

光纤毫米波融合接入系统能量效率分析

贾桂涛^{1,2}, 葛晓光^{1,4}, 房卫东^{3,4}, 陈 翔⁵

(1. 中国科学院 上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;
3. 中国科学院 无线传感网与通信重点实验室, 上海 200335; 4. 上海无线通信研究中心, 上海 200335;
5. 上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘要:随着高速移动通信需求的持续增长,“绿色通信”成为近期的研究热点。文章提出一种使用谐波生成毫米波的技术,同时结合 ROF(光载无线)技术实现光纤/无线融合接入系统,该系统使用毫米波微微蜂窝接入网技术为室内移动终端提供接入服务。在此基础上,文章对上述系统进行了能量效率分析,通过与 WLAN(无线局域网)接入方式的能量效率分析对比,表明该系统具有更高的数据速率和能量效率。

关键词:光纤毫米波融合;能量效率;毫米波;接入系统

中图分类号: TN928 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8788(2011)06-0056-04

Analysis of energy efficiency in fiber-millimeter-wave convergence access networks

Jia Guitao^{1,2}, Ge Xiaoguang^{1,4}, Fang Weidong^{3,4}, Chen Xiang⁵

(1. Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Key Laboratory of Wireless Sensor Network & Communication, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200335, China;
4. Shanghai Research Center of Wireless Communication, Shanghai 200335, China;
5. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: With the sustained growth of the demands for high-rate mobile communications, green communication becomes the current focus of research. This paper proposes a fiber-millimeter-wave convergence access system by using the harmonic generation technology in coordination with the ROF technology. This system provides access services to the indoor mobile terminals by using the pico-cell access networks. On this basis, it analyzes the energy efficiency of this system and compares it with that by WLAN access, which shows that this system has higher data rate and energy efficiency.

Key words: fiber-millimeter-wave convergence; energy efficiency; millimeter-wave; access network

0 引 言

近年来,随着高速无线通信需求的持续增长,原有的通过有线基础设施,尤其是基于光纤的高速通信,由于缺乏移动性已远远不能满足当前通信移动性的需要;另一方面,由于无线电频谱在 VHF(甚高频)和 UHF(特高频)频段资源紧张,限制了移动通信数据速率的大幅度提高。因此如何利用光纤的高数据速率优点和无线网络支持移动性的特点进行技术融合,正逐渐得到越来越多的关注。

另一方面,由于温室气体排放导致全球气候不断恶化,“绿色通信”成为近年来的研究热点。作为引领信息技术发展的高技术产业——信息通信产业,在 2008 年能耗占工业总能耗的 4%,随着高速无线通信需求的快速增长,这一比例会进一步增大。因此,制定并规范相应的能量效率指标,定量地评估网络与通信系统的能量利用效率,进而在无线通信

系统设计时充分考虑能量效率指标,具有极其重要的意义。本文提出一种 mm-ROF(基于毫米波的光载无线融合)接入系统,并对该系统与 WLAN(无线局域网)接入系统的能量效率进行了对比分析。

1 相关研究

1.1 毫米波生成技术

mm-ROF 技术被视为未来高速无线通信的解决方案之一,其技术关键是光生毫米波。目前,光生毫米波技术主要有:直接强度调制技术^[1]、外调制技术、光外差技术^[2-3]和基于谐波生成技术的方法^[4]。

基于谐波生成技术的方法可以用低频微波结合光电子技术产生毫米波,系统可相对简化,因此得到较多关注。M. G. Larrode 等在此基础上,提出了光学倍频法^[5]。其基本原理是利用光学器件的非线性效应产生多阶频率分量,用光学滤波器选择其中的两个谐波分量,最后通过光学拍频的方法产生毫

收稿日期:2011-08-09

基金项目:上海市科委基础研究重点项目基金资助(10511500601)

作者简介:贾桂涛(1984-),男,河北沧州人,硕士研究生,主要从事无线通信系统 MAC 层协议能量效率的研究。

通讯作者:房卫东,高级工程师, E-mail: weidong.fang@shrcwc.org

米波。这种方法生成的毫米波具有相干性好、线宽窄、相位噪声低和频率稳定等优点。

1.2 能量效率定义

能量效率分析旨在根据目标系统的性能参数定义能量效率指标,即单位能耗所能达到的性能,以此对系统能量利用效率做定量评估或对相似系统做定量对比。由于无线通信系统的多样性,性能参数各不相同,目前没有统一的能量效率指标。一些典型的无线通信系统的能量效率指标定义如下:

(1) GSM(全球移动通信系统)的能量效率指标 ETSI(欧洲电信标准化协会)对 GSM 定义了两个不同的能量效率指标^[6]:农村地区能量效率指标 PI_{rural} 和城市地区能量效率指标 PI_{urban} 。 $PI_{rural} = A_{coverage}/P_{site}$, 式中, $A_{coverage}$ 为射频基站的覆盖面积, 单位为 km^2 ; P_{site} 为基站的平均功耗, 单位为 J。 $PI_{urban} = N_{BH}/P_{site}$, 式中, N_{BH} 为平均忙时业务需求下的用户数。

(2) WLAN 系统的能量效率指标 WLAN 系统的能量效率研究集中在 MAC(媒

体访问控制)协议的性能上。E. Jung 等研究了 IEEE 802.11 休眠模式的节能效果,定义能量效率指标为 $EE = \text{吞吐量}/\text{能耗}$,相应的单位为 $bit/J^{[7]}$ 。

(3) Ad hoc(移动自组织)网络的能量效率指标 Ad hoc 网络的能量效率定义为总有效数据量、节点电池剩余电量与功耗的比值^[8-9]。

综上所述可以看出,尽管能量效率的定义各不相同,但都是基于系统的性能与功耗的比值。

2 系统架构

2.1 毫米波生成及传输系统结构

尽管光学倍频法生成的毫米波具有线宽窄、相位噪声低、频率稳定且系统结构简单等优点,但这种方法产生的毫米波幅度容易受到光频率的影响,而且光滤波器的固有时延使激光相位噪声不能被抵消。针对这些不足,我们采用了改进方案“使用双电极 M-Z(马赫-曾德)调制器生成毫米波的方案^[10]”。系统结构如图 1 所示。

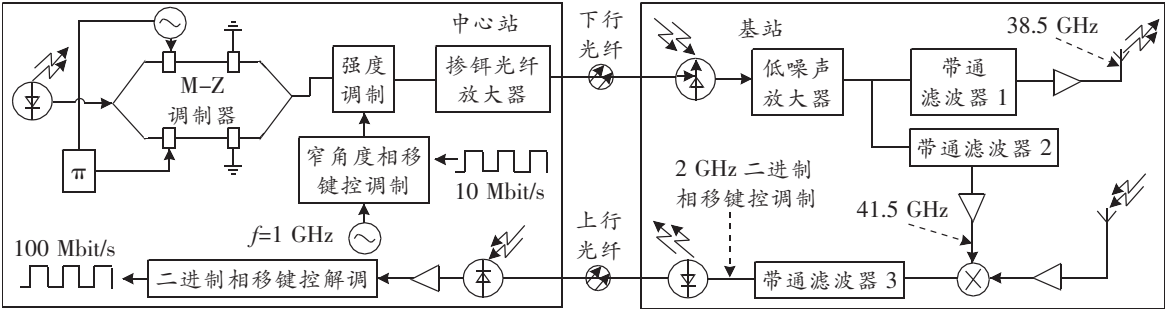


图 1 mm-ROF 系统框图

光经过双电极调制器分两路用两反相的微波信号调相,叠加出来后有 FM-IM(调频-强度调制)效应,到光探测器产生低频微波的高次谐波,激光相位噪声被抵消,并且只要调整调相指数即可使所需毫米波幅度最大,无需像光学倍频法那样调整光频率,同时,省掉了光学倍频法系统中的光滤波器,降低了成本。

2.2 mm-ROF 接入系统架构

众所周知,一方面,由于毫米波传输距离短,达到广覆盖需要大量的 BS(基站),同时,也需要一定数量的 CS(中心站)对 BS 进行管理。因此,需要合理地部署 CS 和 BS,在满足用户需求的同时尽量降低建设成本。另一方面,由于毫米波具有衰减快的特点,室内接入系统接入点必须放置在较高的位置,一般是天花板上,才能实现较好的覆盖;同时,毫米波对墙壁穿透力很弱,每个房间都需要放置 BS。室

内接入系统结构如图 2 所示。

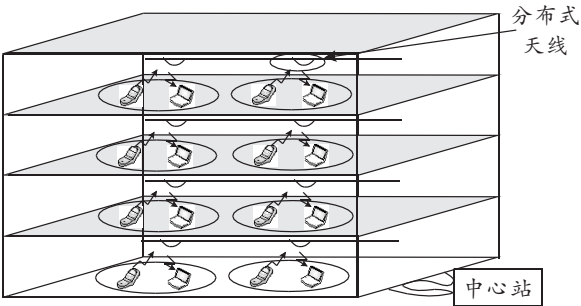


图 2 mm-ROF 接入系统架构

由图 2 可以看出,在该系统实现中尽管需要数量庞大的 BS,但价格昂贵的毫米波生成器件、路由和切换等功能器件都配置在 CS,BS 只具备毫米波的收发功能,最终实现不同楼层/楼宇内的 BS 共享同一个 CS,从而降低了网络建设成本。

3 能量效率分析

3.1 mm-ROF 接入系统毫米波传输无线参数

mm-ROF 接入系统的参数如表 1 所示。

表 1 mm-ROF 接入系统参数

参数项	值
传输频率/GHz	38.475~38.525
传输速率/Mbit/s	实测值:270
工作信道数	1
调制方式	OFDM
输入功率/W	实测值:13.7

3.2 WLAN 系统无线参数

以当前普遍使用的 TP-Link 支持 802.11g 标准的单天线无线路由器 TL-340G+ 和最新支持 802.11n 标准的 2×2 MIMO(多输入多输出)无线路由器 TL-WR840N 为例,其无线参数如表 2 所示。

表 2 TL-WR840N 无线路由器参数

参数项	值
频率范围/GHz	2.400 0~2.483 5 11g 理论值:6/9/12/18/24/36/48/54 (自适应)
传输速率/Mbit/s	11n 理论值:最高 300 11g 实测值:19 11n 实测值:45
工作信道数	13
展频技术	DSSS(直接序列展频)
调制方式	DBPSK,DQPSK,CCK 和 OFDM
输入功率/W	11g 实测值:3.6;11n 实测值:3.2

3.3 能量效率分析与比较

通过表 2 我们可以看出,随着 IEEE 802.11 系列标准的发展,数据传输速率有了很大的提高,可以在一定程度上满足用户对高速无线通信的需求。因此,数据传输速率成为 WLAN 系统最重要的性能参数之一。

我们所提出的 mm-ROF 接入系统,是为了解决热点地区的超高速无线通信需求,数据传输速率也是其首要性能参数。根据第 1 节中能量效率指标的一般性定义,即系统性能与功耗的比值,可以定义能量效率指标为单位能耗的吞吐量,来比较和分析 WLAN 接入系统和 mm-ROF 接入系统的能量效率。能量效率指标定义为 $EE = R/P_{in}$,式中, R 为数据传输速率; P_{in} 为输入功率;两者均采用实测值。由此,得出各接入系统的能量效率值如表 3 所示。

表 3 各接入系统能量效率

系统	mm-ROF	TL-WR340G+	TL-WR840N
能量效率 (bit/J)	20.44×10^6	5.28×10^6	14.06×10^6

上述数据表明:随着 WLAN 系统的发展,其能量效率有了明显的提高;mm-ROF 接入系统不仅具有高速数据传输能力,而且其能量效率明显高于现有的 WLAN 接入系统,其原因在于,一方面,系统的高数据速率性能主要是由毫米波的特性决定的,毫米波段可用的频段带宽高达数百兆乃至上千兆;另一方面,由于目前使用毫米波的设备很少,该频段内信号干扰也很小。另外,毫米波的大衰落特性也降低了相邻小区间的干扰。

不可否认,能量效率和频谱效率之间存在一个折中关系。由于毫米波衰落快、传播距离短、小区半径小、频谱宽,而且相对于 WLAN 在拥挤的低频段尽力竞争频谱资源的情况,mm-ROF 接入系统工作在超高频段,虽然频谱利用率较低,但能量效率得到了明显的提升。同时,由于小区半径小,BS 的功放不需要较大功率,大量 BS 共享一个 CS 的系统结构也降低了基带信号处理的功耗。

4 结束语

本文提出一种使用谐波生成技术产生毫米波配合 FTTx(光纤接入)基础光纤设施的 mm-ROF 接入系统,该系统通过 ROF 技术进行远距离传输,使用毫米波微微蜂窝接入网技术为室内用户提供高速移动接入服务。在此基础上,对所提出的 mm-ROF 系统进行了能量效率分析,并与当前普遍使用的 WLAN 接入系统的能量效率进行了对比。通过对比可以看出,本文提出的系统具有更高的数据传输速率和能量效率;同时,系统结构简单,部署方便。下一步工作是对 mm-ROF 系统的多用户接入控制进行深入研究。

参考文献:

[1] Ackerman E I, Cox C H. RF fiber-optic link performance [J]. IEEE Microwave Magazine, 2001, 2(4):50-58.

[2] Kuri T, Kitayama K. Optical heterodyne detection technique for densely multiplexed millimeter-wave-band radio-over-fiber systems [J]. Journal of Light-wave Technology, 2003, 21(12):3167-3179.

[3] Taniguchi T, Sakurai N, Kumozake K, et al. Full-duplex 1.0 Gbit/s data transmission over 60 GHz Radio-over-Fiber access system based on the loop-back optical heterodyne technique [J]. Jouranl of Lightwave Technology, 2008, 26(13):1765-1776.

[4] 方祖捷,叶青,刘峰,等.毫米波副载波光纤通信技术

的研究进展 [J]. 中国激光, 2006, 33(4):481-488.

[5] Larrode M G, Koonen A M J, Olmos J J V, et al. Bi-directional radio-over-fiber link employing optical frequency multiplication [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2006, 54(6):241-243.

[6] ETSI TS102706-2011, Energy Efficiency of Wireless Access Network Equipment [S].

[7] Jung E, Vaidya N. An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless LANs [A]. INFOCOM 2002 [C]. New York, USA: IEEE, 2002. 3:1756-1764.

[8] Zou Junni, Xiong Hongkai, Li Chenglin, et al. Lifetime and Distortion Optimization With Joint Source/

Channel Rate Adaptation and Network Coding-Based Error Control in Wireless Video Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(3):1182-1194.

[9] Sadeghi N, Howard S, Kasnavi S, et al. Analysis of Error Control Code Use in Ultra-Low-Power Wireless Sensor Networks [J]. IEEE International Symposium on Circuit and Systems (ISCAS), 2006, (9): 3558-3561.

[10] 朱美伟, 林如俭, 叶家骏, 等. 使用双电极 Mach-Zehnder 调制器产生毫米波的新型 mm-ROF 系统 [J]. 光电工程, 2008, 35(4):126-130.

(上接第 10 页)

DRWA 算法和 LORA 都是基于物理损伤的 RWA, 两者比较可以看出:在负载量为 110 的轻负载时, DRWA 算法的复杂度比 LORA 降低 22%。在负载为 140 的重负载时, DRWA 算法的复杂度比 LORA 降低 38.1%。在负载为 100~160 之间时, DRWA 算法的复杂度比 LORA 平均降低 29.7%。因此, 相对 LORA, DRWA 算法在轻负载和重负载时都明显地降低了算法的复杂度, 尤其在重负载时表现得更优异。

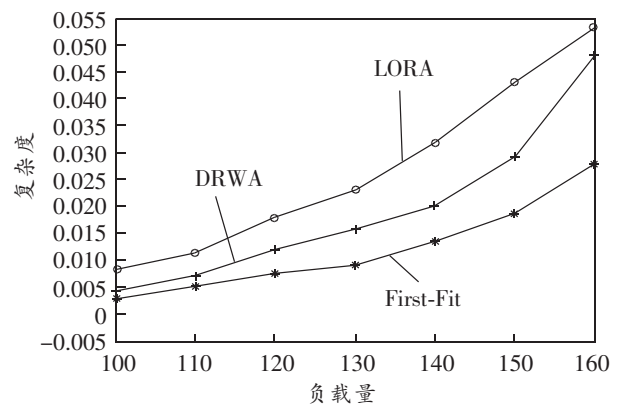


图 4 3 种算法复杂度的比较

3 结束语

本文重点分析了主要的物理损伤感知,建立了 3 种起主要影响作用的线性和非线性物理损伤模型,将物理层 QoT 评估分布在中继段路由和波长信

道中,所建的 DRWA 算法分为 PIAR、WPS 和 SWD 3 部分,与现有算法比较, DRWA 算法在阻塞率方面比基于物理损伤的 LORA 平均降低 41.4%,比未考虑物理损伤的 First-Fit 算法平均降低 63.9%。在复杂度方面比 LORA 平均降低 29.7%。因此, DRWA 算法在保证网络阻塞率较低的前提下,降低了算法的复杂度。

参考文献:

[1] 狄浩,李乐民,虞红芳,等. WDM 网络中基于传输损伤的公平 RWA 算法 [J]. 通信技术, 2009, 9(42): 130-132.

[2] Eduard Escalona, Salvatore Spadaro. Advance reservations for service-aware GMPLS-based optical networks [J]. Computer Networks, 2008, (52): 1938-1950.

[3] Lin Wenhao, Hahn Timothy, Richard, et al. A distributed impairment aware QoS framework for all-optical networks [J]. Optical Switching and Networking, 2011, (8): 56-67.

[4] 沈若愚,朱娜,钱琴,等. WDM 网感知波长传输质量的权重和波长标识 [J]. 光通信技术, 2010, (10): 15-17.

[5] Azodolmolky S, Klinkowski M, Marin E, et al. A survey on physical layer impairments aware routing and wavelength assignment algorithms in optical networks [J]. Computer Networks, 2009, 53(7): 926-944.