GIG 的无线基础。JTRS 具有频带交叉、多波形并用、IP 路由能力, 能够支撑全域网络连接, 提供语音、视频和数据业务, 确保联合作战任务的实施; JTRS 采用开放体系架构, 支持新技术功能的不断扩展完善。

JTRS 虽然经过不断调整, 但其基于 SCA 的“系列软件电台”稳步实施。在不断实践积累当中, 相对冒进求大而全的做法, 采用分阶段螺旋式开发方式进行发展, 降低了开发的风险程度。JTRS 计划还将把联网设备与 GIG 连接, 并进行信息交互, 进一步降低费用并提供强大的信息互通功能。

4.3 典型应用

4.3.1 在美陆军中的应用

JTRS 计划中研发的 WNW 和 SRW 已应用到美军最新 WIN-T 中, WIN-T 是美国陆军当前及今后模块化部队开发的一种自组织、自愈合、自定义的综合网络, 是美军陆战网的核心部分, 也是美陆军的核心战术网。

1) JTRS WNW 提供了高速数据吞吐量、改善态势和指令快速下达, 装备在有人操作的车辆通信系统, 为地面/机载、域内/间提供干线路由基础设施, 组成了 WIN-T 地面战术网的干线, WNW 网络规划同时提供主干链路(第 2 层)和子网链路(第 1 层)的连接, 并提供这两层之间的网关功能。

2) JTRS SRW 为小型作战单元部队和无人系统提供局域网连接和通信服务, 包括语音、数据和视频功能, 是陆军底层梯队战术网络的基石, 主要用于连、排、班部队以及单兵。SRW 网络通过网关连接到 WNW 网络。

4.3.2 在美空军及美海军中的应用

1) JTRS 计划中增加了 MIDS 集群, 即 MIDS JTRS 将保持 MIDS-LVT 结构。MIDS-LVT 共包含 4 个信道, 其中 1 个信道具有 Link-16 功能, 并保留 200 W 本机发射功率, 另外 3 个信道提供 2 MHz~2 GHz(后期扩展到 2.5 GHz)的 JTRS 波形功能, 具有 JTRS 多通道电台所具有的无中心、自组网等 JTRS 全部功能, 增强了地-空通信能力。

2) JTRS 计划中增加了下一代通用数据链系统(Common Data Link Management System, CDLS)。美海军下一代 CDLS 旨在连接机载传感器和航空母舰及其他水面舰艇, 将机载传感器搜索到的信号和宽带图像传输到航母或其他舰艇。CDLS 支持多种波形, 一套系统能够支持加载传统 14 种数据链波形, 并制定了与 JTRS 兼容的联合战术无线电线的软件通信体系架构的公共数据链标准。

3) JTRS 计划中增加了战术目标瞄准网络(Tactical Targeting Network Technology, TTNT)。TTNT 吞吐量更高, 时延更低, 比 Link-16 更快更新精确信息^[6]。TTNT 作为 JTRS 计划中软件通信体系中波形的一个组成部分, 美军

希望任何一个 JTRS 系统平台都具备 TTNT 数据链能力，即 TTNT 数据链进入 JTRS 波形库当中，任何一种包含 TTNT 数据链硬件都能够运行。美海军计划将 TTNT 作为海军综合火力控制-防空系统的通信系统，未来美军各军兵种可以选择把 JTRS 软件移植到其专用设备、复用其他军兵种已经部署的设备或改装商用现货设备以满足其需求。

5 结论

JTRS 的重要意义在于改变了传统战术无线通信装备的研发、生产、管理和维护等流程，形成了多功能、动态配置的通信装备。通过构建通用化、标准化的开放性信息处理平台，不仅有利于实现不同体制的战术无线通信装备的互联互通，减少装备种类和数量，也能够显著降低战术无线通信装备的研发、升级和维护成本。JTRS 中采用的硬件平台通用化、波形功能软件化更是战术无线通信装备发展的趋势。

基于 SCA 技术的 JTRS 采用开放的体系结构，实现了波形与硬件平台分离，并研制可灵活配置、升级方便的战术电台系列，解决了各军种战术通信系统频带、波形单一，非模块化结构成本高、升级难等问题。经过多年的发展，JTRS 已覆盖地面域、机载、海上、固定站域和特种电台多个应用领域。

参考文献：

- [1] Joint Program Executive Office. Joint Tactical Radio System:software communications architecture specification[EB/OL]. (2006-5-15). https://media.defense.gov/2020/Feb/13/2002249106/-1/-1/1/SCA_VERSION_2_2_2.PDF.
- [2] 李晓陆,余翔,王琳. 软件无线电技术及其发展[J]. 移动通信, 2009,33(20):13-17. (LI Xiaolu,YU Xiang,WANG Lin. Software defined radio technology and development[J]. Mobile Communications, 2009,33(20): 13-17.) doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2009.20.003.
- [3] 杨小牛. 软件无线电原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2001. (YANG Xiaoniu. Principle and application of software defined radio[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2001.)
- [4] 吴坤兴. 美军的联合战术无线电系统(JTRS)[J]. 舰船电子工程, 2002(3):45-49. (WU Kunxing. Joint Tactical Radio System of US army[J]. Ship Electronic Engineering, 2002(3):45-49.) doi:10.3969/j.issn.1627-9730.2002.03.010.
- [5] JTRS JPO. Support and rationale document for the software communications architecture specification[M]. 2001.
- [6] 佚名. 美国及盟国装备新 JTRS 电台,实现更大机载网络[J]. 无线电工程, 2019,49(9):778. (Anon. The latest JTRS radio of US and its allies,which realize larger airborne network[J]. Radioengineering, 2019,49(9):778.)
- [7] 洪锡军,刘献科,张激. 基于 SCA 的无线通信技术研究[J]. 计算机工程, 2005,31(8):120-122. (HONG Xijun,LIU Xianke,ZHANG Ji. Research on common running platform for embedded applications[J]. Computer Engineering, 2005,31(8):120-122.)
- [8] 李霞,赵明生. FPGA 及动态可重构技术在软件无线电中的应用[J]. 微型机与应用, 2010,29(14):79-81,84. (LI Xia,ZHAO Mingsheng. Application of FPGA and dynamic reconfiguration technology in software defined Radio[J]. Microcomputer & Its Applications, 2010,29(14):79-81,84.) doi:10.19358/j.issn.1674-7720.2010.14.026.
- [9] Modular Software-programmable Radio Consortium. Software communications architecture specification MSRC-5000 SCA,v2.2[Z]. 2001.
- [10] 张靖志,郑娜娥,田英华. 基于软件无线电的无线设备指纹识别[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2020,18(1):72-76. (ZHANG Jingzhi,ZHENG Na'e,TIAN Yinghua. Radio frequency fingerprinting identification of devices using software radio[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2020,18(1):72-76.) doi:10.11805/TKYDA2018202.
- [11] LANZ D,NOVIKOV L. Common Interface to Cryptographic Modules(CICM)[EB/OL]. [2022-04-21]. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-lanz-cicm-02>.
- [12] 王海,张冬晔,李娟娟,等. 战术互联网[M]. 北京:国防工业出版社, 2020. (WANG Hai,ZHANG Dongye,LI Juanjuan,et al. Tactical internet[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 2020.)
- [13] 佚名. 作战人员战术信息网(WIN-T)指挥官手册 V1.6[Z]. 2014. (Anon. Warfighter Information Network Tactical commander's handbook[Z]. 2014.)
- [14] 刘春玲,苏文宇,杨阳. 低截获通信波形设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2020,18(1):61-65. (LIU Chunling,SU Wenyu,YANG Yang. Waveform design of low probability of interception communication[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2020,18(1):61-65.) doi:10.11805/TKYDA2018354.
- [15] BAILEY K. The army's tactical network empowers advanced goggle platform[EB/OL]. (2019-01-19). https://www.army.mil/article/230047/the_armys_tactical_network_empowers_advanced_goggle_platform.