

光载毫米波无线电通信技术的现状与发展

The Status and Prospect of Millimeter Wave Radio over Fiber System

中图分类号:TN929.1; TN928 文献标识码:A 文章编号:1009-6868 (2009) 03-0025-04

摘要:将光通信技术的成本低、带宽大、损耗小、抗电磁干扰的优势和无线毫米波通信系统结合起来而产生的毫米波光载无线(MM-RoF)系统,具有带宽大、体积小、重量轻、成本低、损耗小、抗电磁干扰及传输质量高等优点。MM-RoF可解决传统微波传输系统在毫米波段存在的损耗大、抗干扰能力弱等问题,同时可克服毫米波电子器件的电子“瓶颈”问题,非常有发展潜力。多格式多业务的MM-RoF技术将是MM-RoF系统今后发展的一个重要方向。

关键词:毫米波;光载无线;宽带无线接入

Abstract: The millimeter wave Radio over Fiber (MM-RoF) system, which combined the advantages of in fiber system and wireless millimeter-wave communications system, has advantages such as broad band, small size, light weight, low cost, anti-electromagnetic interference and high transmission quality. MM-RoF system could solve the problems of high loss and weak anti-interference ability in traditional microwave transmission system. At the same time, MM-RoF system could overcome the "bottleneck" problem of millimeter-wave electronic device with a great potential for development. The multi-format multi-service MM-RoF technology is an important direction for the development of MM-RoF system.

Key words: millimeter-wave; Radio over Fiber (RoF); broad-band wireless access

宋怡桥/SONG Yi-qiao

郑小平/ZHENG Xiao-ping

(清华大学 电子工程系, 北京 100084)
(Department of Electronic Engineering,
Tsinghua University, Beijing 100084, China)

有重大突破,光纤到家、到用户将是一项十分艰巨的任务。就中国来说,光纤到楼、光纤到小区和光纤到路边是中近期的比较现实的目标。另一方面,由于方便、个人化和无处不在的特性,无线接入成为信息时代的宠儿,发展十分迅猛,成为全球通信网络发展的另一个重要方向,是目前全球范围内最吸引人的一个热点问题。移动通信由目前的数字语音服务的2.5G向实现视频、多媒体服务的3G、B3G甚至4G、5G的高速、宽带业务发展。而各种新业务和宽带无线接入技术的不断涌现,如流媒体业务、射频标识(RFID)、传感器联网、WiMAX、本地多点分配业务(LMDS)等,要求网络能够安全、灵活、无所不在地、大容量地提供综合服务。如图1所示,未来无线通信的发展趋势是高速率、高移动性以及不同无线网络之间多业务的无缝连接。但是,无线网络的快速发展面临着诸多问题,典型地有:现有无线接入网的兼容性问题、数据的速率(特别是移动情况下)仍然是无线通信的“瓶颈”问题以及现有网络如何平滑地过渡到下一代无线网络等。

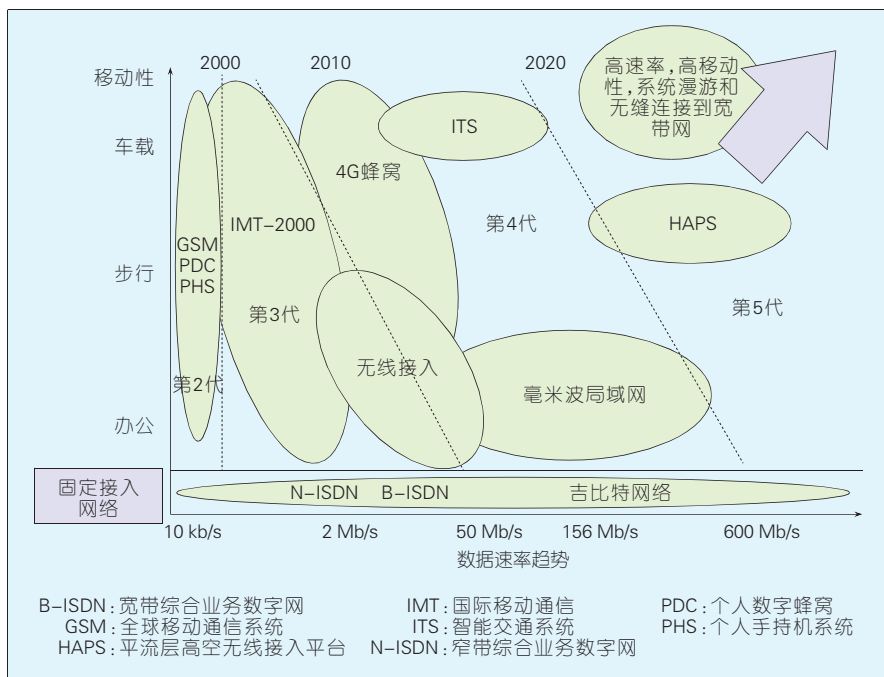
纵观各种通信技术和业务需求的发展方向,实现宽带化、无线化、个人化、分组化以及多业务网络的融合

随着信息通信技术在经济、社会各个领域的广泛应用,信息通信技术成为当今世界发展速度最快、覆盖范围最广、渗透性最强、应用最广泛的一个高新技术领域,它是推动全球信息通信业发展的主要驱动力。信息通信不仅能够减少经济活动的交易费用,大大降低社会运行成本,而且能够促进知识的传播和信息的共享,改善人民的生活质量,对于一个国家国民整体素质提高和经济

社会的长远发展具有极其重大的现实意义。

当今世界,基于波分复用(WDM)技术的光纤通信网络已经成为高速、大容量信息网络发展的理想有线平台。国际上的跨国公司竞相开展了基于WDM技术的太比特级信息传输试验,目前已经实现10.9 Tb/s的传输。网络光纤化的重点从长途骨干网,然后转向中继网和接入网的馈线段,目前正在逐渐向配线段延伸。中国长途网的光纤化比例目前已高达82%。然而,随着光纤逐渐向用户推进,光纤化的代价变得越来越高。除非技术上

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60736003);国家重点基础研究发展规划(“973”计划)项目(2006CB302800)



▲图1 无线网络系统发展趋势

成为全球通信网络的发展目标使得宽带无线信号和载波频率向高频毫米波(如40~60 GHz)扩展的需求日益迫切。将光的大带宽优势和毫米波无线接入的灵活性结合起来的毫米波光载无线(MM-RoF)系统具有体积小、重量轻、成本低、损耗小、抗电磁干扰及传输质量高等优点,可解决传统微波传输系统在毫米波段存在的损耗大、抗干扰能力弱等问题,克服了毫米波电子器件的电子“瓶颈”等问题。此外,MM-RoF利用光纤技术将光纤网络的巨大容量和无线接入网络的适应性与移动性有机结合,可综合传送各种无线业务信息,为宽带无线网络提供“最后一公里”无缝接入,以实现真正意义的“任何人、任何时间、于任何地点、以任何形式通信”的需求。

下一代宽带无线通信系统体系结构如图2所示。结构主要是由分布式天线网络(DAN)、分布式信号传送网络(DTN)、分布式信号处理网络(DPN)和分布式核心网络(DCN)共同组成,其中DTN、DPN和DCN这些涉及到毫米波的信号处理和传送网络都

可以通过光纤系统的光集成器件和技术进行无线信号的处理和传输,光纤传输能实现现有电缆无法满足宽带无线信号传送的带宽要求和传输质量。预计到2010年,超过80%的毫米波无线信号基于光纤技术传送。而DAN部分的天线系统采用基于光控波束形成的智能天线可以克服宽带、大容量电控天线电子处理无法避免的“瓶颈”问题,成为数10 GHz以上无线天线系统理想的方案,其应用前景广阔^[1-3]。

1 光载毫米波无线电通信技术的现状

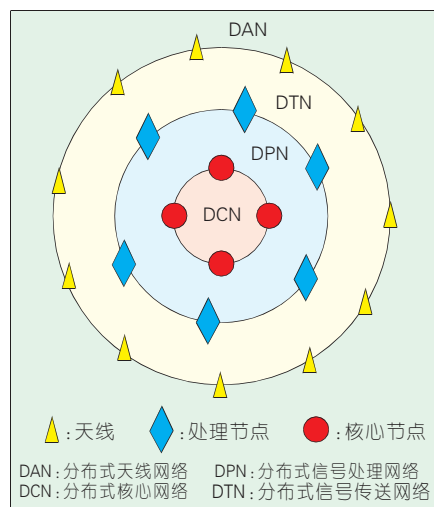
目前,MM-RoF技术已经成为美国、欧盟、日本、澳大利亚等许多国家的信息研究机构、大学面向应用的前沿研究热点;中国则主要有清华大学、北京大学、北京邮电大学、上海交通大学、浙江大学、中国电子科技大学、上海大学、华中科技大学等的一批科研院所开展相关的研究。为了有效利用光纤带宽资源,实现宽带多业务网络系统、无线网络与有线网络无缝连接,对支持宽带无线多业务的

MM-RoF系统的研究越来越受到人们关注^[4-23]。比较典型的有:

美国乔治亚州技术学院在2005年报道了波分复用-无源光网络(WDM-PON)与宽带MM-RoF无线接入系统的无缝连接研究。其方案利用高非线性色散位移光纤产生的拉曼相关四波混频效应,实现了 8×2.5 Gb/s波分复用(WDM)信号的全光上变频为40 GHz微波副载波信号;同时为克服光纤色散的影响,采用了单边带滤波技术,实现了大于20 km的MM-RoF系统传输。该学院于2007年又报道了一种新型全双工RoF系统,实现了40 GHz载波下,2.5 Gb/s信号(下行差分相移键控(DPSK)调制格式,上行开关键控(OOK)再调制)的40 km的双向RoF系统传输。

美国NEC实验室在2007年报道实现了40 GHz微波信号与2.5 Gb/s不归零码(NRZ)信号的RoF系统传输。该系统是研究有线、无线宽带服务同时传输的技术的。

在欧洲,自2004年启动了由西班牙Valencia大学、英国University College London大学等多个欧盟研究机构共同合作的GANDALF计划。自2004年启动至今,其以“研究多业务RoF系统,实现吉比特传输速率的宽带无线和有线混合接入网络”为最终研究目标。其中,2005年报道了高频电矢量信号



▲图2 下一代宽带无线通信系统体系结构

的光产生研究结果,实现了直接光产生载波为37.5 GHz的74.7 Mb/s正交移相键控(QPSK)信号;同年还实现了载波40 GHz、2.5 Gb/s数据信号的RoF系统。

英国University College London大学联合剑桥、英国电信、BT公司等多个研究机构,研究基于RoF的光纤无线网络系统,实现了60 GHz无线信号多业务光传输实验。

在日本,多业务毫米波RoF技术成为众多研究机构的研究热点。日本大阪大学在2003年报道他们实现了2.5 Gb/s基带信号、4.5~12 GHz微波信号和60 GHz载波下的155 Mb/s信号,在3种信号单一光源上的共同传输;2006年报道研究了基于超连续谱光源的全光上变频产生60 GHz毫米波信号技术,实现了两个信道25 km的RoF系统传输。日本邮政省通信研究所(CRL)在60 GHz频带实现了室内无线接入网,在36~37 GHz频带汽车路间智能通信系统(ITS-RVC)数据传送速率达10~150 Mb/s。日本ATR研究所在60 GHz频段实现400 Mb/s二进制相移键控(BPSK)调制数据的光纤传送(上行链路系统),在50 GHz频段实现500 Mb/s BPSK调制数据的光纤传送(下行链路系统)。

在加拿大,Ryerson大学的高级无线光纤集成技术组(ADROIT)自20世纪90年代末就开始研究RoF系统,目前重点研究在于基于RoF技术的多媒体无线接入网,实现各种多媒体接入例如IEEE 802.11、宽带码分多址(WCDMA)等混合RoF传输系统。

韩国Yonsei大学2003年报道了实现了 2×622 Mb/s信号在60 GHz RoF系统中的20 km传输,它主要采用了两个激光器的边带注入锁定技术实现毫米波信号。2005年,韩国光州科学与技术学院(GIST)报道了利用基于半导体光放大器的马赫-曾德调制(SOA-MZI)实现了全光上变频产生WDM RoF信号,实现了载波频率为22.5 GHz、速率为155 Mb/s的双DPSK

信号的RoF系统传输。2006年Yonsei大学实现了利用SOA-EAM实现全双工60 GHz RoF系统10 Mb/s QPSK信号的传输。

在中国,许多大学研究机构也十分重视光纤无线传输方面的研究。上海大学2005年报道了“OFDM-RoF光传输系统中一些问题的研究”,重点研究正交频分复用(OFDM)调制无线信号在RoF光传输系统中的传输性能分析,建立了仿真模型,之后又研究了将光相移键控(PSK)调制用于基于谐波生成原理的RoF下行链路系统;2006年以来对60 GHz RoF系统在光源方面和系统功率设计及分配建模进行了研究。北京邮电大学在2003年前后进行了RoF系统承载第二代无线系统信号的仿真工作,并且理论分析了基于四波混频(FWM)实现RoF全波长变。北京大学利用双模锁模激光技术初步实现了60 GHz毫米波的全光产生,并进行了RoF信号光纤传输的色散分析。浙江大学于2005年在微波信号的光产生方面提出利用光纤光栅布里渊双频激光器全光产生微波/毫米波,得到了11 GHz附近的微波输出。华中科技大学利用双光源技术和60 GHz的电吸收收发器(EAT)分别在下行和上行链路实现单波长和双波长调制。湖南大学研究了提出一种改进的双边带调制产生光毫米波方案。清华大学自1999年以来在RoF系统中的无线信号光产生、上下变频、光微波滤波器、链路传输中串扰问题等方面进行了研究,取得了一定的研究成果。

2 光载毫米波无线电通信技术的未来发展

MM-RoF系统正朝着更大容量、更高性能、更实用的方向发展,以期满足将来宽带多业务网络系统、有线网络与无线网络无缝连接等方面实际应用的要求。目前支持无线多业务的MM-RoF系统研究主要是利用光纤中的波长资源,采用WDM技术实现多

业务信号的MM-RoF系统传输。考虑到光波长资源有限,为了更有效提高光波资源的利用率,用单一光源传送多业务的MM-RoF技术显得十分重要和必要,其中在同一光源上实现微波/毫米波频段的多种格式无线信号的光产生技术、多格式毫米波信号的光产生技术、多格式毫米波信号的MM-RoF传输技术、全光解调技术,以及系统性能分析等将成为实现多业务传送的MM-RoF系统的关键。

3 参考文献

- [1] SEEDS A J. Microwave Photonics [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2002, 50(3): 877-887.
- [2] WAKE D, WEBSTER M, WIMPENNY G, et al. Radio over fiber for mobile communications [C]//Proceedings of International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP' 04), Oct 4-6, 2004, Ogunquit, ME, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004: 157-160.
- [3] LIN C, CHEN J, PENG P, et al. Hybrid optical access network integrating fiber-to-the-home and radio-over-fiber systems [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2007, 19(8): 610-612.
- [4] YU J J, GU J X, LIU X, et al. Seamless integration of WDM-PON and wideband radio-over-fiber for 8×2.5 Gb/s all-optical up-conversion using Raman-assisted FWM [C]//Proceedings of 31st European Conference on Optical Communication (ECOC' 05): Vol 1, Sep 25-29, 2005, Glasgow, UK. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005: 89-90.
- [5] JIA Z, YU J, BOJVIN D, et al. Bidirectional RoF links using optically up-converted DPSK for downstream and remodulated OOK for upstream [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2007, 19(9): 653-655.
- [6] YU J, JIA Z, YU J, et al. Novel RoF network architecture for providing both wireless and wired broadband services [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 49(3): 659-662.
- [7] Gandalf.org [EB/OL]. <http://www.ist-gandalf.org/>.
- [8] PIQUERAS M A, VIDAL B, CORRAL J L, et al. Direct photonic generation of electrical vector modulations at microwave/millimeter-wave frequencies [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2005, 17(9): 1947-1949.
- [9] WIBERG A, MILLAN P, ANDRES M, et al. Fiber-optic 40-GHz mm-wave link with 2.5 Gb/s data transmission [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2005, 17(9): 1938-1940.
- [10] ISMAIL T, LIU C P, MITCHELL J, et al. Multichannel broadband wireless transmission over fibre using feed-forward linearised uncooled DFB laser [C]//Proceedings of 30th European Conference on Optical Communication (ECOC' 04): Vol 2, Sep 5-9, 2004, Stockholm, Sweden. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004: 208-209.
- [11] IKEDA K, KURI T, KITAYAMA K. Simultaneous three-band modulation and

fiber-optic transmission of 2.5 Gb/s baseband, microwave, and 60 GHz-band signals on a single wavelength [J]. Journal of Lightwave Technology, 2003, 21(12): 3194-3202.

- [12] NAKASYOTANI T, TODA H, KITAYAMA K. WDM millimeter-waveband radio-on-fiber system using a supercontinuum light source [J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(1): 404-410.

- [13] FUJISE M. Millimeter-wave RoF road-vehicle communications [C] //Proceedings of the 2000 Microwave Workshops and Exhibition (MWE'00), Dec 12-14, 2000, Yokohama, Japan. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2000:141-146.

- [14] OGUSU M, INAGAKI K, MIZUGUCHI Y. 400 Mb/s BPSK data transmission at 60 GHz-band mm-wave using a two-mode injection-locked fabry-Perot laser [C] //Proceedings of International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP'00), Sep 6-8, 2000, Oxford, UK. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2000:31-34.

- [15] YUEN R, FERNANDO X N. IEEE802.11 and WCDMA Multisystem Radio Transmission over Fiber for Wireless Access [EB/OL]. <http://mts.hindawi.com/utis/GetFile.aspx?msid=825675&vnum=3&ftype=manuscript>.

- [16] KURI T, TODA H, KITAYAMA K. Dense wavelength-division multiplexing millimeter-wave-band radio-on-fiber signal transmission with photonic downconversion [J]. Journal of Lightwave Technology, 2003, 21(6): 1510-1517.

- [17] SONG H J, LEE J S, SONG J I. Error-free simultaneous all-optical upconversion of

WDM radio-over-fiber signals [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2005, 17(8): 1731-1733.

- [18] SEO J H, CHOI C S, KANG Y S, et al. SOA EAM frequency up/down-converters for 60 GHz bi-directional radio-on-fiber systems [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54(2): 959-966.

- [19] PIQUERAS M A, VIDAL B, PFROMMER H, et al. Radio-over-fiber multi-service MM-wave interconnection with photonic up-conversion, dual band remote delivery and photonic envelope detection [C] //Proceedings of International Microwave Symposium, Jun 11-16, 2006, San Francisco, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006: 2035-2038.

- [20] KAGAMI O, TOYODA I, UMEHIRA M. Technologies for next-generation wireless LANs [J]. NTT Technical Review, 2005, 3(1): 31-36.

- [21] BRANKOVIC V, KAWASAKI K, SASAKI K, et al. 60 GHz wireless access system concept [C] //Proceedings of 31st European Conference on Optical Communication (ECOC'05): Vol 1, Sep 25-29, 2005, Glasgow, UK. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005: 457-459.

- [22] LEGUENNEC Y, MAURY G, YAO J, et al. New optical microwave up-conversion solution in radio-over-fiber networks for 60-GHz wireless applications [J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(3): 1277-1282.

- [23] WAKE D, WEBSTER M, WIMPENNY G, et al. Radio over fiber for mobile communication [C] //Proceedings of

International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP'04), Oct 4-6, 2004, Ogunquit, ME, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004: 157-160.

收稿日期: 2009-03-03

作者简介



宋怡桥, 清华大学电子系在读博士研究生, 研究方向为微波光子学。已参加多项国家自然科学基金资助项目、国家重点基础研究发展规划(“973”计划)项目、国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目。已发表论文近10篇, 其中被SCI收录4篇。持有国家发明专利3项。



郑小平, 清华大学博士毕业。清华大学教授, 博士生导师, 从事微波光子学技术、光交换、光网络的研究。中国光学学会光电子技术专业委员会会员, 北京光学学会理事兼青年工作委员会主任, 电子学会高级会员。已发表论文60余篇, 其中被SCI收录30余篇, 被EI收录30余篇。

中兴通讯中标土耳其AVEA WCDMA项目

【本刊讯】2009年4月23日, 中兴通讯正式对外宣布与土耳其三大移动运营商之一AVEA签署WCDMA商用合同, 公司将参与承建AVEA全国WCDMA商用网络。按照合同约定, 中兴通讯将为AVEA建设覆盖土耳其东部地区33个城市的WCDMA网络。

该网络将采用中兴通讯业界领先的SDR解决方案, 全网支持HSPA高速数据业务, 并支持未来向HSPA+和LTE的平滑演进。这是中兴通讯SDR解决方案在香港CSL、印度TATA规模应用之后, 在海外主流运营商市场的又一重要突破, 体现了公司在WCDMA新一代技术领域的技术竞争力, 是中兴通讯WCDMA产品在欧洲的又一重要突破。

按用户计, 土耳其是欧洲第5大、全球第13大的电信市场, 也是全球移动用户发展最快的市场之一。AVEA是土耳其三大移动运营商之一, 拥有成熟的2G网络。中兴通讯通过领先的技术解决方案、优秀的服务能力、不断提升的交付能力赢得了客户的认可。

中兴通讯TD系统获“广东省科学技术奖一等奖”

【本刊讯】2009年3月, 中兴通讯TD-SCDMA移动通信系统获得“2008年广东省科学技术奖一等奖”。评委会评定中兴通讯在TD技术创新和商用化方面处于领先地位。

广东省科学技术奖由广东省科学技术厅为了鼓励社会力量支持科学技术事业而设立, 分为一等奖、二等奖、三等奖三个等级。广东省为中国科技发达省份, 其获奖项目代表国内最高水平。

TD-SCDMA是中国具有自主知识产权的第三代移动通信标准, 中兴通讯自2001年投入TD系统的研究和开发以来, 一直把TD作为中兴通讯的战略产品, 不但是TD联盟的发起者, 也是TD标准制定的主要参与公司, 为TD的自主知识产权的积累做出了突出贡献。中兴通讯TD研发队伍超过3 200人, 首创了BBU + RRU光纤基站解决方案, 使TD规模组网成为可能, BBU + RRU光纤基站目前已经成为TD基站的行业标准。在TD室内多通道覆盖解决方案、双极化小型天线、HSPA MX倍数技术等方面中兴通讯也有重大创新, 积极推动了TD的产业化进程。