

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.04.002

引用格式:刘淑慧.机载认知通信网络架构研究[J].电讯技术,2016,56(4):360-364.[LIU Shuhui.Study on airborne cognitive communication networks architecture[J].Telecommunication Engineering,2016,56(4):360-364.]

机载认知通信网络架构研究*

刘淑慧**

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:为了满足作战人员对机载通信网络高移动性、高容量、保障多种业务服务质量(QoS)、多链互通互操作等需求,考虑到机载网络包含多个异构链路的特点,借鉴商用认知网络思想,提出了一种新的基于认知的网络层收敛分层架构。分析了该架构的特点和优势,给出了该网络架构的认知流程,阐述了涉及到的关键技术。基于认知的网络层收敛分层架构,容易实现多个异构链路资源集成和应用,并在所有协议层认知的基础上,智能地适配动态环境来满足用户端到端指标和提升网络性能。

关键词:机载通信网络;认知无线电;网络层收敛分层架构;异构链路;智能抗干扰

中图分类号:TN915.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)04-0360-05

Study on Airborne Cognitive Communication Networks Architecture

LIU Shuhui

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

Abstract:To meet the airborne communication network's requirements of high mobility, more capacity, multi-traffic's quality of service (QoS) ensuring, as well as the interoperability of various heterogeneous links, a novel network-layer converged hierarchical architecture based on cognition is proposed which considers the feature that airborne network comprises multiple data links. For this network architecture, the features and strengths are analyzed, and the cognition process is given. The key technologies are clarified. The network-layer converged hierarchical architecture based on cognition, which can easily integrate and utilize multiple heterogeneous links, will adapt to the dynamic environment intelligently by exploiting the cognition of all the protocol layers to satisfy the users' end-to-end performance and advance the capacity of overall network.

Key words:airborne communication network; cognition radio; network-layer converged hierarchical architecture; heterogeneous link; intelligent anti-interference

1 引言

机载战术网络为军用有人机、无人机及水上和地面平台提供通信链接和信息共享。未来的军事需求主要包括快速自组网能力、大动态服务质量(Quality of Service, QoS)管理能力和互联互通能

力。为此,亟需更有效的机载通信网络架构、技术来解决这个问题。目前,学术界和业界解决复杂网络共存和高的频谱利用率问题主要依靠认知技术。从文献调研情况来看,认知网络架构在军事领域还少有涉及,在商用领域认知网络是基于软件无线电、认

* 收稿日期:2015-09-10;修回日期:2016-02-24 Received date:2015-09-10;Revised date:2016-02-24

** 通信作者:david_lw@126.com Corresponding author:david_lw@126.com

知无线电和跨层设计思想上发展起来的,有必要对几个相近的概念进行区分,以突出认知网络的概念和特点。

在认知网络之前,认知无线电、软件无线电和跨层优化是常见概念。软件无线电是由 Mitola 教授于 1992 年提出来的^[1],其基本思想是以一个通用、标准、模块化的硬件平台为依托,通过软件编程来实现无线电的各种功能。

由于软件无线电当前发展处在承上启下的阶段,在控制和处理器能力等方面面临一些挑战。1999 年,Mitola 教授基于软件无线电的不足提出了认知无线电概念^[2]。认知无线电更加智能化,实现对频谱环境的认知,主要致力于动态分配频谱资源,区分授权频谱和非授权频谱来智能化的管控频谱资源,提高频谱利用率。

随着认知无线电设备越来越多地出现在网络中,认知无线网络被提了出来^[3-5]。认知网络被定义为具有认知过程的网络,可以认知当前网络状态,然后计划,决定和采取行动^[6]。

认知网络架构研究主要集中在商用领域,利用重构手段^[7-9]来解决对环境适应性、提高网络资源利用率、满足用户 QoS 同时提高网络容量等问题。认知网络目标基于端到端网络性能,包含端到端数据流传输中所包含的所有网络元素,而认知无线电关注于频谱资源利用率这个局部性能指标。

另外,认知网络的范围也超过跨层优化设计的范围。跨层设计通常根据单一目标优化,试图独立优化单一目标只能得到次优解,且随着节点数目增加,对多个单一目标自适应可能导致自适应环路产生。

借鉴商用认知网络的思想,且考虑机载网络本身具有的特点,本文提出一种基于认知的网络层收敛架构,分析认知流程,给出认知参数和执行策略,为军事认知网络构建给出参考模型。

2 机载网络认知架构

2.1 基于认知的网络层收敛架构

商用认知网络架构主要解决异构网络共存复杂管理和提高资源利用率问题。不同商用网络协议标准、网络管理方式均不同。文献[10-11]提出了 5G (Fifth Generation) 移动通信系统认知网络架构,在考虑后向兼容性的基础上,解决异构网络管理问题。

针对机载网络而言,目前机载数据链网络类型多样,有情报侦察监视类、指挥控制类、武器控制类数据链等。与商用网络不同的是,多种数据链协议集中在物理层和链路层,针对此特征,本文提出一种基于网络层收敛分层的认知架构。多种数据链通过统一接口汇聚到网络层,在网络层之上采用统一协议架构。另外,借鉴商用认知网络架构中 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 协议栈分层抽象的思路^[12],本文提出一种基于认知的网络层收敛分层架构,每个协议栈增加“观测”和“执行”认知模块,不同的链路和网络层通过一个通用接口相连接。

此架构具有以下特点:第一,传统的数据链互操作是通过应用层网关实现,网关对不同数据链系统信息进行翻译,不同链路互通实现繁琐且速度慢,而网络层收敛架构中,不同链路和网络层之间采用通用接口连接,网络层采用通用 IP 寻址方案,可以承载多个异构链路的业务且能够很好实现异构链路互操作,包括对多种链路状态控制、状态监视和链路选择等,简化多链路路管理操作;第二,当前数据链网络的趋势是 IP 一体化,与认知网络相结合,通过对链路质量、可靠性、可用性等信息智能化认知,选择优的链路传输,网络层收敛和认知技术彼此相得益彰;第三,通过在网络层上收敛,底层与网络层隔离,波形/电台开发人员可以专注于研究链路和物理层技术,不受应用开发人员影响,移植性和拓展性更好;第四,本架构与 TCP/IP 协议栈保持一致,协议栈每一层以透明和增量的方式增加认知模块,负责获得协议层的信息(观测),或者执行内部参数调整(执行)。认知到的信息传送到认知节点中的终端认知引擎,终端认知引擎和网络认知引擎执行数据分析和决策制定。这种体系架构简化认知网络的复杂度,且容易和传统的 IP 节点进行互通,具有很好的兼容性。

如图 1 所示,终端认知引擎管理单节点认知,对多个协议层采取集中管理的方式。网络认知引擎负责多个节点认知和优化,需要采用分布式的方式,可以利用多智能体思想。智能体具有学习和自适应能力,通过和环境进行交互,智能体能够把环境中某些方面综合到内部状态之中,从而形成自身对具体行为应用的认识^[13-14]。把每个节点作为一个智能体,形成多智能体系统。多智能体系统具有的局部感

知、竞争协作及自学能力是满足多节点端到端性能和提高网络性能的关键。

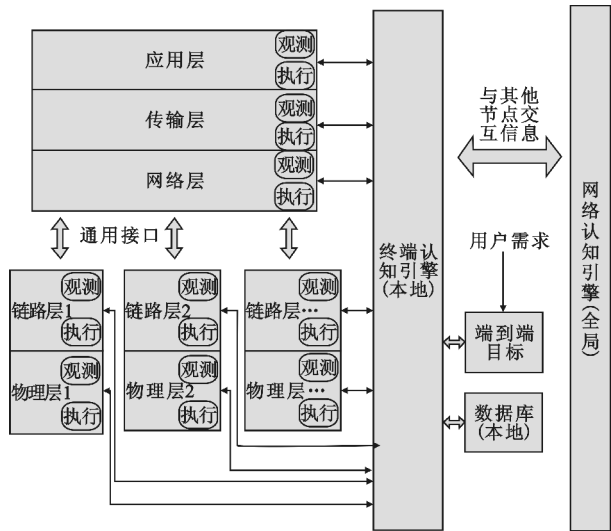


图 1 机载认知网络体系架构

Fig. 1 The airborne cognitive network architecture

2.2 认知流程

针对基于认知的网络层收敛架构,下面给出详细的认知流程。

(1)观测各个协议层信息,存储到本地数据库中。对于机载网络来讲,物理层包括发送功率、传输波形、天线形式(定向、全向)、信号强度、干扰信号、背景噪声;链路层包括帧长、检错机制、误帧率;网络层包括路由信息;传输层包括拥塞控制、超时链接;应用层包括传输需求、QoS 等。

(2)观测到信息分类、分析、整理、表征,形成知识,储存到数据库中,便于认知层面的使用。

(3)用户端到端目标作为输入,进行认知过程:根据端到端优化目标,在数据库中搜索与此优化目标相关的数据;节点侧根据本地数据库历史学习信息、收集当前网络状态和环境有用信息并基于此进行分析、推断及优化,得到的优化方案未从整体网络性能平衡角度考虑,是一种局部优化;网络层基于终端得到的局部优化方案,面向网络和用户端到端总体目标,协调相互影响的多节点优化方案,当前研究的热点是用博弈论理论来达到全局优化。

(4)根据优化方案,翻译成每一层的优化策略,包括调整每一层的参数和方案等,最后进行参数的调整和方案的执行。

2.3 观测参数和可选策略

机载认知通信网络可以通过认知参数的采集和

认知过程推理出优化策略,从而执行策略来满足机载通信网络的需求,其主要功能特点有:根据环境条件自适应选择可用链路;快速自主适应网络拓扑变化、网络节点迅速加入和退出;根据用户通信需求变化,快速适配相应通信资源、策略;根据多种用户业务需求,优化资源分配策略,满足不同业务 QoS 需求;根据所处环境和用户业务安全性要求,调整认证、入侵检测、加密等独立多层次的安全策略。针对机载网络特征,具体每一协议层能够观测到的参数和可执行的策略见表 1。

表 1 协议层观测参数和可执行策略
Tab. 1 The observation parameters and implemental strategies of principle layers

协议栈	观测参数	可执行策略
应用层	端到端需求	无
传输层	超时链接信息、端到端时延	拥塞控制、流控制
网络层	路由信息、掉包率、网络连通性	路由协议、拓扑动态调整
链路层	帧长、检错机制、误帧率	链路种类选择、纠错控制方案、重传方案、包大小、频谱分配、接入控制、加/解密算法、密钥管理、认证、防火墙等
物理层	发送功率、传输波形、天线形式(定向、全向)、信号强度、干扰信号、背景噪声	可配置参数:带宽、波束宽度、数据速率、调制、编码、扩频、跳频、波束宽度等

如图 2 所示,为了更好说明认知过程,对机载通信网络中认知抗干扰进行举例说明:

第一步,通过对各层观测信息的收集,对电磁环境进行感知,包括干扰功率、干扰频率等;

第二步,抽取有用信息,对干扰进行分析和识别,比如利用经典谱或现代谱估计的方法进行干扰信号频谱分析,分析出干扰频谱的分布特征;

第三步,在干扰信息的基础上,用户抗干扰需求作为输入,结合认知数据库和历史信息,终端认知引擎和全局认知引擎联合优化推理出空、时、频、能量、网络域综合抗干扰策略;

第四步,终端认知引擎将全局优化策略转化成各个协议层的参数重配置策略,每一协议层执行模块完成参数调整及策略实施,包括物理层的变速跳频、扩频、智能天线、功率控制策略,链路层的链路类

型选择、频谱资源分配方式及网络层的拓扑结构切换等。

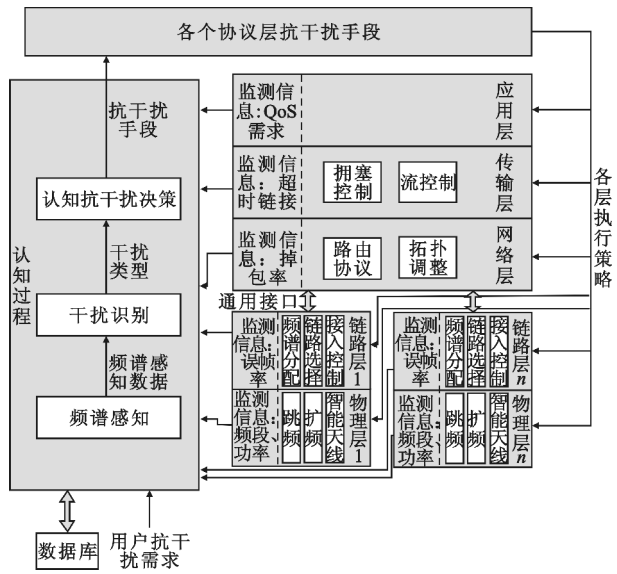


图 2 智能抗干扰流程
Fig. 2 The process of intelligent anti-interference

3 关键技术

机载认知通信网络具有认知和学习的能力,并能自适应调整自身参数和策略,将会面临新的挑战,比如:如何对认知环境得到的复杂数据进行分析 and 存储;如何根据认知到信息并利用历史信息进行学习和综合推理,从而优化决策;如何把决策信息转化到各层协议的参数调整及动作;如何在认知架构中保证机载网络的安全性问题等。

3.1 多域认知技术

认知网络与认知无线电明显区别之一是认知环境发生变化,从无线环境扩展到网络环境、无线电磁环境、物理环境、气候环境、地理环境等。多域认知是认知信息获取源头,为网络调整、资源流动提供依据,为实现网络智能化提供支撑。多域认知技术涉及主要研究内容:建立多域认知数学模型、信息运动模型及评估模型;根据认知模型对多域认知信息建立表征体系,实现认知信息的合理流动与融合;在多域认知表征体系存储规则下建立认知信息库,实现认知信息的高效利用。

3.2 智能策略决策技术

认知网络中最具挑战性的是智能策略优化过程,需要对大量的时空标签数据进行有效数据挖掘、分析和推理,从而得到优化方案。认知引擎是认知

无线网区别于传统无线网的关键部件,涉及到认知信息的获取、处理,完成学习、推理、规划、决策等功能,是推动认知无线网络发展的核心研究内容。认知引擎目前还没有一个统一的定义。策略决策技术除了传统的分类、关联、时间序列分析、机器学习等方法,还包括人工智能算法,如贝叶斯学习、神经网络、决策树、马尔科夫随机域、推理算法、博弈论等。

3.3 重配置适变技术

认知网络作出优化策略之后,重构执行阶段对各层的参数和策略进行调整,最终完成认知网络重配置管理。重配置需要设备可配置能力进行支持,研究包括机载网络组网方式、可编程的移动自组网(Mobile ad hoc Network, MANET)路由协议,基于软件无线电的波形可加载终端技术,基于可编程的传输层协议,空时频物理资源调度等。

3.4 机载网络安全技术

安全性在机载战术网络中是至关重要的,机载网络安全技术通过认知网络架构来实现。首先对攻击、病毒、漏洞等进行感知,通过策略引擎推理算法,智能决策多层次立体安全方案,包含物理层的高可靠性编码、加密策略,链路层访问控制,网络层 IP 安全技术、防火墙等,传输层公共密钥、安全协议等。

4 结束语

基于认知的网络层收敛机载通信网络架构在 TCP/IP 分层架构的基础上加入认知模块,且多数据链收敛到 IP 层,从而使得整个机载通信网络具有多链集成和认知功能。机载认知通信网络能够综合改善通信资源利用率,提高业务 QoS 保障、网络抗干扰、抗截获、网络安全等性能。同时,对认知机载网络关键技术进行研究,如何进行统一开发,形成标准并在军事中很好地应用,均是亟待解决的问题,也是后续研究的方向。

参考文献:

[1] MITOLA J. Software radios: survey, critical evaluation and future directions[J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 1993, 8(4): 25-36.
[2] MITOLA J, MAGUIRE G Q. Cognitive radio: making software radios more personal[J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(4): 13-18.
[3] CLARK D D, PARTRIDGE C, RAMMING J C, et al. A knowledge plane for the internet[C]//Proceedings of the

2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. New York: ACM, 2003: 3–10.

[4] THOMAS R W, FRIEND D H, DASILVA L A, et al. Cognitive networks[M]. Heidelberg: Springer Netherlands, 2007.

[5] DEVROYE N, VU M, TAROKH V. Cognitive radio networks[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25(6): 12–23.

[6] 贺倩. 认知无线网络中的重构管理研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.

HE Qian. Research on reconfiguration management in cognitive radio network[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013. (in Chinese)

[7] ZHANG P, HE Q, FENG Z Y, et al. Reconfiguration decision making in cognitive wireless network[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(28): 3713–3722.

[8] AKYILDIZ I F, LEE W Y, CHOWDHURY K R. CRAHNS: cognitive radio ad hoc networks[J]. Ad Hoc Networks, 2009, 7(5): 810–836.

[9] BALDO N, ZORZI M. Fuzzy logic for cross-layer optimization in cognitive radio networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 46(4): 64–71.

[10] CHEN S, ZHAO J, AI M, et al. Virtual RATs and a flexible and tailored radio access network evolving to 5G[J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(6): 52–58.

[11] WANG J Q, LYU Z B, MA Z C, et al. I-Net: new network architecture for 5G networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(6): 44–51.

[12] MANOJ B S, RAO R R, ZORZI M. CogNet: a cognitive complete knowledge network system[J]. IEEE Wireless Communications, 2008, 15(6): 81–88.

[13] 钟伟才. 多智能体进行模型和算法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2004.

ZHONG Weicai. Multiagent evolution models and algorithms[D]. Xi'an: Xidian University, 2004. (in Chinese)

[14] MARAVALL D, DE LOPE J, DOMÍNGUEZ R. Coordination of communication in robot teams by reinforcement learning[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2013, 61(7): 661–666.

作者简介:



刘淑慧(1984—),女,河北唐山人,2012年获博士学位,现为工程师,主要研究方向为机载数据链关键技术。

LIU Shuhui was born in Tangshan, Hebei Province, in 1984. She received the Ph. D. degree in 2012. She is now an engineer. Her research concerns key technologies on airborne data links.

Email: david_lw@126. com

本刊第 56 卷第 3 期勘误表

页码	位置	错误	正确
259	作者机构英文	(Southwest China Instituted of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)	(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)
259	基金项目英文	Project Supported by the Creative Technology Fund of Southwest China Instituted of Electronic Technology(H15015)	Project Supported by the Creative Technology Fund of Southwest China Institute of Electronic Technology(H15015)
298	公式(5)	$\begin{cases} P_{di} \leq P_1 = \lg(10\gamma_{th}/G_{i,k}) \\ P_{di} \leq P_2 = \lg(10\gamma_{th}/G_{i,edge}) \end{cases}$	$\begin{cases} P_{di} \leq P_1 = 10 \lg(\gamma_{th}/G_{i,k}) \\ P_{di} \leq P_2 = 10 \lg(\gamma_{th}/G_{i,edge}) \end{cases}$

本刊编辑部