

天基网络动态接入技术现状与趋势

Dynamic Access Technology for Space-Based Network: Situation and Development Trend

贾敏/JIA Min

高天娇/GAO Tianjiao

郑黎明/ZHENG Liming

郭庆/GUO Qing

(哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150080)
(Harbin Institute of Technology, Harbin
150080, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 04-0034-005

摘要: 认为天基网络将由单一向多层结构发展; 通过业务驱动空间资源分配和调用, 可实现天基骨干网动态接入, 满足高速率、高带宽、高可靠性等业务需求; 运用激光技术能辅助解决远距离、高速率传输的问题。此外, 还比较了现有的多种无线通信多址接入方式, 指出了天基网络动态接入技术发展面临的挑战。

关键词: 天基网络; 接入; 动态; 趋势

Abstract: Multi-level network will be the main structure of space-based network. Allocation and call of space resources, which is driven by business, can realize dynamic backbone network access and meet the business requirements, such as high rate, high bandwidth, high reliability, etc. Laser technology helps to solve the problem of long distance and high rate transmission. Moreover, we compare the existing wireless multiple access methods and point out the major challenges to realize space-based network access.

Keywords: space-based network; access; dynamic; trend

随着信息共享无缝覆盖需求的日益增长和多种业务需求的急剧增加, 现有地面无线通信系统已然无法满足要求。在商业需求和军事需求的双重影响下, 天地一体化信息网络概念模型应运而生, 因此天基网络相关概念及技术的研究就变得尤为重要。

1 天基网络概述

由于业务需求日益增大, 业务种类逐渐丰富, 未来的天基信息网络将由不同轨道高度的卫星组成, 如地球同步轨道(GEO)卫星、低轨道(LEO)卫星、中轨道(MEO)卫星、高轨道(HEO)卫星等。同时针对不同的业务类型, 天基网络的主要业务承载体将由中继、遥感、通信、导航定位等卫星系统及高空平台和飞行器组成。根据空间信息资源的最大有效综合利用原则, 构成有机的, 功能完备的智能化网络体系, 即天基综合信息

收稿时间: 2016-05-02

网络出版时间: 2016-06-16

基金项目: 中国工程院重大咨询研究项目(2016-ZD-07);

网, 如图1和图2所示。

2 天基网络动态接入技术现状

2.1 天基网络研究现状

美国的发展水平处于世界领先地位, 在进入空间和利用空间领域里具有绝对技术优势, 拥有完整的天基侦察、预警、通信系统, 并在继续发展新技术以满足未来的探测、覆盖、通信、目标特性及定位精度的需求^[1]。几种具有代表性的美国军事卫星系统为: 窄带通信能力—移动用户目标系统(MOUS), 保密通信能力—先进极高频卫星系统(AEHF), 宽带通信能力—“宽带全球卫星通信”系统(WGS), 数据中继能力—跟踪与数据中继卫星系统(TDRSS), 星际组网能

力—转型卫星通信系统(TSAT)。

经过几十年尤其近年来的发展, 中国在天基信息系统建设方面取得了巨大的进步, 已初步建立了卫星群路通信网, 甚小口径天线地球站(VSAT)卫星通信网, C频段卫星测控网, S频段航天测控网, 战术移动通信系统等多个空间通信网系, 在轨和在研的卫星种类不断增加, 载荷类型和功能也日臻完善。“东方红”系列卫星, 以“北斗”为首的定位导航卫星系统, 以“天链”为首的中继卫星系统, 甚至哈尔滨工业大学近几年发射的小卫星—紫丁香卫星, 无不象征着中国卫星通信的飞速发展。但由于空间技术发展的历史问题和战术应用卫星的特殊性, 总的来说, 当前中国的天基信息系统在发展理念和规模、理论和技术水平以及应用层度和深

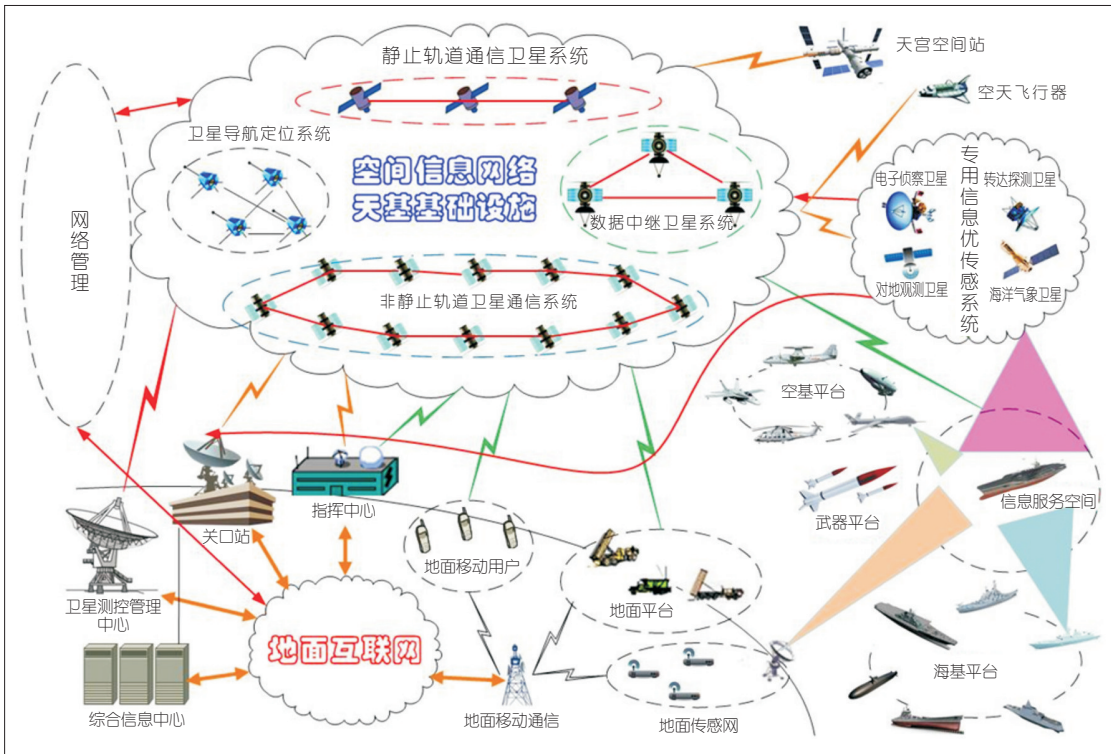


图1 天基网络示意

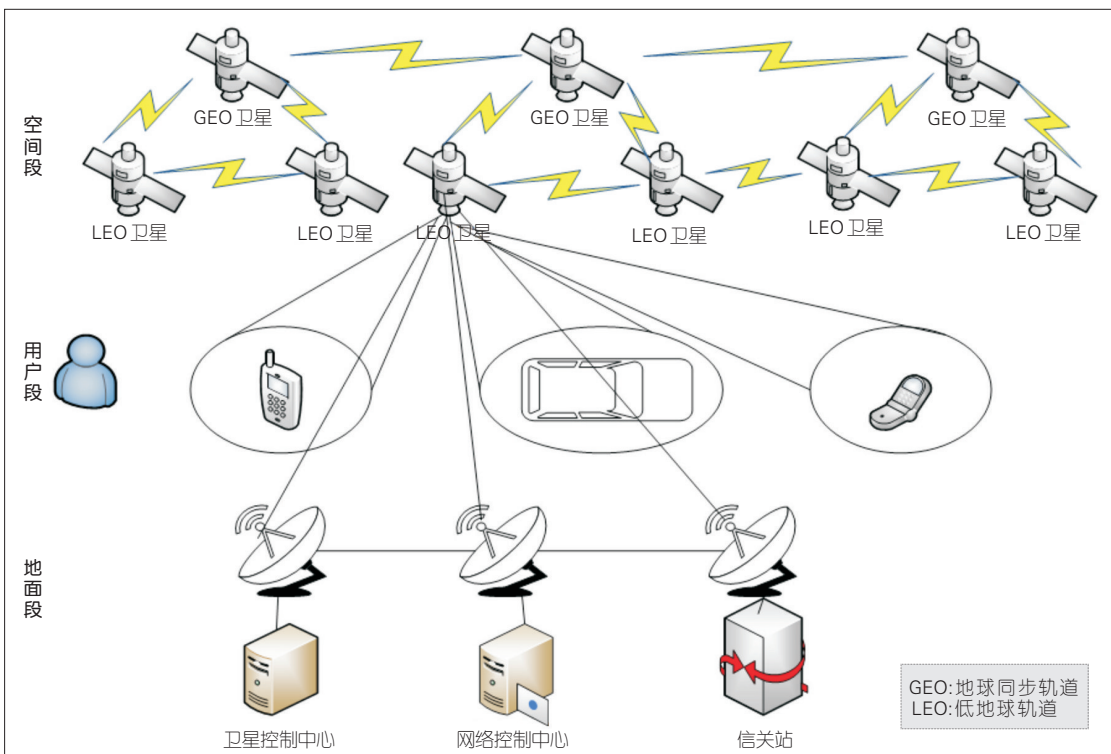


图2 空间和地面的整体组成

度仍然面临很多问题。

2.2 接入技术研究现状

接入控制属于无线资源管理

(RRM)的范畴。RRM技术直接关系到移动用户的服务质量和通信系统的性能,其功能是为需要通信的用户选择一个合适的卫星波束,以及在波

束中分配信道,确定用户以及卫星的发射功率等^[2]。

美国在20世纪末成功部署了TDRSS,其中,多址接入技术是TDRSS

的重中之重,发展演变历程共有3个阶段:

(1)第一代 TDRSS 系统的多址体制为空分多址(SDMA)结合码分多址(CDMA)方式,星上采用一个S频段多址相控天线,具有30个阵元,全部用作接收阵列,发射阵列由其中的12个具有收发双工性能的阵元承担,在通信过程中,只需24个接收阵元、8个发射阵元即可达到TDRSS通信要求^[3]。其中,每个波束的用户采用基于伪噪声(PN)的码分多址技术,最大速率可达到50 kbit/s。其空分多址的波束形成是在地面完成的,各个天线单元接收到反向链路的信号,经过低噪放等处理过程送给星上处理器,并将信号频分复用(频点间隔设置为7.5 MHz)后形成中频信号,再通过上变频处理将信号从K频段传输下去送给地面基站,在地面接收到多个阵元的信号进行波束形成。

(2)第二代 TDRSS 系统星上采用的多址天线为S频段六角形相控阵模式,且因为星上形成波束,天线增益提高约6 dB,反向链路为32条,前向链路为15条,系统增强了多址业务反向能力,占用2.0~2.3 GHz波段进行多址访问,前向链路数据传输率为300 kbit/s,并能以传输速率3 Mbit/s同时接收5个用户星的信息^[4]。

(3)空天信息网络第三代 TDRSS 完成了空间对接、高覆盖率和返回着陆等方面的卫星测控任务,并能够做到对于图像信号的实时传输,关于其多址链路技术,最近美国提出了按需接入的第三代中继卫星地面合成方案,第三代多波束合成方案采用地面接收数字波束合成(DBF)技术,可满足更多用户按需接址的通信要求^[5]。

Hiroki Nishiyama 和 Daigo Kudoh 等人总结了不同的路由协议,并对其进行了分析^[6]。在多层卫星路由中,卫星链路状态信息发送到 GEO 并更新卫星的路由表并发送给 LEO 卫星和 MEO 卫星传输到 GEO 卫星。通过采用集中控制机制,不仅可以最小化生

成路由表的时延,而且减少了信令传输和路由计算的开销。MEO 和 LEO 卫星星座双层网络的一种路由协议为卫星组路由协议(SGRP)中,MEO 和 LEO 卫星星座的作用是分开的,通信流量只通过 LEO 卫星发送,MEO 卫星负责路由控制、卫星组网等网络管理工作。

为了提高性能,降低切换请求到达率,同时考虑到低轨卫星通信的特点,文献[7]首先提出了多星覆盖下接入的三种策略,即距离优先、覆盖时间优先和仰角加权覆盖时间优先。

由于全球业务分布不均匀,为了避免部分卫星负荷过载,文献[8-9]提出融合最短距离策略、最长服务时间方案和最多空闲信道方案,并得到对新呼叫使用最多空闲信道方案及对切换呼叫使用最长服务时间方案能取得更好的系统性能的结论。文献[10]针对具有均匀分布特性的 Walker 星座系统的卫星选择策略进行研究,进而提出了五种准则:即可视时间准则、卫星信道负荷准则、仰角准则、满足信道负荷要求的可视时间准则和早期信道释放可视时间准则,并对其中几种组合进行了仿真分析。文献[11]利用多普勒频移效应及卫星几何关系求出卫星发生切换的时间和位置,通过计算终端位置,提供通信服务的卫星就可以导出目的卫星并进行信道资源的预留,这样就能为切换呼叫提供一定的服务质量(QoS)保证。文献[12]基于采用可变数目的保护信道,提出一种自适应信道预留策略。文献[13]基于用户地理位置来估计切换可能发生的次数,提出自适应信道分配策略。

3 天基网络动态接入技术发展趋势

传统接入方式在很多情况下都有自身的缺点,容易造成信道资源的浪费或者端到端时延的增大,特别是用户处于高速移动的过程中,业务收发需要通过卫星进行传送。实际应

用中的上下行链路带宽、误码率、发射速率也会造成一定的条件限制^[14]。

3.1 单层网络到多层网络

不同轨道高度卫星网络中的卫星节点的动态性将造成卫星网络的拓扑结构产生变化,因此,卫星网络是一种动态网络。不同轨道高度的卫星可提供的服务差异很大。

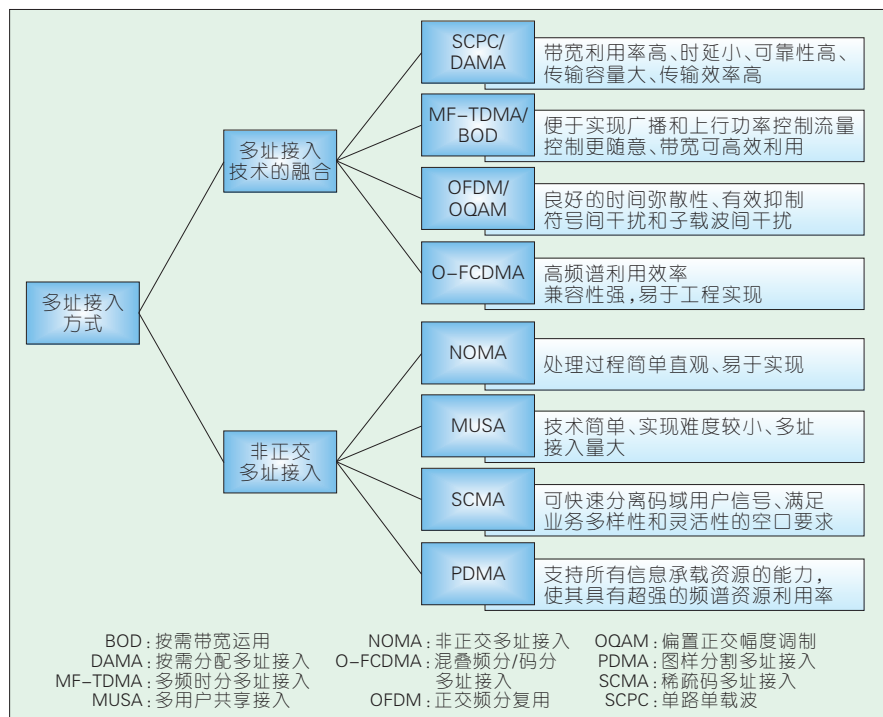
单层卫星动态网络主要是由单一轨道的不同高度的卫星所构成。单层卫星网络暴露出很多缺点,比如时延指标过高、网络阻塞概率大、网络抗毁性差。多层结构的卫星动态网络是由不同轨道的卫星所组成。在时延、网络阻塞、网络抗毁性等方面,多层结构的卫星动态网络比单层卫星动态网络^[15]具有更优越的性能。为实现全球范围内的信息共享,天基网络将由不同高度轨道的卫星组成,以满足天基信息网的要求。

3.2 骨干网接入

目前,通常采用具备星地、星间通信能力的空间移动通信系统作为高数据率传输的主干网,各类卫星(星座)、地面固定、车载、机载、舰载等应用于网接入的方式来构成应用信息系统^[16]。但是,基于覆盖的需求及网络拓扑结构分析,天基骨干网应为具有高数据率传输能力的 GEO 或 GEO/LEO 组成。因此,未来骨干网的发展趋势是由业务驱动空间资源的分配并合理调用卫星资源,以适应未来面向地面第五代移动通信系统及高速、高带宽、高可靠性的业务需求,从而对接入技术及空中接口提出了更高的要求。

3.3 微波为主激光为辅

目前,天基骨干网的主要通信方式为微波通信,目前微波频段已接近其理论可利用的极限。光波频率较微波基频高,可达到数百 THz 量级的通信带宽,且具有抗干扰、抗截获能力强,保密性好以及轻小型等优势,



▲图3 现有的多址接入方法

将成为天基信息网络中支持远距离、高速率传输的重要手段。但激光技术也存在着一些尚未解决的问题,大力发展微波为主,激光为辅的星间/星地通信。

4 多址技术

现有的无线通信的多址接入方法及其特点如图3所示。我们将其分成了两类,一类是多址接入技术的融合,分为单路单载波(SCPC)/按需分配多址接入技术(DAMA)、多频时分多址接入(MF-TDMA)/按需带宽运用(BOD)、正交频分复用(OFDM)/偏置正交幅度调制(OQAM)、混叠频分/码分多址(O-FCDMA)^[17];另外一类是非正交多址技术,主要有非正交多址接入技术(NOMA)、多用户共享接入(MUSA)、稀疏码多址接入(SCMA)及基于非正交特征图样的图样分割多址接入技术(PDMA)。

4.1 按需接入

对稀疏路由通信环境,用户站比较分散,若采用业务控制点(SCP)、

传统频分多址接入(FDMA)那样的固定分配方式将会浪费空间卫星资源,为此,采用DAMA方式来提高效率。这种方式可以在依次呼叫的基础上建立卫星链路,大量的用户站按需使用卫星容量,使空间资源得到很好的利用。DAMA用于FDMA称为DA/FDMA;用于时分多址接入(TDMA)称为DA/TDMA或SCPC/DAMA。

DAMA是一种稀路由公共交换网服务的方案,其采用了“池”技术来实现卫星信道资源的共享,在网络管理控制中心(NMCC)采用集中控制方式下分配可用信道,建立链路的连接。使用完毕的信道则重新进行分配,这样则实现了卫星信道和地面站信道之间是一种随机的分配方法,能够提高信道的利用率。从技术上分析,它是以频分方式分离控制和业务信道的。网络管理控制中心的计算机系统被称为NCS,其发向远程地面站(业务站)的连续数据是发在OCC上。

4.2 组合自由/按需分配多址接入

组合自由/按需分配多址接入

(CFDAMA)的基本思想是将带宽预先分配给请求终端。有3种分配方式:预先分时隙、随机接入时隙或在分组尾部携带请求信息。同时,对于剩余容量采用轮询方式进行合理分配,节省突发业务预约时间。在CFDAMA协议的基础上,产生了一种演进协议即PRR-CFDAMA^[18]。

4.3 非正交多址接入

2014年,日本著名通信运营研发商NTT DOCOMO正式提出非正交多址接入(NOMA)技术。其目的就是为了在满足用户体验需求的前提下,更加高效的利用频谱资源,并为以后部署覆盖范围更小的小区提供理论基础。NOMA在发送端主动引入干扰信息,并通过串行干扰删除或迭代检测,重构出干扰信号,然后消除干扰,提高接收机性能。其基本思想是利用提高接收机的复杂度来换取频谱效率的提升,那么如何设计低复杂度的接收机算法则成为该技术的难点问题。

4.4 稀疏码多址接入

在发送端通过多维调制和稀疏扩频将编码比特映射成SCMA码字,接收端通过多用户检测完成译码。在多用户场景下,SCMA与OFDMA技术相比可以实现在同等资源数量条件下,系统整体容量的提升。SCMA采用的是低密扩频码,因为低密扩频码中有部分零元素,码字结构具有明显的稀疏性,这也是SCMA技术命名的由来。这种稀疏特性的优点是可使接收端采用复杂度较低的消息传递算法和多用户联合迭代法,从而实现近似多用户最大似然解码。

以上的接入方法各具优势,然而,天基网络具有的高动态、时延及移动性问题,将给天基网络的接入技术实现提出较大挑战。

5 结束语

我们对天基网络及相关接入技

术的研究现状及发展趋势进行了归纳总结,并分析了目前几种先进多址接入技术的应用特点。因为天基网络具有的动态拓扑、时延及移动性等问题,天基网络的相关接入技术将是卫星通信方向研究的一大热点,中国在该领域和发达国家相比仍有较大差距,因此开展天基网络相关接入技术及方法的研究,应当首先在天基网络战略及多种业务需求下展开相关关键技术的研究。

参考文献

- [1] 何俊, 易先清. 基于 GEO/LEO 两层星座的卫星组网结构分析[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(3): 47-54
- [2] PEYRAVI H. Medium Access Control Protocols Performance in Satellite Communications[J]. IEEE Communications Magazine, 1999, 36(5):62-71. DOI:10.1109/35.751497
- [3] 赵静, 赵尚弘, 李勇军. 星间激光链路数据中继技术研究进展[J]. 红外与激光, 2013, 42(11): 3103-3110
- [4] 吉雯龙, 于小红. 国外中继卫星系统发展与应用分析[J]. 四川兵工学报, 2014, 35(10): 118-120
- [5] 张玲玲. 简述空天信息传输网络的特点、现状及发展趋势[J]. 山东工业技术, 2016, 35(4): 140
- [6] NISHIYAMA H, KUDOH D, KATO N. Load Balancing and QoS Provisioning Based on Congestion Prediction for GEO/LEO Hybrid Satellite Networks[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(11):1998-2007. DOI:10.1109/JPROC.2011.2157885
- [7] 凌翔, 胡剑浩, 吴诗其. 低轨卫星移动通信系统接入方案[J]. 电子学报, 2000, 28(7):55-58
- [8] PAPANETROU E, KARAPANTAZIS S, DIMITRIADIS G. Satellite Handover Techniques for LEO Networks[J]. International Journal of Satellite Communications and Networking, 2004, 22(2): 231-245
- [9] KWON Y, YOUNG Y J, SUNG D. Satellite Selection Scheme for Reducing Handover Attempts in LEO Satellite Communication Systems[J]. International Journal of Satellite Communications, 1998, 16(4): 197-208
- [10] BOEDHIHARTONO P, MARAL G. Evaluation of the Guaranteed Handover Algorithm in Satellite Constellations Requiring Mutual Visibility[J]. International Journal of Satellite Communications and Networking, 2003, 21(2):163-182
- [11] PAPANETROU E, PAVLIDOU F. QoS Handover Management in LEO/MEO Satellite Systems[J]. IEEE Transactions on Communications, 2003, 46(3):309-313. DOI:10.1023/A:1022569901936
- [12] BEYLOT A, BOUMERDASSI S. Adaptive Channel Reservation Schemes in Multitrafic LEO Satellite Systems[C]// IEEE Global Telecommunications Conference, USA:IEEE, 2001(4):2740-2743. DOI: 10.1109/GLOCOM.2001.966272
- [13] CHO S. Adaptive Dynamic Channel Allocation Scheme for Spotbeam Handover in LEO Satellite Networks[C]// IEEE Vehicular Technology Conference, USA: IEEE, 2000(4):1925-1929. DOI:10.1109/VETECF.2000.886150
- [14] 曾孝平, 刘心迪, 罗阳, 等. 同步卫星多用户接入控制及切换的优化算法[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(4):840-846
- [15] 刘振浩, 张明智, 王燕, 等. 基于分层结构的卫星动态接入网络建模研究[J]. 指挥控制与仿真, 2010, 6(32):1-4
- [16] 胡源, 姜会林, 丁莹, 等. 天地一体化信息网络国外发展现状与趋势[C]// 第二十八届全国通信与信息技术学术年会论文集, 2013:49-53
- [17] 顾娜, 匡麟玲, 吴胜, 等. 混叠频分/码分多址(O-FCDMA)系统框架[J]. 清华大学学报, 2015, 55(5): 485-490

作者简介



贾敏, 哈尔滨工业大学副研究员、博士生导师; 主要研究领域为无线移动通信、卫星通信新技术、认知无线电技术、信号处理与检测及估计技术; 主持和参与国家自然科学基金项目(青年及重大项目)、国防基础预研项目、“973”子课题及省部级等科研项目多项, 获得2项

科研成果奖; 已发表论文60余篇, 其中被SCI/EI检索50余篇。



高天娇, 哈尔滨工业大学硕士研究生; 研究方向为卫星移动通信系统。



郑黎明, 哈尔滨工业大学副教授; 主要研究方向为第五代移动通信、天基信息网络及移动通信网络数据工程; 曾获得2012 IEICE Best Paper Award 及 Chinacom2015 Best Paper Award 等奖项。



郭庆, 哈尔滨工业大学教授, 电子与信息工程学院院长、博士生导师; 主要研究领域为无线通信、卫星通信技术及空间信息网络; 先后主持和参加基金项目20余项, 获得3项科研成果奖; 已发表论文100余篇, 其中被SCI/EI检索70余篇。

综合信息

国际电联发布2015年度报告 定调全球电信业2020年发展目标

国际电联发布2015年度报告, 明确了全球电信业到2020年的发展目标, 总体上可分为4点。

(1) 增长: 促成并推进电信/信息通信技术(ICT)的获取与普及。2020年的具体目标为: 全球55%的家庭将享有互联网接入; 全球60%的人口将用上互联网; 全球电信/ICT价格可承受性将提高40%。

(2) 包容性: 弥合数字鸿沟, 让人人用上宽带。2020年的具体目标为: 发展中国家50%、最不发达国家15%的家庭接入互联网; 发展中国家50%、最不发达国家20%的人口使用互联网; 在价格可承受性上, 发达国

家和发展中国家之间差距下降40%; 发展中国家的宽带服务成本应不超过月平均收入的5%; 宽带业务将覆盖全球90%的农村人口; 实现互联网用户的性别平等, 并在各国形成确保残疾人获取电信/ICT的有利环境。

(3) 可持续性: 管理电信/ICT发展带来的挑战。2020年的具体目标为: 网络安全就绪水平提高40%; 过剩电子废弃物总量减少50%; 电信/ICT部门每台设备的温室气体排放减少30%。

(4) 创新与伙伴关系: 引领、完善和适应不断变化的电信/ICT环境。2020年的具体目标为: 建设有利于创新的电信/ICT环境, 形成电信/ICT环境中有效的利益攸关方伙伴关系。(转载自《中国信息产业网》)