

认知引擎技术

Cognitive Engine Technology

中图分类号:TN92 文献标识码:A 文章编号:1009-6868 (2009) 02-0005-05

摘要: 认知无线电(CR)是一种智能的无线电通信系统,其智能主要来自于认知引擎。认知引擎基于软件无线电平台,引入人工智能领域的推理与学习方法,实现认知环路,从而实现CR的感知、自适应与学习能力。认知引擎的要素包括建模系统、知识库、推理机、学习机和各类接口,涉及到知识表示、机器推理和机器学习等关键技术。

关键词: 认知无线电;人工智能;认知引擎

Abstract: Cognitive Radio (CR) is an intelligent wireless communication system, whose intelligence mostly comes from the cognitive engine. Based on the techniques of the software-defined radio, with the support of machine reasoning and learning in artificial intelligence, cognitive engine implements the cognitive loop in order to realize the abilities of sensing, adaptation and learning in CR. Cognitive engine consists of modeling system, knowledge base, reasoning engine, learning engine, and interfaces. The key techniques involve knowledge representation, machine reasoning, and machine learning.

Key words: cognitive radio; artificial intelligence; cognitive engine

认知无线电(CR)是一种智能的无线电通信系统,它能够感知周围的电磁环境、无线信道特征以及用户需求,并通过推理和对以往经验的学习,自适应地调整其内部配置,优化其系统性能,以适应环境和需求的变化^[1]。

从这个概念可以看出,CR不仅具备感知无线电的感知能力和自适应无线电的自适应能力,更重要的是具备了学习能力。学习能力是智能行为的一个非常重要的特征,也是CR区别于其他传统无线电、感知无线电以及自适应无线电的主要特征。学习是基本的认知活动,是经验与知识的积累过程,也是CR对外部环境前后关

联地把握和理解的过程,能够不断改善无线电通信系统的性能。

软件无线电技术的成熟为CR的实现提供了基础,无线电模块的软件化可重配置使得CR的自适应调整能力成为可能。同时,智能的学习能力则要依赖于人工智能技术。因此,Mitola在1999年提出CR的概念时就认为,CR实质上是软件无线电平台加人工智能技术^[2]。

认知引擎就是在软件无线电平台上实现基于人工智能技术的推理与学习,实现并驱动整个认知环路,是实现CR的核心部件。可以说,认知引擎是CR的“大脑”,认知引擎技术是实现CR的核心技术^[2-4]。

1 现有的认知引擎

对于CR技术的研究目前大多数还处在理论研究阶段,对于认知引擎

汪李峰/WANG Li-feng

魏胜群/WEI Sheng-qun

(中国人民解放军总参谋部第六十一研究所,
北京 100141)
(61st Institute, General Staff, PLA, Beijing
100141, China)

的具体实现还不多,而且仅实现了物理层和链路层的认知与优化。在现有的认知引擎中,比较典型的是美国弗吉尼亚工学院(VT)的无线通信中心(CWT)和美国国防部(DoD)通信科学实验室(LTS)研究开发的认知引擎。

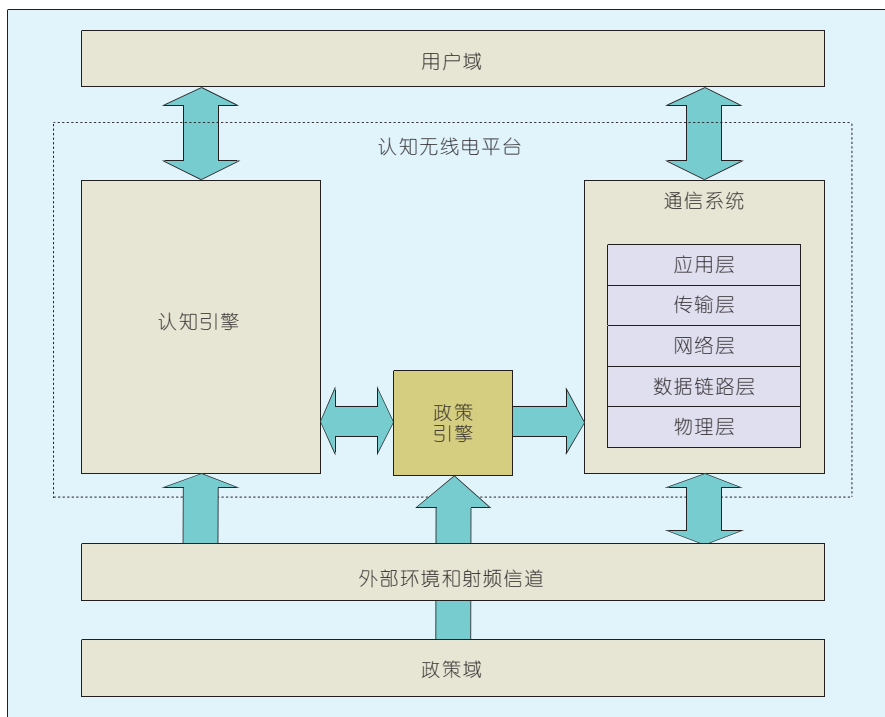
1.1 VT-CWT的认知引擎

弗吉尼亚工学院的CWT研究人员提出了一种通用CR架构^[5]。如图1所示,认知引擎被设计为独立于传统电台的单独模块,通过对用户域、无线域以及政策域信息的认知,来优化控制整个无线通信系统。

在这个通用架构中,CR有3个输入域。用户域负责将应用与服务的性能需求,比如时延、传输速率等QoS要求输入认知引擎;无线域是无线电台发射与接收所涉及的外部传播环境与射频(RF)信道条件等,它对于决策优化和波形选择非常重要;政策域负责无线电所处环境的频谱资源分配与市场准入政策的输入,是通过政策引擎的解释与管理后输入的。

CWT的研究人员认为,CR为了适应特定的频谱环境,需要对波形的诸多参数进行调整,比如频率、功率、调制方式、星座大小、编码方式、编码速率等,因此,CR适应无线环境的过程是一个多目标优化的过程,而遗传算法是解决多目标优化问题的有效算

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(“973”计划)项目(2009CB320403),国家自然科学基金资助项目(60832008)



▲图1 VT-CWT通用认知无线电架构

法。基于上述通用CR架构,CWT利用遗传算法设计了如图2所示的基于遗传算法的认知引擎^[4-5]。

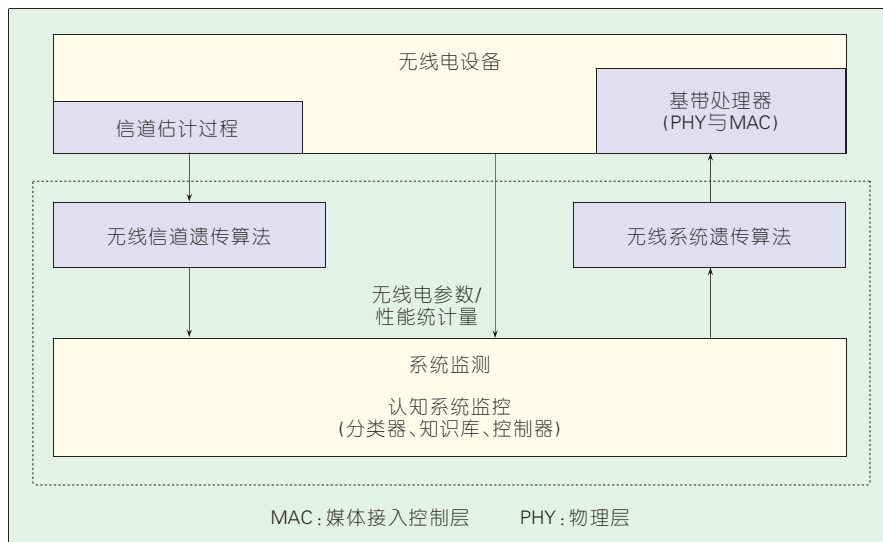
其中,无线信道遗传算法模块使用遗传算法对无线信道和环境进行建模,无线系统遗传算法模块则利用遗传算法生成新的波形,认知系统监控模块包含有知识库,其中长期知识是认知引擎曾经处理过的各种信道及相应的无线系统遗传算法模块初始化参数,短期知识则是从长期知识库中搜索出的与当前信道比较相近的案例。

为了避免在相同的信道条件下,多次执行遗传算法进行优化处理,在认知系统监控模块中实现了基于案例的决策器(CBD)^[6],即如果知识库中存在相同的案例则直接应用以前优化的结果,否则就执行优化过程。同时,认知系统监控模块能够提供并行分布式操作,具有学习分类器以及交替遗传算法功能,可以利用存储在知识库中的长期知识来综合匹配信道,也可以根据应用需求对短期知识进行操作。

该认知引擎可以对波形的相关参数进行调整,满足误比特率(BER)、信号带宽、频谱效率、功率、数据速率和干扰等多个指标的要求。目前,该认知引擎已通过Matlab仿真实验与弗吉尼亚工学院的CR测试平台试验。

1.2 DoD-LTS的认知引擎

Charles Clancy、Erich Stuntebeck 等



▲图2 VT-CWT设计的基于遗传算法的认知引擎

人在LTS工作时,对CR和认知引擎进行了研究,他们基于软件通信体系架构(SCA)开发了开源的认知无线电(OSCR)^[7],设计了能够在各种信道条件下调整调制和编码方式,实现信道容量最大化的认知引擎^[8]。

Charles等人认为,CR就是增加了认知引擎的软件无线电,在认知引擎与软件无线电平台之间需要定义一个良好的应用程序接口(API)。认知引擎包括了知识库、推理引擎与学习引擎,如图3所示,目的是驱动软件无线电的重配置。

其中,知识库一方面存储外部环境(信噪比和BER)和软件无线电(调制方式和编码速率)当前的状态,另一方面存储了一些规则,由条件和操作构成,确定了什么状态下选择什么样的波形能够实现信道容量最大化。由于OSCR中考虑的目标单一,可调的波形参数也较少,因此不需要使用遗传算法,只需要根据预置的规则进行推理。

在OSCR的认知引擎中,基于知识库中的长期知识来做出决策,这些决策是推理和学习所推断出来的结果。推理引擎类似与专家系统,利用知识库进行智能的决策;学习引擎则从经验中获取知识,更新知识库。随着不断的学习,学习引擎存入知识库中的

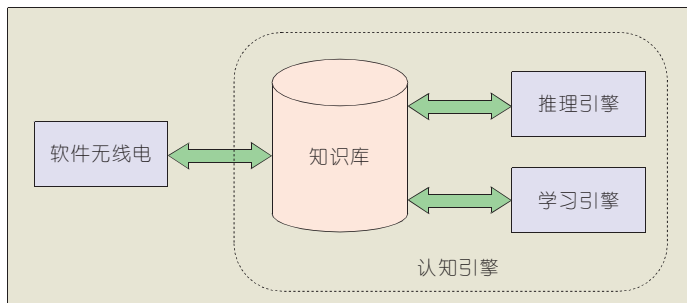


图3
DoD-LTS设计的
认知引擎

知识又将作为推理引擎后续工作的基础。

OSCR认知引擎的学习功能是通过试错搜索的方法实现的。根据文献[8]里面的论述,在加性高斯白噪声(AWGN)信道中,信道容量可以根据香农公式计算得到,波形的BER也可以通过理论公式计算得到,因此最佳的波形可以通过推理得到。

而在非AWGN信道中,由于信道容量无法获知,而且各种波形的实际性能也无法得到,因此不能通过推理得出合适的波形,只能通过“学习”得到。

具体而言,信道容量是波形的调制阶数、编码速率和BER的凸函数,调制阶数越高,信息速率越大,但BER也会增加,未必会带来信道容量的提高;编码速率越小,信息速率也越小,但BER会降低,可能会增加信道容量。BER通过接收端的反馈得到,然后就可以计算每种波形的实际信道容量,通过不断地调整波形参数并进行实际测试,认知引擎能够找到信道容量最大的波形。

2 认知引擎功能模型

2.1 认知环路

CR的认知要素包括环境的感知、推理、学习流程以及状态控制,构成一个激励—体验—响应模式的过程,CR节点不断进行着从观察到行动的循环,其认知信息的循环流动形成一个完整的认知环路。

为了实现理想认知引擎的功能,Mitola定义了包括观察、判断、计划、

决策、执行和学习等阶段的认知环路,可视为认知引擎实现自身功能的响应序列^[8]。对于认知环路中响应序列的遍历与转换过程可以理解有限状态机的转移过程。

如图4所示,CR节点从对外部环境的观察阶段开始到执行阶段结束,中间贯穿了两个过程^[5]:一个是观察、判断、计划、决策、执行的过程,可以称为决策和自适应环路(外环),另一个是在这个过程中知识的发现、形成、使用和积累的过程,可以称为学习环路(内环)。

认知环路只是定义了认知引擎的行为过程和相应的功能划分,不涉及具体的实现。认知引擎就是要根据具体的不同情况,驱动不同的认知环路的实现。因此,上述认知引擎虽然因应用环境的不同,在实现方式上有所不同,但所包含的基本认知要素是相同的,都是推理与学习,并通过推理与学习驱动着整个认知环路的循

环反复。

2.2 认知引擎模型

综合分析CR定义、认知环路以及现有认知引擎的功能,认知引擎的功能模型主要包括以下几个部分:

- 建模系统。这是认知引擎的输入部分,对用户域、无线(包括网络)域与政策域的感知信息进行建模,即对输入的感知信息和先验知识进行识别、融合和抽象,形成机器可懂的模型,包括目标建模、政策建模、业务环境建模、网络状态建模和无线环境建模等功能组件。它涉及到认知环路的观察阶段,实现感知功能。

- 知识库。这是认知引擎的核心部分,存储内容既有长期的经验知识,也有暂时的状态和环境知识,是进行推理与学习的基础。这里的知识都是以一种机器能够识别的表示形式存在。

- 推理机。这是认知引擎的“逻辑思维”部分,能够利用知识库的知识与感知到的信息进行判断、计划、决策和执行,实现决策和自适应环路。这里需要人工智能的推理决策技术,实现自适应能力。

- 学习机。这是认知引擎的“创造思维”部分,能够根据行为结果的反馈等手段,进行知识的发现、形成、使用与积累,实现学习环路,从而向

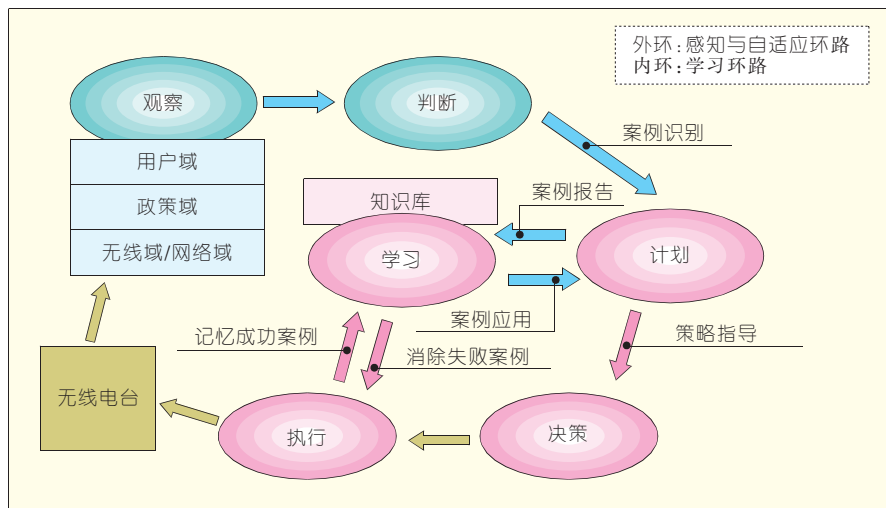


图4 认知环路

知识库输入知识。这里需要人工智能的机器学习技术,实现学习能力。

各类接口和资源监控等模块也是必备的功能要素,但其实现可以归纳到软件无线电平台中。

对于CR,频谱管理是非常重要的应用。这里,我们将政策引擎融入到认知引擎中进行了一体化考虑,其频谱政策输入与感知在建模系统中实现,动态频谱政策管理与应用则可以分解到推理与学习模块中。

3 认知引擎关键技术

在CR中认知引擎是可以与通信系统相分离的功能组件。实际上,两者处理的问题是不同。通信系统处理的是不确定性问题,其目的是准确地传输或恢复波形中携带的信息,降低噪声和干扰引起的不确定性。认知引擎处理的是复杂性问题,其目的是根据传感器的结果了解用户的需求和环境的状态,并对通信系统进行优化来满足需求和适应环境。人工智能是解决复杂性问题的策略和方法,因此,认知引擎主要涉及人工智能领域的技术。在认知引擎实现上主要涉及到下列关键技术。

3.1 知识表示技术

知识表示实际上就是对人类知识的一种描述,把人类知识表示成计算机能够处理的数据结构^[9]。按照人们从不同角度进行探索以及对问题的不同理解,知识的表示方法可分为陈述性知识表示和过程性知识表示两大类。陈述性知识表示主要用来描述事实性知识,比如信道的信噪比,无线电当前的工作参数等;过程性知识表示主要用来描述规则性知识和控制结构知识,比如CR在特定环境中的波形参数配置规则等。

知识表示技术在认知引擎中用于构建知识库,CR的知识库包括短期知识和长期知识。其中,短期知识表示当前状态,包括外部环境状态和内部工作参数;长期知识可分为规则

库和案例库,规则库存储关于无线通信和无线电的一般性知识,比如波形的信息速率、带宽等参数的推导和误比特率的估计等,用于推理过程。案例库存储CR的历史经验,一方面,案例库存储感知的外部环境的数据,包括本地电磁频谱环境的状态和信道的传输特性。这些数据是认知引擎进行学习的对象和实现学习行为的基础,通过对这些数据的处理,认知引擎可得出有益的经验知识,比如关于本地频谱使用情况的知识和关于可用信道的知识等。另一方面,案例库还存储每次业务通信过程中采取的各种操作及其结果、与技术人员经常利用成功的经验来解决相近的问题,或者利用失败的经验来防止再次失误类似,案例库有利于认知引擎快速地得出优化的决策结果。

目前,大多数无线电表示语言如规范描述语言(SDL)、统一建模语言(UML)、接口定义语言(IDL)以及可扩展标记语言(XML)等都是用于描述的计算机语言,但缺乏准确性和灵活性。瑞典皇家科学院开发的无线知识描述语言(RKRL)和基于本体(Ontology)的知识表示方法也都得到了深入的研究。

3.2 机器推理技术

所谓推理,是指从已知事实出发,运用已掌握的知识,推导出其中蕴涵的事实性结论或归纳出某些新的结论的过程^[9]。在认知引擎中,推理机根据短期知识库的内容,对规则库和案例库的内容进行匹配和选择,产生的中间结果再存入短期知识库,重新进行规则和案例的匹配与选择,反复进行多次,直至得出最终的结果。

长期知识、短期知识和推理机是现代基于规则的专家系统的基础^[10],因此,认知引擎首先是无线通信领域的专家系统。推理机利用知识库的内容可以进行基于规则的推理,也可以进行基于案例的推理。目前有许多通用的人工智能开发环境,或专家系统

外壳,如C语言集成产生式系统(CLIPS)^[10]和SOAR^[11],均提供了推理功能,开发人员只需要根据其语法定义开发专业知识库即可构成专业领域的专家系统,文献[7]和文献[8]的认知引擎就是基于SOAR开发的。

目前,可用于认知引擎的机器推理人工智能算法主要有状态空间模型及其查找、基于规则系统、基于案例推理、神经网络、模糊逻辑、遗传算法以及基于知识推理等。

3.3 机器学习技术

机器学习是研究如何使用计算机来模拟人类学习活动的一门学科,更严格地说,就是研究计算机获取新知识和新技能、识别现有知识、不断改善性能、实现自我完善的方法^[9]。Herbert Simon将学习定义为:能够让系统在执行同一任务或相同数量的另外一个任务时比前一次执行得更好的任何改变。具备从经验中学习提高的能力是CR区别于一般无线电的核心特色。

根据学习的内容不同,认知引擎中需要集成多种学习算法,主要有3类。第一类是监督学习,用于对外部环境的学习,主要是利用实测的信息对估计器进行训练。比如,在对信道认知的情况下,CR在通信之前对信道的具体参数是不了解的,只有根据预测的信息进行选取,但在完成一次通信之后,信道的相关参数就可以通过估计得到。认知引擎就可以利用估计得到的参数对信道预测模型进行训练,以更好地匹配当前信道。第二类是无监督学习,用于对外部环境的学习,主要是提取外部环境相关参数的变化规律。比如,在对频谱忙闲状态的认知中,需要根据案例库获得频谱空洞在时间和频率上的分布规律。第三类是强化学习,用于对内部规则或行为的学习,主要是通过奖励和惩罚机制突出适应当前环境的规则或行为,抛弃不适合当前环境的规则或行为。比如可以通过强化学习从多种

波形中选择出适合当前信道条件的波形。

目前,可以用于认知引擎的机器学习人工智能算法主要有贝叶斯逻辑、决策树、Q学习法、时间差分法、神经网络、博弈论以及遗传算法等,不同的算法适用于不同的场合。

4 结束语

认知引擎是CR的智能核心。基于软件无线电平台实现的具备人工智能的认知引擎,通过良好的接口定义,可以支持CR的动态频谱共享、动态波形重配置、协同与中继传输、认知网络协议、异构网络融合等多种应用。随着研究的不断深入,认知引擎技术的不断成熟,CR必将迎来广阔的应用前景。

5 参考文献

- [1] HYKIN S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23 (2): 201-220.
- [2] MITOLA J III, MAGUIRE G Q JR. Cognitive radio: making software radios more personal [J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6 (4): 13-18.
- [3] MAHMOUD Q S. Cognitive networks, towards self-aware networks[M]. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2007.
- [4] RIESER C J. Biologically inspired cognitive radio engine model utilizing distributed genetic algorithms for secure and robust wireless communications and networking[D]. Blacksburg, VA, USA: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004.
- [5] RONDEAU T W. Application of artificial intelligence to wireless communications[D]. Blacksburg, VA, USA: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2007.
- [6] RONDEAU T W, RIESER C J, LE B, et al. Cognitive radios with genetic algorithms: intelligent control of software defined radios [C]//Proceedings of SDR Forum Technical Conference (SDR' 04), Nov 15-18, 2004, Phoenix, AZ, USA. 2004: C3-C8.
- [7] STUNTBECK E, O'SHEA T, HECKER J, et al. Architecture for an open-source cognitive radio[C]//Proceedings of SDR Forum Technical Conference (SDR' 06), Nov 13-17, 2004, Orlando, FL. 2006.
- [8] CLANCY C, HECKER, STUNTEBECK E, et al. Application of machine learning to cognitive radio networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2007, 14(4): 47-52.
- [9] 张仰森, 黄改娟. 人工智能教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [10] GIARRATANO J, RILEY G. 专家系统原理与编程[M]. 印鉴, 陈忆群, 刘星成, 译. 北京: 机械

工业出版社, 2006.

- [11] LEHMAN J, LAIRD J, ROSENBLUM P. A gentle introduction to SOAR, an architecture for human cognition: 2006 update[EB/OL]. <http://ai.eecs.umich.edu/soar/sitemaker/docs/misc/GentleIntroduction-2006.pdf>.

收稿日期: 2009-01-08

作者简介



汪李峰, 博士, 总参第六十一研究所高级工程师。毕业于解放军理工大学, 先后负责和参加大型通信系统研制项目、国家“973”计划项目和国家自然科学基金项目近10项, 获得国家科技进步一等奖1项、军队科技进步一等奖1项及二等奖1项。已发表论文20多篇, 主要研究领域为移动Ad Hoc网络以及认知无线网络。



魏胜群, 博士, 总参第六十一研究所工程师。毕业于解放军理工大学通信工程学院, 参与过多项军内外科研课题。研究方向涉及扩频通信、自适应均衡、Turbo均衡和认知无线电技术, 发表论文10余篇。

中兴通讯推出下一代光传送网解决方案iCTN及其融合型旗舰产品ZXONE 5800

2009年2月, 中兴通讯携下一代光传送网解决方案iCTN及其新一代融合型旗舰设备ZXONE 5800亮相2009年巴塞罗那展会。

iCTN光传送网解决方案面向移动网络IP化演进及全业务运营, 融合了光传送平台及下一代分组承载技术, 采用高效的光层与电层调度机制, 在兼顾所有传统业务的基础上, 充分满足未来新业务的高速发展要求。iCTN解决方案帮助运营商克服业务发展的不确定性, 灵活适应网络长期演进过程中不同发展阶段, 从而大幅降低建网及运营成本、保护投资。

ZXONE 5800作为iCTN解决方案的高端产品, 定位于城域核心层, 通过在开放架构下兼容SDH、OTH、WDM、分组等多种技术, 解决了当前最为迫切的核心层网络融合需求, 助力运营商从2G/3G/固网向LTE/FMC演进。

作为全球领先的通信解决方案提供者和光传输的先驱者之一, 中兴通讯长期以来致力于光传输技术的研究。2008年, 中兴通讯获得了第十七届WATTA技术类大

奖, 在世界宽带论坛亚洲会议上, 中兴通讯内嵌RPR解决方案获得国际工程协会(IEC)颁发的Info Vision大奖。

凭借对光网络技术发展深刻的理解和丰富的建网经验, 中兴通讯光网络产品已广泛进入欧洲、亚太、拉美、非洲及中东等区域的90多个国家的250多个运营商网络。据OVUM 08 Q2报告, 中兴通讯光网络产品季度市场份额跻身亚太第三, 滚动年度市场份额同比增速最快。

中兴通讯加强与德国电信T-Mobile合作关系

2009年2月, 中兴通讯与欧洲最大的移动运营商之一、德国电信旗下的移动子公司T-Mobile签署了GFA合作协议。此项合作涵盖了用于T-Mobile移动通讯服务所用的手机和数据卡设备, 双方将藉此建立覆盖欧洲所有市场的战略合作关系。

中兴通讯与德国最大的电信运营商德国电信及其附属公司T-Mobile长期保持着良好接触, 而且在过去的几个月里, 双方合作关系得到了很大的加强。为了更便捷地合作, 中兴通讯在波恩设立了新办事处, 以服务于德国电信的固定和移动网络建设。