



研究与开发

基于 SDN 的战术通信网络架构研究

刘台, 朱超, 程意, 王一鸣

(武汉中原电子集团有限公司, 湖北 武汉 430205)

摘要: 战术通信网络具有高动态、弱连接、低带宽和多链路备份等特性, 软件定义网络 (software defined network, SDN) 技术通过传统网络控制设备软硬件解耦, 将核心控制功能软件化, 通过集中控制策略获取全局视图, 从而实现资源的灵活调度与信道资源的高效利用, 推动战术通信网络朝着更加智能化的弹性适变网络发展。首先介绍了 SDN 的发展现状及优势, 分析了传统架构战术通信网络的若干问题, 并对 SDN 技术在外军战术通信领域的应用情况进行了分析, 提出了 SDN 在军事通信领域应用的可行性思路, 对应用场景进行了构想, 最后对 SDN 在军事通信领域的应用可行性进行了总结。

关键词: 战术通信网络; 软件定义网络; 集中控制; 弹性网络; 网络服务化

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022236

Research on SDN based tactical communication network architecture

LIU Tai, ZHU Chao, CHENG Yi, WANG Yiming

Wuhan Zhongyuan Electronics Group Co., Ltd., Wuhan 430205, China

Abstract: Tactical communication networks has high dynamic, weak connection, low bandwidth, multi-link backup, SDN (software defined network) technology decouples from hardware and software through traditional network control devices, software the core control functions, get a global view through centralized control policies, so as to realize the flexible scheduling of resources and the efficient utilization of channel resources, promote the development of tactical communication networks more intelligent and flexible adaptive. The development status and advantages of software defined network were firstly introduced, the problems of traditional architecture of tactical communication networks were analyzed, including the application of SDN in the field of foreign military tactical communication. Then, the feasible idea of the application of SDN in the field of military communication was put forward, as well as the application scenarios were conceived. Finally, the feasibility of the application of SDN in military communication was summarized.

Key words: tactical communication network, SDN, centralized control, elastic network, service-oriented network

收稿日期: 2022-04-14; 修回日期: 2022-08-10

基金项目: 国防科技创新特区 163 计划项目 (No.1916317ZD00701901)

Foundation Item: The National Defense Science and Technology Innovation Special Economic Zone 163 Plan (No.1916317ZD00701901)

0 引言

未来网络将朝着功能化、服务化的方向快速演进,软件定义网络(software defined network, SDN)技术具有转控分离的特点^[1],通过将核心控制功能迁移到通用服务器端,简化了设备的功能,使设备专注于数据转发^[2],朝着更加小型化、低功耗、国产化的方向发展。传统的网络交换设备主要基于目的IP地址进行匹配转发,转发规则单一,基于SDN的交换机采用基于流表的灵活匹配转发策略,匹配策略多样化,从而使数据的转发效率更高,转发更加灵活^[3]。控制器端由于汇总了网络信息资源,可以实现更加灵活的资源按需调度功能,网络拓扑变化时,可以通过全局视图实现网络的快速重组。由于网络通过集中控制实现组网,单个节点不用单独配置参数,可通过集中控制实现网络参数的快速分发,从而实现网络快速开通。通过资源的灵活调度,可以将网络进行切片,整个网络在SDN的集中控制架构下更具弹性,适配于各类业务。

虽然从网络控制设备和网络架构发展趋势来看,基于SDN技术的集中控制架构拥有较多的好处,但战术通信场景下存在带宽资源低、机动性强、战场环境复杂多变以及抗毁性要求高等特点,如何解决战术通信场景下存在的诸多问题,充分利用SDN技术的优势,从而促进战术通信技术的发展是本文首先需要考虑的问题。

1 传统架构战术通信若干问题

由于战术通信网络的高动态、低带宽和弱连接等特性,其一直采用传统分布式网络控制架构,随着用户对业务传输服务质量保证和网络快速开通的需求不断提升,传统分布式网络控制架构已显露诸多弊端。

(1) 封闭的网络架构

传统封闭式网络架构如图1所示,现有战

术通信网络的节点是封闭的,主要表现在以下两个方面。一是设备、网络和业务在设计 and 建设时已经紧紧捆绑在一起,缺乏灵活的应变和调整能力。这为后续的功能调整 and 开发带来巨大的工作量,导致软件升级困难 and 迭代周期长。二是网络节点的网络协议、信道控制协议、业务传输控制等通常由少数厂商制定,缺乏模块化和开放性设计,用户无法根据自身业务需求快速升级 and 优化网络,给网络服务升级 with 应用创新带来极大阻力。

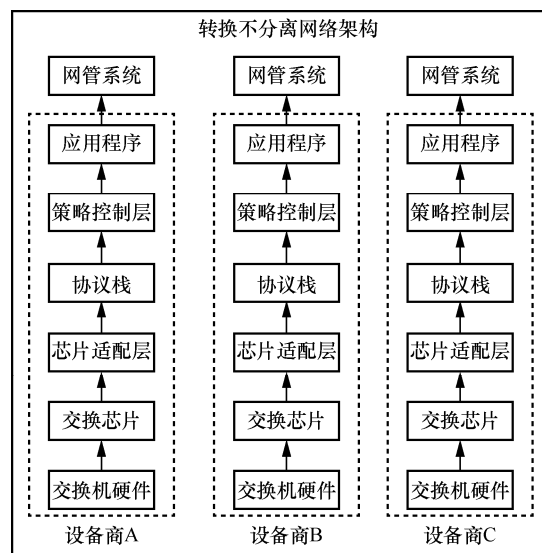


图1 传统封闭式网络架构

(2) 复杂的网络交换设备

现役战术通信网中,为满足不同方面的应用需求,研究人员设计了数量众多的协议,一般每种协议只能解决特定类型的网络问题,加之接口种类繁多,导致网络体制多样,业务无法统一承载^[4]。更进一步,为了满足某种网络需求,往往需要数个协议协同工作,这种特性使得网络设备必须能理解 and 处理大量的协议标准,或增加协议转换,导致军用战术通信网络设备异常复杂,需要大量的售后、技术支持或系统设计人员长期保障 with 维护,极大地增加了网络维护成本。



(3) 网络部署困难

现役战术通信网络依赖多级网关、分层划分的体制进行运行和维护,业务和网络以属地化管理为主,战术互联网等骨干网由上级部队运营,军兵种子网由本级部队运营。这种分割设计造成了网络分段管理,业务开通和响应周期长。比如实施规划网络时,既要接收上级网管参数,又要兼顾本级和友邻网络参数,这种分级的参数规划很难保证参数一致性。此外,开通某项业务时往往需要配置大量分散在各个驻地的网络设备,这项工作通常由技术人员手动配置,形成一个静态的网络。而当业务或指挥关系发生变化时,网络参数无法自动变更以适应变更后的业务需求,需要技术人员再次变更配置,修改这些网络设备的配置会消耗大量的时间,而且很难保证配置的正确性。

(4) 服务化能力缺乏

现有网络架构是典型的“网络有什么你用什么”,由于信息服务模式的改变,凸显了基础网络能力的服务化程度不够,例如多种对时延、丢包等传输服务质量指标要求不同的业务并发时,要求高的业务不能得到优先服务保障,在本来带宽不充裕的战术网络场景下,这类问题尤为突出,用户很难随时根据实际需求使用网络资源,网络整体上没有充分利用现有带宽资源,缺乏资源按需分配的能力。

针对上述问题,国内相关科研机构提出“资源—服务—应用”的网络架构,利用软件定义网络技术思想、针对现有战术网络进行改造,通过研究统一形式的战术IP交换设备实现对原有复杂网络交换设备的统型,通过开放式的南向控制接口设计,实现控制与转发逻辑功能的解耦,利用集中控制带来的全局视图优势,一方面可以提升网络管控能力,简化网络规划、开通与升级步骤,另一方面可以提升业务的传输服务质量,满足异构网络下多业务并发传输的需求。

2 外军在SDN方面的研究进展

国外针对SDN在军事通信网络方面的应用进行了讨论与研究。某陆军研究实验室人员 Mishra 等^[5]研究利用SDN提高联合战术环境下的网络态势的感知能力和网络安全。Nobre 等^[6]针对异构战术网络特点提出了软件定义野战网络架构,比较了集中式、分层式、分布式网络架构的优、缺点,给出了两个典型的基于软件定义野战网络架构的用例,指出兼容传统网络将是新的网络架构设计的挑战。英国研究人员 Spencer 等^[7]分析了SDN在面对战术网络动态不断变化的业务优先级时,按照所需的服务质量来交付重要信息的能力,并给出了SDN在战术网络中应用需要解决的控制平面在有限带宽的无线信道上的带内传输问题、单点故障问题以及无线信道上传输控制平面数据的安全问题。英国与加拿大国防研究人员 Spencer 等^[8]总结了SDN技术在联合战术网络中应用的优点与挑战,提出了一个基于SDN的联合战术网络架构,指出了控制平面数据在无线信道上传输的安全问题。

法国研究人员 Phemius 等^[9]针对新的网络服务对网络日益增长的带宽、差异化服务以及网络的灵活性需求,提出了一种针对战术网络的流量管理架构。该架构基于SDN技术以及边缘云架构,两种战术环境下的实验结果表明该架构能够保证服务质量的同时高效利用无线资源。为了增强战术网络的端到端时延性能,Chekired 等^[10]针对C4ISR(command, control, communication, computer, intelligence, surveillance, reconnaissance)通信系统提出了一种基于分布式的SDN架构。3种战术情形的实验结果表明在正确的架构层次采取最优决策和合适的反应能够保证战术行动的服务质量,与此同时能够有效地利用无线网络资源。

在战术末端的自组织网络中的应用方面,针对SDN在移动战术边缘网络的可用性问题上, Li

等^[11]提出了一种层次化自组织的 SDN 架构。该架构中,研究人员通过设计新的自组织网络协议,使得网络可以自主动态分成多个临时网络域,每个网络域中通过一个指定节点作为本地控制器来管理该网络域中的所有其他节点。Poularakis 等^[12]针对控制器在自组网中的放置问题,以及联合作战中的数据转发策略进行了分析与讨论。为了解决因自组网的不可靠性与动态性导致的控制平面的安全性问题,Poularakis 等^[13]通过设计一种灵活的协议,将控制器与数据转发节点分离,从而使得当数据节点连不上控制器时依然能够根据分布式路由进行通信。实验结果表明该协议能够使得转发成功率提升 50%。

针对目前缺少 SDN 的技术验证平台的情况,美国陆军研究实验室人员 Marcus 等^[14]开发了一个模拟战术网络的 SDN 实验与分析平台,如图 2 所示。该研究实验室人员基于模拟战术网络的 SDN 实验与分析平台,解决了战术边缘部署的手动配置需求复杂和协议开销大的问题。

3 基于 SDN 的战术通信网络构建可行性分析与实现思路

随着军事信息化进程的加快,战术通信网络对于网络覆盖广度、网络通信容量、业务承载质量、

传输的实时性等方面提出更高的要求。未来联合战术通信网络将面向信息化、智能化与服务化主导,以网络资源虚拟化、网络功能虚拟化为辅助实现手段,解决现役战术通信网络面临的网络开通慢、资源管控难、服务质量差以及应变能力弱等突出问题。

3.1 SDN 在战术通信网络中的问题

基于集中控制与可编程分布式转发功能的 SDN 架构可以提升网络的资源管控能力,强化网络的自动化与智能化,实现网络的快速开通与弹性适变^[15-16]。结合面向服务的应用模式,为用户需求对接提供快速感知与响应通道,达到提升业务传输服务质量的目的。但是,战场环境末端网络通信手段受限、高对抗战场环境下无线通信弱连接以及高机动作战场景下的网络拓扑高动态是战场环境下 SDN 架构得以落地所面临的重要挑战^[17]。

3.1.1 战术末端网络窄带环境下的问题

(1) 南向接口协议开销大的问题

经典基于集中控制的 SDN 框架下,南向接口协议覆盖包括资源描述上报、邻居发现、组网控制、路由协议交互等多方面功能,其高昂的协议开销需要占用大量的数据传输带宽。软件定义战术通信网络中末端节点采用带宽受限的无线信道实现业务互通,通常情况下业务传输带宽只有几

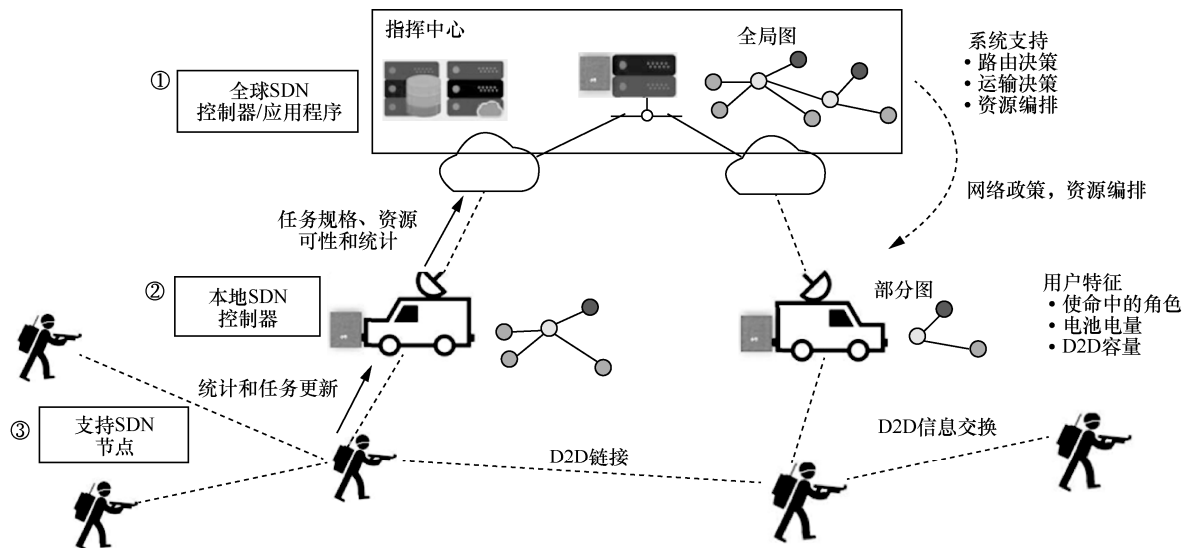


图2 模拟战术网络的 SDN 实验与分析平台



十 kbit/s, 无法承载经典的 OpenFlow 协议。为此, 本文从 3 个方面减少南向接口协议开销。

1) 协议交互的轻量化设计

• UDP 承载

标准的南向接口协议要求控制器和交换机之间的主通道必须通过 TCP 承载, 而由于 TCP 的拥塞处理机制并未针对高丢包、高时延和低带宽的无线通信环境进行有效优化。因此, 无线网络上承载的 TCP 非常容易受其拥塞处理机制影响, 从而对控制通道的吞吐量带来不必要的影响, 造成控制通道的传输性能下降, 影响控制器对全网的控制。要使南向接口协议能够在战术环境下高效使用, 需要将其承载协议调整为 UDP。

• 消息聚合

对于时间敏感不强的短消息报文, 为保证在窄带条件下的信息传输效率, 可以在发送端采用消息聚合的方式实现协议报文的高效传输。消息聚合程度结合无线信道时隙宽度制定, 可以最大程度地提高信息传输效率。

• 协议报文压缩

数据压缩技术就是用于减少存储和传输数据字节数。数据压缩技术按照压缩前后信息量划分为无损数据压缩和有损数据压缩。无损压缩没有信息丢失, 可根据压缩后的数据完全的恢复原来数据, 它是一个可逆过程; 有损数据压缩是在保真情形下移除数据的压缩编码技术, 压缩后的数据不能完全地恢复为原来数据, 它是一个不可逆过程。网络中传输的协议报文经过压缩和解压缩之后必须完全重现, 需要采用无损压缩技术。常用的无损压缩方法有: 时间编码 (如游程编码)、哈夫曼编码、算术编码、基于字典编码 (以 LZ 码为代表) 以及 Rice 算法等。

本文选取基于字典编码的 LZW (Lempel-Ziv-Welch) 压缩算法和 LZJH (Lempel.Ziv.Heath) 压缩算法进行数据压缩处理。

协议控制报文数据压缩效果统计见表 1, 可见

对于长度较短的报文, 压缩效果并不明显; 报文长度越长压缩效果越好, LZJH 算法的压缩效果普遍优于 LZW 算法。

表 1 协议控制报文数据压缩效果统计

报文类型	数据长度/byte	LZW/byte	LZJH/byte
SYSINFO	374	270	200
ETHINFO	311	205	137
RTINFO	170	125	86

2) 局部组网功能本地化

商用 SDN 中, 为增强数据平面设备的开放性与可编程、可定义能力, 采用软件定义与硬件资源解耦的全开放式功能架构, 常用的白盒交换机仅实现基于通用硬件平台支撑的可编程交换与适配通信功能, 其通信传输资源、交换资源的管理与全局分配均交由上层通信网络服务组件完成, 这种完全依赖网络服务组件实现组网的架构会在南向控制接口通道中产生大量控制与维护开销。

战术通信网络受传输信道带宽以及稳定性的限制, 无法支撑广义概念中全开放的 SDN 架构, 应该根据战术通信网络实际的基础设施条件与应用需求构建半开放式的 SDN 架构。具体地, 通过让数据平面的交换设备实现基础自主路由通信 (包括设备接入、传输组网控制、路由协议处理以及语音网关服务等功能), 一方面可以大大节省集中控制下南向接口协议的开销, 另一方面也能够保证战术通信网络的基础通信能力。

战术通信网络中半开放式的 SDN 架构基于战术可编程交换机的自主组网能力, 实现功能模块的控制与协调, 而不具体参与功能内部的实现, 从而增强交换设备的自主通信能力, 减少南向接口协议开销, 将控制器中不依赖集中控制优势的功能模块解耦到数据平面。

(2) 带宽资源紧缺下的资源调度手段问题

由于业务传输资源总量限制, 战术末端网络需要从时间、空间上提供更加精细的资源调度手

段,以满足不同种类业务差异化的传输服务需求。

1) 基于时间片的转发调度

战术通信网络中的指挥命令、协同作战数据往往是具有较高实时性要求的短报文,在战术末端网络中通信带宽受限的情况下,拟采用基于时间片的时隙分配与转发调度相结合的方案。

首先,基于以太网同步授时方法,可以使全网交换机达到 μs 级别的高精度的时间同步;面向特定时间敏感端报文的实时性保证调度策略是将无线通道的时隙分配与节点转发的时间片进行时间排列,以保证报文转发与传输过程中一路绿灯,尽可能少地参与缓存与排队,从而实现带宽受限条件下的网络资源精细调度,提高业务的实时性保证能力。

2) 基于分布式存储的信息分享策略

战术通信网络中存在战场态势、地图 GIS (geographic information system) 数据等共享资源信息,此类信息往往伴随较大的数据流量,战术末端窄带网络承载该类信息时会导致网络资源紧张,甚至影响网络的维护与运行。采用分布式存储转发的方式,将共享资源逐跳存储转发可以大大降低业务传输流量,配合网络流量监控状态信息实现网络闲时转发,可以保证网络的正常维护与其他重要业务的传输服务质量。

3.1.2 高对抗战场弱连接环境下的问题分析

SDN 采用集中控制的方式能够最大限度地发挥网络资源汇聚,基于全局视图进行综合决策的优势。相应地,也同样将面临集中控制带来的网络稳健性与抗毁能力不足的问题,此问题在战场高对抗环境下尤为突出。具体表现为,战场高对抗条件下通信连接的稳定性下降,软件定义战术通信网络在弱连接通信条件下,主要面临以下几个问题。

(1) 弱连接服务场景的判定

战场高对抗条件下,通信链路的弱连接特效主要由带宽占用率、时延抖动以及丢包率等参数

决定。由于业务数据的丢包与时延抖动有可能因带宽占用率过高引起,因此,对于弱连接通道的判定标准是针对带宽占用率不高的通信链路,若时延抖动及丢包率达到相对较高水平,则判定为弱连接通道。具体地,应根据战术通信网络弱连接的实际应用场景设定相应的带宽利用率门限、时延抖动门限以及丢包率门限。

(2) 弱连接场景下的资源重构

软件定义战术通信网络中通信链路分为业务通道及服务连接通道,本文也据此对弱连接场景进行分类定义与分类应对。

对于控制域内少数服务连接通道出现的弱连接现象,可以采用服务连接备份路径、网络组网控制服务节点迁移等方式重构网络资源,形成组网控制服务对全网大多数节点的稳定有效的服务连接。

对于控制域内多数业务通道均出现弱连接的现象时,根据各节点服务连接门限的判定情况,将部分服务连接质量差的节点退化为分布式自主路由组网模式,通过自主路由转发实现业务基本通信。

3.1.3 高机动作战场景下的问题分析

未来作战场景将由部分节点机动作战向着全域机动作战发展,节点高机动场景下网络的抗毁性能、稳健性与应变能力是考查网络“质量”的关键因素。未来战术网络在面向带宽与业务服务质量提升的同时,网络的稳定性与弹性也将是重要的建设目标之一。高机动作战场景下,软件定义战术通信网络主要面临以下两个问题。

(1) 网络控制域动态管理的问题

高机动、强对抗作战场景下,常常面临组网控制服务节点战毁、节点跨域移动等网络分域重组的情况。此应用场景下,为了实现快速分域重组,重点应考虑组网控制服务的合理空间部署与分域备份策略。

合理空间部署是通过初始状态的组网控制服



务选举,实现组网控制服务部署效率最大化。分域备份策略是组网控制服务在进行初始分域的过程中,首先完成与可达交换机之间的连接交互,将所有可达节点作为分域备份节点。随后,根据邻居组网控制服务之间的服务连接参数对比协商,确定域间公共节点的分域归属问题。

在组网控制服务战毁、网络拓扑剧烈变化的情况下,也可能出现部分节点无法与邻近组网控制服务建立连接,这些节点应保持通过分布式自主路由接入战术通信网络的能力,保证数据、语音等基本业务的通信能力。

(2) 节点移动性管理问题

前面提到的域间移动性管理只是移动性管理的一个方面,移动网络管理单元还需要结合用户位置管理、身份地址管理、网络切换管理以及业务连续性保证策略等多个方面的技术协同工作,实现战场环境下移动节点用户对于网络变化的弱感知。

具体地,战术环境下的节点移动性管理方案利用交换机实现移动节点的接入控制,并利用交

换机实现对移动节点的位置、用户身份的实时感知与监控。控制器端的接入控制服务根据上报信息完成对节点移动趋势的预测,为接入端接入新节点做信道参数规划方面的预处理,降低节点接入时延。

节点移动性管理方案示意图如图3所示,移动接入端由A点往B点移动的过程中,接入节点由交换机1切换成交换机2,为保证移动性接入与跨节点切换过程中移动性管理策略的一致性,本文在原接入节点(交换机1)与新接入节点(交换机2)之间建立管理隧道,实现接入端用户移动切换控制与协商。

另一方面,当接入端移动节点正在与网内其他节点进行业务通信时,战术传输服务将根据移动性预测结果为新接入节点预先生成新的业务传输规划路径,在完成节点移动切换之后,新的业务传输路径流表生效需要一定的时间,在此期间,管理隧道可以实现接入端业务的由新接入节点到原接入节点的重定向,保证业务沿着原有规划路径转发,待新路径流表完全生效之后,可实现业

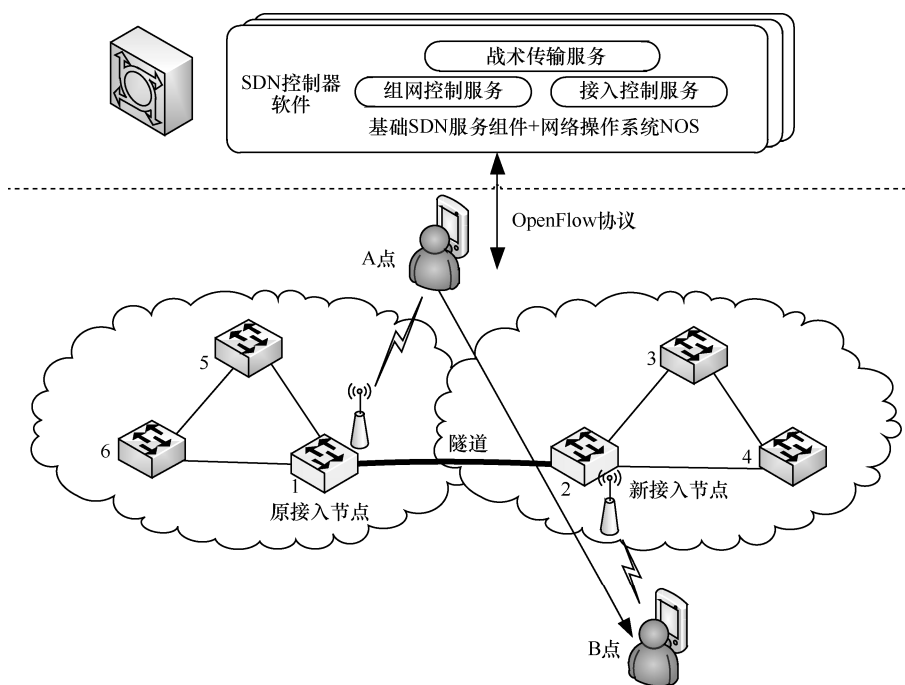


图3 节点移动性管理方案示意图

务新老路径的无缝切换, 以保证移动节点业务的连续性。

3.2 基于 SDN 的战术通信网络架构设计

新一代软件定义战术通信网络基于资源化、虚拟化、软件化和服务化的思想, 构建“基础通信资源—通信网络控制—上层应用”开放式层次架构。通过对基础通信资源的量化、描述与封装实现控制与转发的分离以及软件定义功能与异构硬件资源的解耦; 以面向服务的方式实现网络控制功能的服务化封装, 以网络内生的功能向上层应用提供服务质量保证。软件定义战术网络架构如图 4 所示, 软件定义战术网络可分为基础资源层、网络服务层与应用层。

图 4 中业务数据通过资源接入进入可编程转发, 通过字段匹配进行业务数据的转发; 路由协议数据或其他交互业务数据通过双控制平面的分布式交互转发; 东西向协议数据通过集中式转发, 应用层与服务层数据通过北向接口进行应用通信。接入控制服务通过收集资源接入设备的带宽、

当前通信状态、链路时延等信息, 统一资源管控模块根据收到的各信道设备的信息进行统一计算, 当判断当前链路处于高动态、低带宽、弱连接状态时及时通告组网控制服务和业务传输服务, 将当前拓扑信息进行备份, 在业务数据到达时按照备份的原拓扑信息进行流表转发, 并且业务传输服务在链路状态不好的情况下执行数据重传, 实现业务数据的不间断传输, 除非链路中断超过一定时间后才中断业务数据的传输, 即统一资源管控模块将对信道设备的资源状态进行动态调整, 以供组网控制服务和业务传输服务进行针对性的处理。

3.3 应用设想

战术通信网涵盖了天、空、海、陆等多个应用场景, 天基通信网包括带宽较为充裕且拓扑相对稳定的天基骨干网和带宽较低的天基接入网, 空基通信网络涵盖了包括空中作战通信网和无人中继通信网等, 陆、海因地理位置复杂多变, 分为骨干网和接入网。不论是战术通信骨干网还是

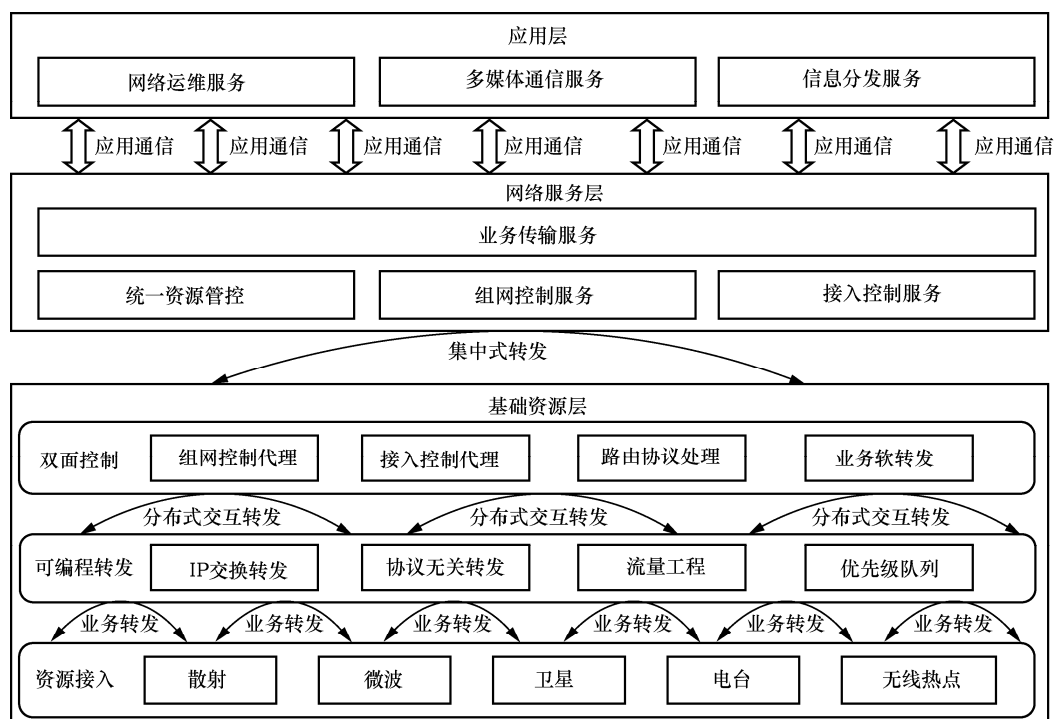


图 4 软件定义战术网络架构



接入网,与民用固定式高带宽网络不同,采用 SDN 集中受控组网的架构构建战术通信网络具有先天性的带宽劣势,但考虑 SDN 架构网络具有资源调度灵活高效、业务传输服务质量可保障、网络架构弹性适变等优势,可以解决传统战术通信网络的诸多问题^[15,18],结合第 3 节中对基于 SDN 的战术通信网络构建可行性的分析与研究结果,表明通过逻辑集中式与物理分布式相结合的方式将 SDN 的思想应用到军事通信领域是可行的。基于 SDN 的军事应用场景设想如图 5 所示,可以在带宽和链路资源充足的条件下采用受控组网的方式,通过集中资源调度实现资源的灵活分配和高效转发;在上层业务对资源需求不太大的场景下采用分布式架构实现网络的灵活组网。

图 4 中 SDN 架构提出的双控制平面思想即满足传统分布式架构下的业务传输服务,同时也满足在资源余量较多的情况下集中式控制传输,提高资源传输效率。在图 5 中,面向天、空、海、陆的军事应用场景中,有带宽较高的海陆骨干网、空骨干网、天骨干网,可以采用集中控制实现资源的高效调度,在带宽较低的接入网中,如果带

宽资源低到无法满足集中受控条件下协议的完整性交互,则采用传统分布式控制进行业务传输。

3.4 测试平台构建

为验证基于 SDN 技术构建的战术通信网络效能,可通过模拟实际战场通信环境,利用实体设备与 OPNET 仿真平台构建半实物仿真网络,其中交换机设备为资源层标准交换机设备,对外统一采用以太网接口实现本地终端与信道传输设备接入,各节点之间采用甚高频(very high frequency, VHF)、特高频(ultra high frequency, UHF)等窄带无线手段组网,仿真网络可通过信道仿真模块模拟战场高动态、低带宽和弱连接环境,各类型网络与应用服务采用软件模块化、分布式的方式部署在各节点服务器中,可随时加载启用或挂起。软件定义战术网络半实物仿真拓扑构建如图 6 所示。

图 6 的拓扑中,交换机设备自主可实现分布式路由组网,待控制器中组网控制服务开启之后,将与各节点建立服务连接并获取全局资源视图,完成网络分域。基于集中控制策略下的模拟战术通信网络,可实现网络运维管理、业务区分传输、

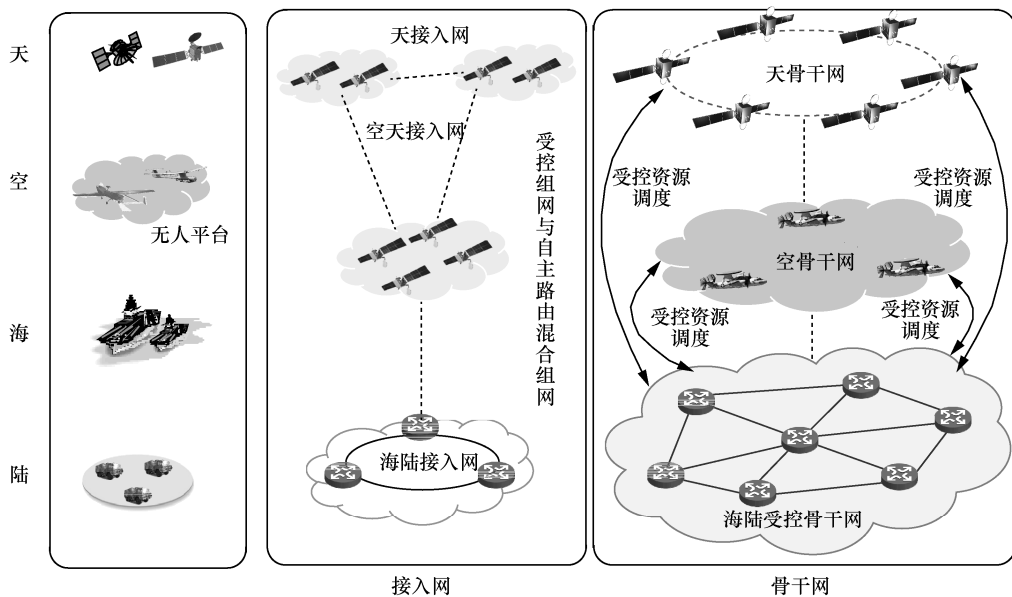


图 5 基于 SDN 的军事应用场景设想

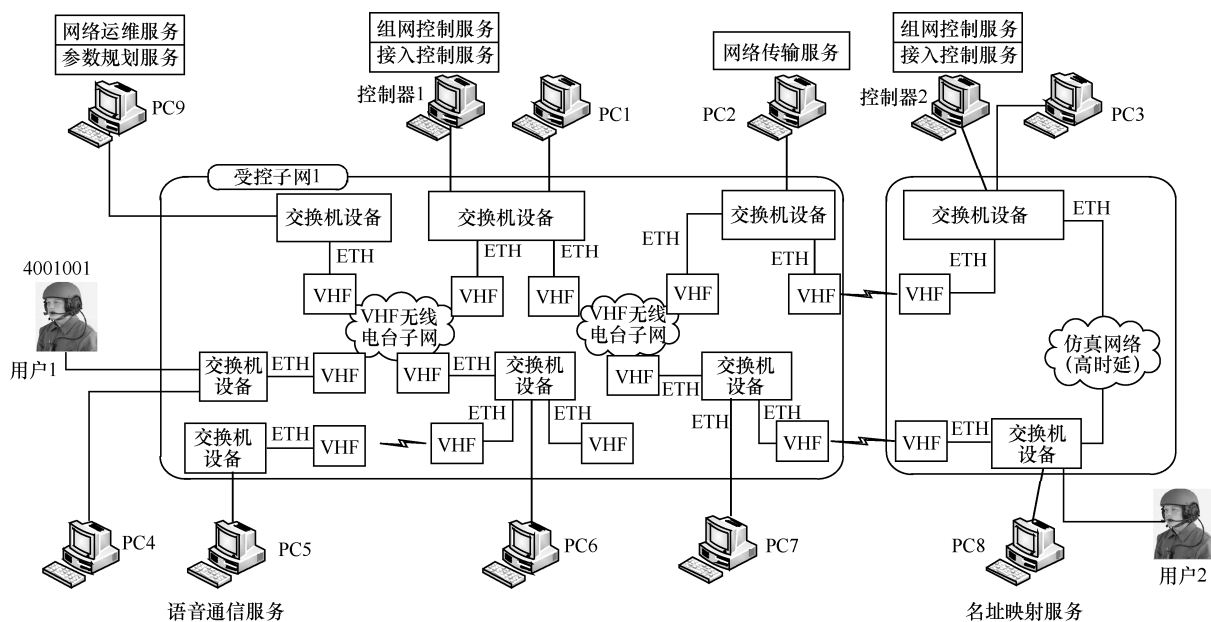


图6 软件定义战术网络半实物仿真拓扑构建

语音端到端通信、节点名址映射等应用，并由各服务软件模块保证服务质量。部分网络通信手段产生的情况下，基于集中控制策略下模拟战术通信网络，可实现网络动态分域调整，模拟测试高动态、低带宽以及弱连接环境下的集中式与分布式混合组网的网络性能。

4 结束语

SDN 因其具有开放网络架构特性，可以为用户提供全局视图，网络的弹性适应能力和资源管控能力更强，使其在多个民用领域得到较好的应用^[19-20]。战术通信网因其具有高动态、低带宽、弱连接等诸多先天性劣势，SDN 在战术通信领域的研究相比民用较少，外军将 SDN 技术在战术通信网中进行了相关应用，使用 SDN 受控转发、协同控制、基于全局的高效资源利用、网络灵活性等诸多优势构建了其战术 SDN 通信网络。本文基于现有战术通信网络特点及问题分析对 SDN 技术应用于军事通信领域的可行性进行了分析，并提出了可行性方案及应用方向，成果可为基于战术通信 SDN 架构的应用提供参考，针对本文提出的

架构进行大规模仿真验证并应用到实际战术场景下是后续需要研究的方向。

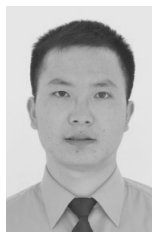
参考文献:

- [1] 刘台, 杨林, 刘进军, 等. SDN 在低带宽战术通信场景下的应用[J]. 移动通信, 2020, 44(7): 60-66.
LIU T, YANG L, LIU J J, et al. The application of SDN in low-bandwidth tactical communication scenario[J]. Mobile Communications, 2020, 44(7): 60-66.
- [2] 张乐, 吴艳芹, 张珂, 等. SDN 协同控制器的智能内生技术研究与实现[J]. 电信科学, 2021, 37(12): 101-109.
ZHANG L, WU Y Q, ZHANG K, et al. Research and implementation of intelligent endogenous technology for SDN cooperative controller[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(12): 101-109.
- [3] 周东. SDN 交换机与传统交换机的架构与性能比较[J]. 电子技术与软件工程, 2017, 39(69), 37-39.
ZHOU D. Architecture and performance comparison of SDN switches[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2017, 39 (69), 37-39.
- [4] 徐宾伟. SDN 与传统 IP 网络互联架构的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
XU B W. Design and implementation of SDN and traditional IP network interconnection architecture[D]. Chengdu: University of Electronics Science and Technology of China, 2015.
- [5] MISHRA V, VERMA D, WILLIAMS C. Leveraging SDN for



- cyber situational awareness in coalition tactical networks[C]//Proceedings of IST-148 Meeting. 2016: 1-9.
- [6] NOBRE J, ROSARIO D, BOTH C, et al. Toward software-defined battlefield networking[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(10): 152-157.
- [7] SPENCER J, WORTHINGTON O, HANCOCK R, et al. Towards a tactical software defined network[C]//Proceedings of 2016 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS). Piscataway: IEEE Press, 2016: 1-7.
- [8] SPENCER J, WILLINK T. SDN in coalition tactical networks[C]//Proceedings of MILCOM 2016 - 2016 IEEE Military Communications Conference. Piscataway: IEEE Press, 2016: 1053-1058.
- [9] PHEMIUS K, SEDDAR J, BOUET M, et al. Bringing SDN to the edge of tactical networks[C]//Proceedings of MILCOM 2016 - 2016 IEEE Military Communications Conference. Piscataway: IEEE Press, 2016: 1047-1052.
- [10] CHEKIREDDA, KHOUKHI L. Distributed SDN-based C4ISR communications: a delay-tolerant network for trusted tactical cloudlets[C]//Proceedings of 2019 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS). Piscataway: IEEE Press, 2019: 1-7.
- [11] LI G, XIANG Q, DEARLOVE C, et al. A self-organizing SDN architecture for mobile tactical edge networks[Z]. 2018.
- [12] POULARAKIS K, IOSIFIDIS G, TASSIULAS L. SDN-enabled tactical Ad Hoc networks: extending programmable control to the edge[J]. IEEE Communications Magazine, 2018, 56(7): 132-138.
- [13] POULARAKIS K, QIN Q F, NAHUM E M, et al. Flexible SDN control in tactical Ad Hoc networks[J]. Ad Hoc Networks, 2018(85): 71-80.
- [14] MARCUS K M, CHAN K S, HARDY R L, et al. An environment for tactical SDN experimentation[C]//Proceedings of MILCOM 2018 - 2018 IEEE Military Communications Conference. Piscataway: IEEE Press, 2018: 1-9.
- [15] 张卫锋. 深度解析 SDN[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014: 66-77.
- ZHANG W F. Depth-resolved SDN[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014: 66-77.
- [16] 姚赞. SD-WAN 组网产品发展实践浅析[J]. 电信科学, 2020, 36(S1): 152-158.
- YAO Y. A brief analysis on the development practice of SD-WAN network products[J]. Telecommunications Science, 2020, 36 (S1): 152-158.
- [17] 刘台, 王一鸣, 张希杰, 等. 一种战术通信数据组播实现方法[J]. 电讯技术, 2022: 1-8.
- LIU T, WANG Y M, ZHANG X J, et al. A implementation method of tactical communication data multicast [J]. Telecommunications Technology, 2022: 1-8.
- [18] 程武林. 基于 F-Stack 的 SDN 控制器的研究和实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2021.
- CHENG W L. Research and implementation of the SDN controller based on F-Stack[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2021.
- [19] ANDERSON D. An investigation into the use of software defined networking controllers in aerial networks[C]//Proceedings of MILCOM 2017 - 2017 IEEE Military Communications Conference (MILCOM). Piscataway: IEEE Press, 2017: 285-290.
- [20] BIFULCO R, BOITE J, BOUET M, et al. Improving SDN with Inspired switches[C]//Proceedings of the Symposium on SDN Research. New York: ACM Press, 2015: 1-12.

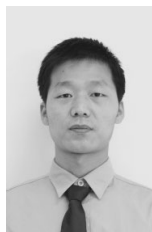
[作者简介]



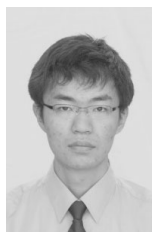
刘台 (1989-), 男, 武汉中原电子集团有限公司高级工程师, 主要研究方向为战术网络通信协议及网络架构。



朱超 (1988-), 男, 武汉中原电子集团有限公司高级工程师, 主要研究方向为战术通信语音视频传输。



程意 (1992-), 男, 武汉中原电子集团有限公司工程师, 主要研究方向为战术通信组网控制服务。



王一鸣 (1989-), 男, 武汉中原电子集团有限公司工程师, 主要研究方向为战术通信网络协议及算法。