



基于自适应调制编码的 IP 微波技术

董潍赫¹, 李晓坤², 陈虹旭², 张斯妍¹, 孙怡然¹, 于川岳¹

(1. 黑龙江大学, 黑龙江 哈尔滨 150090;

2. 黑龙江恒讯科技有限公司国家博士后科研工作站, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: IP 微波技术是一种全新的传输技术, 它将 IP 技术运用到微波领域中传输数据信号, 具有部署速率快、安装灵活、转运方便、传输数据高效等优势, 成为我国常用的地面大容量无线传输系统。提出了一种微波传输的环境模型并对其进行了说明和讨论, 该模型使用 IP 网络作为回传, 有助于开发无线接入系统的通用网络。对超高频波段微波/互联网协议 (IP) 转换网络接口进行了原型设计, 并对转换网络接口的三大功能模块进行了详细说明, 实现了数字宽带综合业务的单向传输, 并对地面传输信号 (DTMB) 进行了演示。结果表明, 地面传输信号 (DTMB) 可以在 IP 网络上高效传输, 并且间歇传送用于监测/观测应用的截断微波信号会显著降低网络所需的吞吐量。

关键词: IP 微波; AMC; DTMB; 微波监测; 智慧城市

中图分类号: TN925

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020180

AMC based IP microwave technology

DONG Weihe¹, LI Xiaokun², CHEN Hongxu², ZHANG Siyan¹, SUN Yiran¹, YU Chuanyue¹

1. Heilongjiang University, Harbin 150090, China

2. Postdoctoral Program of Heilongjiang Hengxun Technology Co., Ltd., Harbin 150090, China

Abstract: IP microwave technology is a new transmission technology, which uses IP technology to transmit data signals in the microwave field. It has the advantages of fast deployment rate, flexible installation, convenient transport and efficient data transmission, and has become a common ground wireless transmission system with large capacity. An environmental model of microwave transmission was proposed and discussed. The model used IP network as the

收稿日期: 2019-08-20; 修回日期: 2020-05-19

通信作者: 李晓坤, li.xiaokun@163.com

基金项目: 中小企业创新基金资助项目 (No.2017FF1GJ023); 专利优势示范企业基金资助项目 (No.2017YBQCZ029); 国家自然科学基金资助项目 (No.81273649, No.61501132, No.61672181); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (No.3072019CFT0603); 黑龙江省自然科学基金联合引导基金资助项目 (No.LH2019F049, No.LH2019A029); 中国博士后科学基金资助项目 (No.2019M650069); 黑龙江省基础科研科技创新基金资助项目 (No.KJCX201805); 黑龙江省基础科研青年创新团队基金资助项目 (No.RCYJTD201805)

Foundation Items: Innovation Fund for SME (No.2017FF1GJ023), Patent Advantage Demonstration Enterprise Fund (No.2017YBQCZ029), The National Natural Science Foundation of China (No.81273649, No.61501132, No.61672181), Research Funds for the Central Universities (No.3072019CFT0603), Natural Science Foundation of Heilongjiang Province (No.LH2019F049, No.LH2019A029), The China Postdoctoral Science Foundation (No.2019M650069), Heilongjiang Basic Scientific Research and Technological Innovation Fund (No.KJCX201805), Fund for Young Innovation Team of Basic Scientific Research in Heilongjiang Province (No.RCYJTD201805)



return transmission, which was helpful for the development of general network of wireless access system. The prototype design of UHF band microwave/Internet protocol (IP) network interface was carried out, and the conversion of the three major functional modules in the network were described, to realize the broadband integrated services digital transmissions. The results show that the ground transmission signal (DTMB) can efficiently transmit on the IP network, and the monitoring/truncation of the microwave signal can significantly reduce the network throughput as needed.

Key words: IP microwave, AMC, DTMB, microwave monitoring, smart city

1 引言

在日常生活中人们接触到各种各样的无线服务,例如 CDMA、无线局域网 (LAN)、无线个人局域网 (PAN)、全球微波互联接入 (WiMAX) 和固定无线接入 (FWA) 等^[1-2]。虽然支持这些不同无线服务的“微波环境”可能会帮助人们引领一种完善的生活方式,但是其中一些无线服务会携带多种设备^[3]。而现如今的 IP 微波技术凭借其多种应急业务高效传送、灵活的自适应调制提升传送效率、吉比特级大带宽满足大容量应急通信需求等优势成为我国无线通信系统的重要组成部分,但由于 IP 微波链路容易受雨衰等因素的影响以及微波通信限于视距传输等原因,在 IP 微波部署应用时,应按需求合理解决上述问题。本文结合 IP 技术直接处理微波信号的“波形”,将其转换为 IP 分组,由一个通用的内部处理程序(即微波/IP 转换网络接口^[4])来处理微波。如果使用特定的无线服务,任何类型的微波环境都可以被传送到一个偏远或光纤等其他传输方式不适用的地方。

2 IP 微波技术

2.1 IP 微波

IP 微波技术是将 IP 运用到微波领域来传输数据信号的,它将各种不同的帧转换为一个数据分组。IP 微波技术是一种全新的传输技术,IP 微波利用交叉极化干扰抵消 (XPIC)、帧头压缩、自适应调制编码 (AMC) 等技术,它有着宽带利用

率高、可传输多种业务、传输数据更高效、在进行传输时能够充分利用相对于光纤来说并不是很富裕的传输宽带等优点^[5-7]。

2.2 IP 微波链路模型建立

IP 微波的回传链路模型为:

$$\begin{aligned} P_{Bx} &= P_{Tx} + G_{Tx} + G_{bx} + \\ &L_{bf} + L_{air} + L_{other} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, P_{Bx} 为接收电平, P_{Tx} 为发射电平, G_{Tx} 为发射机天线增益, G_{bx} 为接收机天线增益, L_{bf} 为自由空间衰减, L_{air} 为大气衰减, L_{other} 为雨天云雾衰减, L_{bf} 、 L_{air} 、 L_{other} 皆属于对链路具有短期影响的突发性衰减^[8]。

2.3 结合 IP 微波技术的智慧城市

智慧城市是城市的信息化和一体化管理,是信息基础设施与实体基础设施的高效结合。关于 IP 微波回传链路模型,可以为不同环境下的 IP 微波回传选择合适的设备进行灵活的部署,从而满足不同场景下的回传要求。利用 IP 微波进行视距部署并对链路上房屋或物体进行余隙计算使其达到自由空间的传播条件,否则将会产生不必要的损耗^[9-10]。IP 微波利用其快速传送窄带通信业务,一些现场实时影像等大宽带信息的优点,使其在智慧交通、智慧消防、智慧社区等领域有广泛的应用^[11]。

3 AMC 技术

在自适应逐组调制和逐帧信道编码 (AMPCF) 中,信道分组长度是固定的,因此代码速率的改

变需要改变喷泉分组的长度, 这在 AMCP 中是通过图 1 所示的配置来实现的。

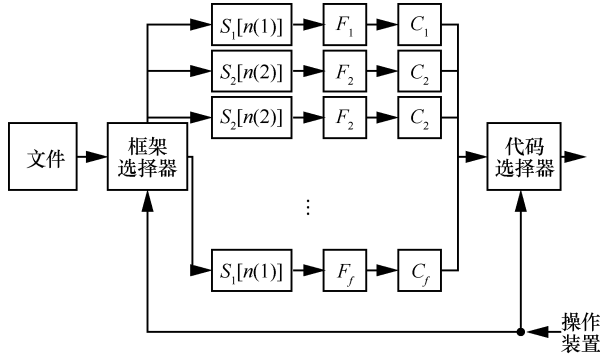


图 1 AMCP 的自适应信道编码

为新帧设置会话的第一步是选择将用于整个会话的信道码, 如果选择信道码 C_ℓ , 则将帧划分为 K 个信息分组。为了分析假设的 AMPCF- N , 首先假设它选择用于设置为传递下一帧会话的信道代码 C_ℓ , 每个喷泉分组在该帧中, AMPCF- N 知道下一个分组传输的信道状态是 j , 并且它知道该状态的 SNR 是 CENR_j , 因此, 如果满足式 (2), 它可以确定 $P_\ell[\ell, w | j]$ 为每个 w 选择具有索引 $\kappa(\ell, j)$ 的调制格式用于下一个分组^[12-15]。

$$s[\ell, \kappa(\ell, j) | j] = \max \{s[\ell, w | j] : 1 \leq w \leq n_m\} \quad (2)$$

在使用 C_ℓ 的会话中传递到目标的平均信息位数计算式为:

$$\bar{I}_{N,1}(\ell) = \sum_{j=0}^{J-1} \pi_j s[\ell, \kappa(\ell, j) | j] \tau[\kappa(\ell, j)] \quad (3)$$

在会话期间, 源发送信道分组的平均时间单位表达式如式 (4) 所示, 并且具有 C_ℓ 的 AMPCF- N 的会话吞吐量为:

$$\bar{T}_{N,1}(\ell) = \sum_{j=0}^{J-1} \pi_j \tau[\kappa(\ell, j)] \quad (4)$$

$$S_{N,1}(\ell) = \bar{I}_{N,1}(\ell) / \bar{T}_{N,1}(\ell) \quad (5)$$

假设根据概率分布 π_j 随机绘制状态索引, 如随机绘制结果是状态 m 满足 $s[\ell(m), f | m] = \max \{s[i, f | m] : 1 \leq i \leq n_c\}$, 然后该协议对帧采用

信道编解码器, 由此产生的会话吞吐量应为:

$$\bar{S}_{N,1} = \frac{\sum_{m=0}^{J-1} \pi_m \bar{I}_{N,1}(\ell(m))}{\sum_{m=0}^{J-1} \pi_m \bar{T}_{N,1}(\ell(m))} \quad (6)$$

假设的协议在接收到前一个数据分组时知道信道的状态是比较现实的, 因为可以通过在数据分组接收期间获得的统计信息或信道测量来提供有关先前状态的信息^[16-18]。假设的 AMPCF- P 知道以前的状态, 并选择调制格式, 最大限度地提高该状态的预期吞吐量, 当信道处于下一个状态 k 时, 将实际应用所选择的 j 调制, 在使用信道码 C_ℓ 的会话期间, 每个数据分组发送到目的地的平均信息位数为:

$$\bar{I}_{P,1}(\ell) = \sum_{j=0}^{J-1} \pi_j \tau[\kappa(\ell, j)] \quad (7)$$

$$\sum_{k=0}^{J-1} q(k | j) s[\ell, \kappa(\ell, j) | k]$$

在会话期间, 源发送信道分组的平均时间计算式为式 (8), 使用 C_ℓ 的 AMPCF- P 的会话吞吐量计算式为式 (9), 对于随机选择信道码, AMPCF- P 的会话吞吐量计算式为式 (10)。

$$\bar{T}_{P,1}(\ell) = \sum_{j=0}^{J-1} \pi_j \tau[\kappa(\ell, j)] \quad (8)$$

$$S_{P,1}(\ell) = \bar{I}_{P,1}(\ell) / \bar{T}_{P,1}(\ell) \quad (9)$$

$$\bar{S}_{P,1} = \frac{\sum_{m=0}^{J-1} \pi_m \bar{I}_{P,1}(\ell(m))}{\sum_{m=0}^{J-1} \pi_m \bar{T}_{P,1}(\ell(m))} \quad (10)$$

4 系统模型

4.1 分频技术模型

为了实现并行的微波功率通信, 本文使用了时分和频分技术, 如图 2 所示, 并对无电池单元供电及单元间通信的系统结构进行了研究^[19]。同时构建了一个波导中的功率传输和通信系统, 如图 3 所示^[20]。通信使用 MER (调制错误率) 索引如式 (11) 来评估 UNISION 质量。

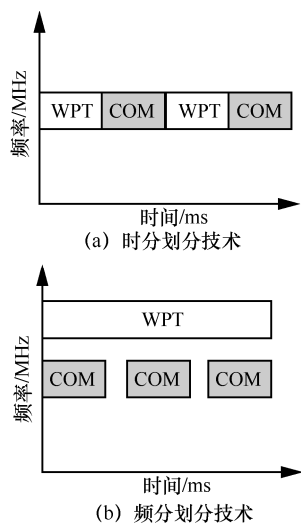


图2 时分和频分技术

$$MER[\text{dB}] = \text{lb} \left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{error}}} \right) \quad (11)$$

进入波导后,整流电路在直流负载下接收功率,无电池通信模块(Tx)由无线传输供电并将调制信号发送到输入端,利用通信模块(Rx)作用的频谱分析仪对通信质量进行评价,MER是解调信号的C/N(载波与噪声的比),可以发现在同一频率上同时进行功率转移和通信是不可能的,如果每种调制方式的频率差为7~8 MHz,则可以实现高质量的通信。因此,本文证实了闭合波导中的分频技术可以实现功率传输和通信传输^[21-22]。

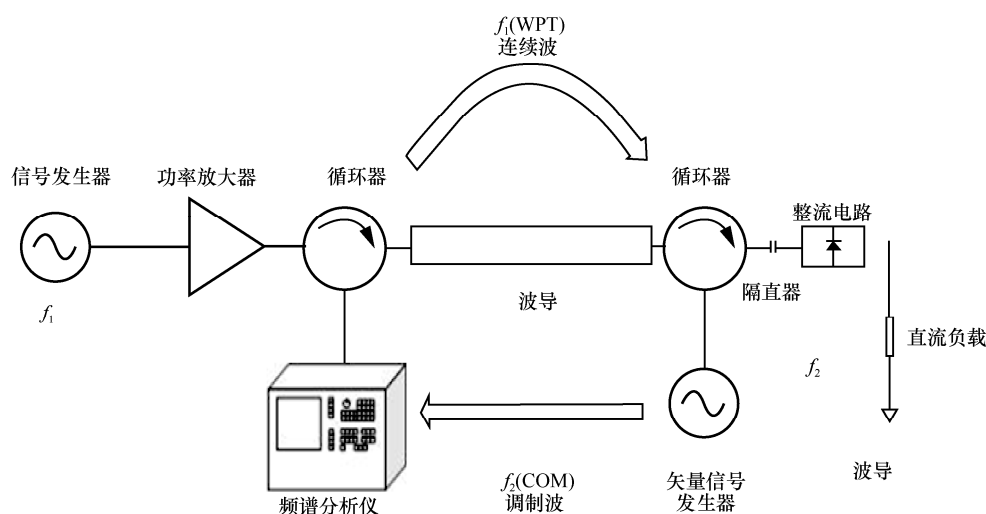


图3 频分技术质量实验系统

4.2 微波传输环境模型

图4说明了微波环境在IP网络上传输的基本架构。在目标区域A安装了一台微波/IP转换网络接口(MINI)设备,MINI探测目标微波并将它们转换成IP数据分组,然后再通过IP网络传送,原始微波从传输的IP数据分组中再生并在B中辐射,所以A中的微波环境可以在B中共享,B中的微波环境也可以在A中共享^[23]。

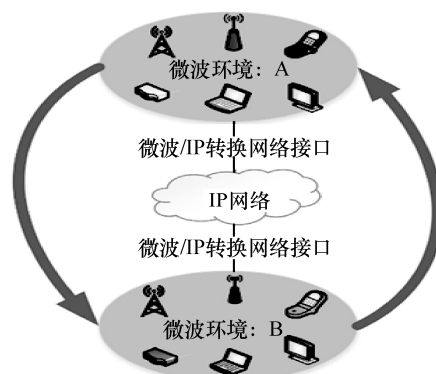


图4 微波环境在IP网络上传输

这一概念有助于开发无线接入系统的通用网络,它使用IP网络作为回传,无论设备用户需要何种类型的无线服务,都可以通过离用户最近的接口服务区传输所需的微波提供服务。本文给出了一种单向微波环境传输的结构如图5所示,MINI模型的主要规格参数见表1。

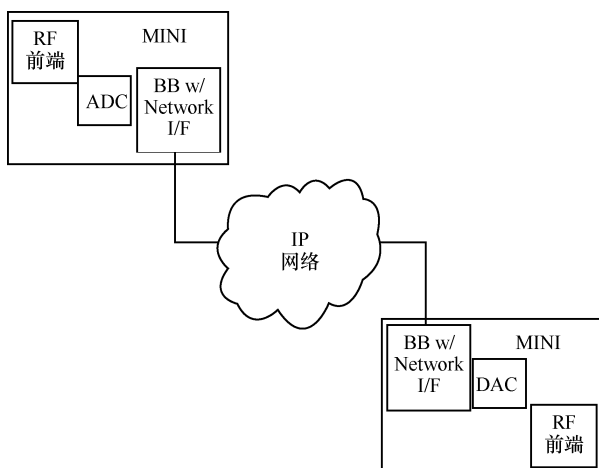


图 5 微波环境运输系统的基本配置

表 1 MINI 模型的主要规格

主要规格	值
可接受射频范围	470~770 MHz
最大 ADC 运算	125 MHz、14 bit
最大 DAC 操作	400 MHz、14 bit
最大可传输带宽	62.5 MHz
数据缓存器控制数据速率的大小	128 KB
用于捕获微波的存储器大小	128 KB
第四层协议	TCP
物理层接口	1000BASE-ZX

传送微波环境至少需要两组微型器件，微波/IP 转换网络接口主要包括 3 个功能模块^[24]。

(1) RF 前端模块

MINI 的 RF 前端模块对接收/发送的微波进行放大和过滤。此外，RF 前端模块可能需要转换接收/发送的微波的频率，以降低 ADC/DAC 模块的工作频率。

(2) ADC/DAC 模块

ADC/DAC 模块将微波转换为数字数据，反之亦然。在此，采样率和分辨率是讨论的重要方面，更高的采样率和更高位的分辨率将分别对所需信号产生较少的频谱干扰，并产生较高的信噪功率比 (SNR)。但是，这些条件需要 IP 网络具有较高的数据吞吐量。

(3) 基带处理器模块

带网络接口的基带处理模块以各种方式对从 ADC/DAC 块获得反馈给 ADC/DAC 的数据进行数字化处理，包括对数字化微波数据进行 IP 分组、传输控制以及其他必要的数字滤波。此外，可能需要在模块中执行用于前向纠错 (FEC) 的编码和解码处理，以减轻由于数据错误或传输过程中数据分组丢失而导致的信号降级。

5 实验仿真

图 6 表示了不同 ADC 输入功率水平下运放微波的误码率 (BER) 性能。ADC 器件以不同分辨率操作并且显示了在不进行 IP 传输的情况下直接解调原始 DTMB 信号时获得的误码率 (BER) 特性。从这一数据可以看出，当微波输入 ADC 的 CNR 比较高时，误码率性能大约在 10^{-7} 左右，这种退化是由于 ADC 和 DAC 的平顶采样过程具有有限的模拟输入/输出带宽。假定所传输的 DTMB 信号的所需 BER 质量小于 10^{-5} 时，额外的 CNR 裕量为 3 dB，与使用 6 位分辨率相比，14 位分辨率的使用不会使所需的 CNR 减少 1 dB 以上，而它会使 CNR 增加 1 倍网络所需的吞吐量。

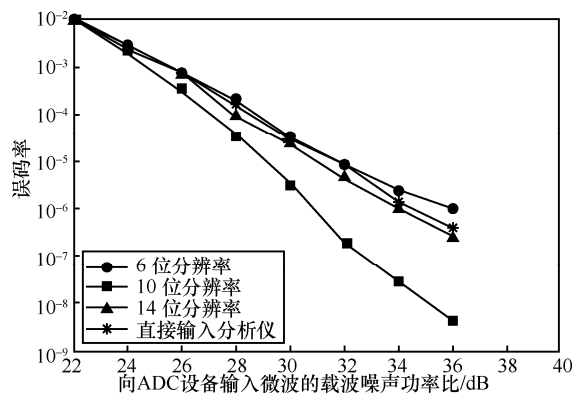


图 6 不同 ADC 输入功率水平下运放微波的 BER 性能

图 7 显示了原始微波的 CNR 变化时，传输微波的 BER 性能。微波功率越低，传输体的 CNR 值越低，微波功率越高，传输微波的畸变越严重，



当向 ADC 设备提供的输入微波功率因不同分辨率位而变化时所传送的 DTMB 信号的误码率特性。图 7 中看到通过向 ADC 器件输入最佳微波功率, 获得最低误码率, 原始微波的 CNR 变化时, 传输微波的 BER 性能最好, ADC 和 DAC 设备位于不同的位置, 需要以精确同步频率工作, 若频率不同步, 则传输的微波会受到频率偏移或相位噪声的影响。

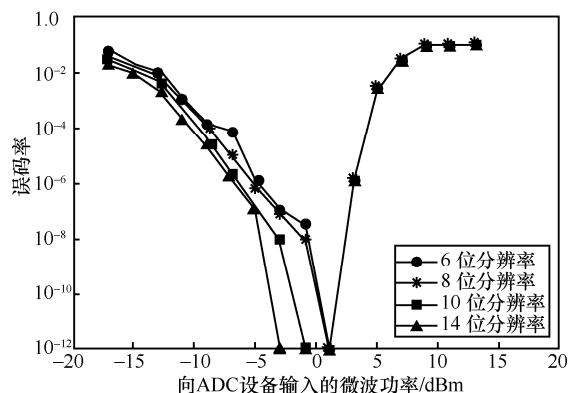


图 7 原始微波的 CNR 变化时, 传输微波的 BER 性能

图 8、图 9 显示了当 ADC 时钟比 DAC 时钟快时, 在传输的微波中发生的频率偏移的范围, 反之亦然, 不同的运输频率, ADC 和 DAC 被设置为以 100 MHz 采样率和 8 位分辨率工作。从图 8、图 9 中可以看出当频率偏移用 ppm (百万分之一) 表示时, ADC 时钟和 DAC 时钟之间的频率偏移对微波传输频率的影响是线性的, 与运输频率无关。

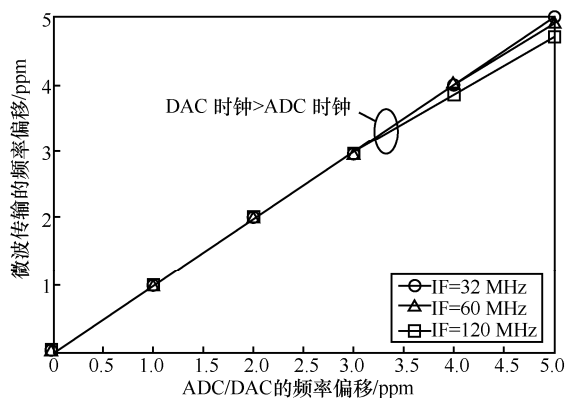


图 8 DAC>ADC 时对微波传输的影响

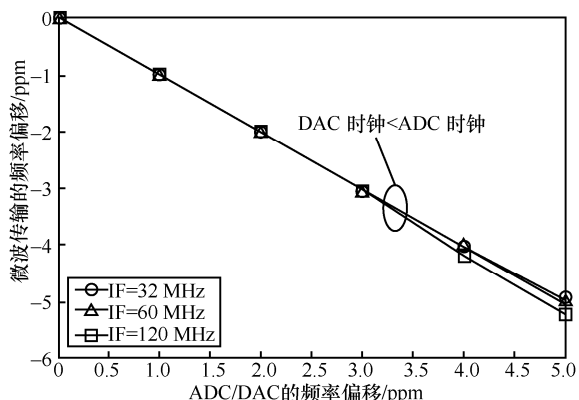


图 9 DAC<ADC 时对微波传输的影响

图 10 表示采用采样上转换和采样下变频技术在传输的微波中发生的频率偏移。

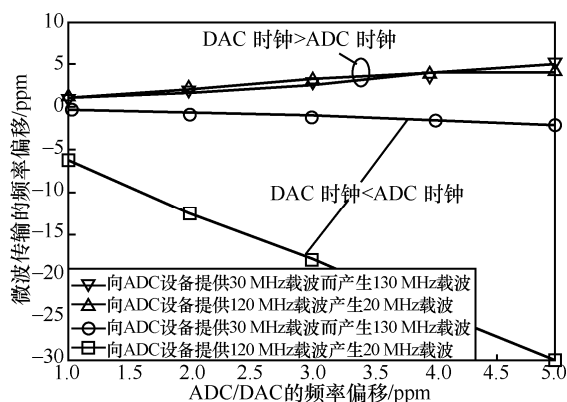


图 10 ADC/DAC 时钟抖动时频率偏移

图 10 中包括两种情况: 当向 ADC 设备提供 30 MHz 载波而产生 130 MHz 载波时, 向 ADC 设备提供 120 MHz 载波产生 20 MHz 载波时, DAC 时钟速率的提高使采样上转换和采样下变频技术所产生的微波频率有类似的频率提升, 而 ADC 时钟速率的提高似乎对传输的微波产生不同的影响。事实上, 这种差异主要是由于频率偏移用 ppm 表示, 而不是以 Hz 表示, 无论是从采样微波中提取上变频频率还是下变频频率, 绝对频率偏移仅由 ADC 设备输入的原始频率与其工作的频率偏移之间的关系来决定。

6 实验结论

这些结果表明, 地面传输信号 (DTMB) 可

以在 IP 网络上传输对微波条件如频谱和相对接收功率电平进行远程监测, 中频采样技术对高 CNR 质量的微波监测是有效的, 而带通采样技术也可用于微波的高质量监测。此外, 间歇传送用于监测/观测应用的截断微波信号可以会显著降低网络所需的吞吐量。与传统的 TDM 微波技术相比, IP 封装比 TDM 封装的帧头小, 再加上 IP 优化技术, IP 微波可以提升空口带宽容量, 而且 IP 微波根据信号的强弱和干扰的情况, 自动调节不同的模式以此最大程度地提升传输能力。而与 SDH 微波相比, IP 微波可以根据数据业务流的优先级自动分配, 多业务数据传输, 对数据业务的环网保护更加智能可靠。

7 结束语

本文运用 AMC 等技术将微波数字化, 并将其转化为 IP 数据分组进行原型化, 并演示了 DTMB 信号的传输。作为微波环境传输的一个新的应用概念, 本文还提出一种微波监控系统, 该系统可以将远程的微波信号数字化、定期截断, 通过 IP 网络传输, 并集中分析。IP 微波作为一种全新的传输技术, 具有利用高宽带利用率、部署速率快、安装灵活、转运方便、传输数据更高效等特点补充传统微波的不足之处。IP 微波以其强大的业务处理能力, 完善的保护机制和传递信息实时便利解决在城市中光纤传输条件不理想的困难。而如今国内 IP 微波并没有得到全面推广, 在没有一套完整的部署建议的情况下, 想要更加高效科学地使 IP 微波设备在智慧城市中进行回传部署还需要业界共同努力。

参考文献:

- [1] BERA S C. Microwave communication systems[M]// Microwave Active Devices and Circuits for Communication. Heidelberg: Springer, 2019.
- [2] HUANG Y, SHINOHARA N, MITANI T. A constant efficiency of rectifying circuit in an extremely wide load range[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2014, 62(4): 986-993.
- [3] INOUE K, UI N, SANO S. High power and high efficiency GaN-HEMT for microwave communication applications[J]. Microwave Workshop, 2011: 267-270.
- [4] HEMOUR S, LORENZ C H P, WU K. Small-footprint wide-band 94 GHz rectifier for swarm micro-robotics[C]// Proceedings of IEEE 2015 MTT-S International Microwave Symposium. Piscataway: IEEE Press, 2015: 1-4.
- [5] ISHINO S, TAKIMOTO Y, KISHIMOTO A, et al. Study on WPT system using a radio wave hose as a new transmission line[C]//Proceedings of 2015 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC). Piscataway: IEEE Press, 2015.
- [6] ZHANG X K. Method, terminal and system structure for transmitting and receiving services in microwave communication: US Patent 8483047[P]. 2013.
- [7] YOSHIDA S, HASEGAWA N, KOBAYASHI Y, et al. Wireless sensor network system with wireless powering by time division operation at 5.8 GHz in a reusable rocket[C]//Proceedings of 2015 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT). Piscataway: IEEE Press, 2015.
- [8] 裴郁杉, 胡云, 陈丹. IP 微波在网络建设中的应用分析[J]. 移动通信, 2015, 39(24): 59-63.
- PEI Y S, HU Y, CHEN D. Application analysis of IP microwave in network construction[J]. The Mobile Communication, 2015, 39(24): 59-63.
- [9] VAKAS V I, CHERNYAK I P. Base station synchronization for application of IP networks[C]//Proceedings of Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2011 21th International Crimean Conference. Piscataway: IEEE Press, 2011.
- [10] HRISTOV H D. Fresnal zones in wireless links zone plate lenses and antennas[M]. Norwood: Artech House, Inc, 2000.
- [11] 刘广红, 何小山, 王仁杰, 等. 智慧城市信息通信系统研究[J]. 邮电设计技术, 2012(6): 27-31.
- LIU G H, HE X S, WANG R J, et al. Research on information and communication system of smart city[J]. Posts and Telecommunications Design Technology, 2012(6): 27-31.
- [12] ZHAO Z W, ZHANG M G, WU Z S. Analytic specific attenuation model for rain for use in prediction methods[J]. International Journal of Infrared & Millimeter Waves, 2001, 22(1): 113-120.
- [13] 向建伟, 于秀兰, 景小荣. 毫米波大规模 MIMO 系统中低复杂度混合预编码方法[J]. 电信科学, 2016, 32(9): 10-15.
- XIANG J W, YU X L, JING X R. Low complexity hybrid precoding method in mmWave massive MIMO system[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(9): 10-15.
- [14] NIYATO D, HOSSAIN E E. Cognitive radio for next-generation wireless networks: an approach to opportunistic channel selection in IEEE 802.11-based wireless mesh[J]. IEEE Wireless Communications, 2009, 16(1): 46-54.
- [15] YAMAMOTO T, KIM J O, UEDA T, et al. Field trial on cognitive radio technology: adaptive co-use of heterogeneous wire-



- less media on multiple base stations[C]//Proceedings of Consumer Communications and Networking Conference. Piscataway: IEEE Press, 2009.
- [16] KIZER G. Improvements in fixed point-to-point microwave radio path design[C]//Proceedings of Wireless Telecommunications Symposium. Piscataway: IEEE Press, 2008.
- [17] 段红光, 胡利, 田枚. LTE-Advanced 系统中的自适应调制技术[J]. 电信科学, 2017, 33(7): 94-99.
- DUAN H G, HU L, TIAN M. Adaptive modulation technology in LTE-Advanced system [J]. Telecommunications Science, 2017, 33(7): 94-99.
- [18] NIRMALATHAS A, GAMAGE P, LIM C, et al. Digitized RF transmission over fiber[J]. IEEE Microwave Magazine, 2009, 10(4): 75-81.
- [19] GAMAGE P, NIRMALATHAS A, LIM C, et al. Design and analysis of digitized RF-over-fiber links[J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(12): 2052-2061.
- [20] LUO W Y, ZHANG L Z, JIN L, et al. Broad band-pass sampling and its application in multi-carrier digital IF receiver[C]//Proceedings of International Conference on Wireless Communications. Piscataway: IEEE Press, 2007.
- [21] KIMURA K, OGAWA H, UJIHARA H, et al. ASTRO-G/V SOP-2 off-set cassegrain telescope[C]//Proceedings of IEEE Antennas & Propagation Society International Symposium. Piscataway: IEEE Press, 2008.
- [22] KIM J H, YOUNIS M, WIESBECK W. Implementation of ground-based SAR demonstrator system for digital beam forming[C]//Proceedings of 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Piscataway: IEEE Press, 2005.
- [23] HENNES H. Packet-layer forward error correction coding for fading mitigation[C]//Proceedings of SPIE Free-Space Laser Communications VI. [S.l.: s.n.], 2006.
- [24] CENTENARO M, VANGELISTA L, ZANELLA A, et al. Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios[J]. IEEE Wireless Communications, 2016, 23(5): 60-67.

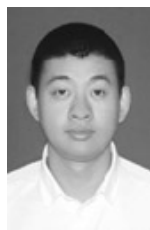
[作者简介]



董潍赫, 男, 黑龙江大学在读, 主要研究方向为无线通信、智慧城市、人工智能、生物特征识别等。



李晓坤 (1979-), 男, 黑龙江恒讯科技有限公司国家博士后科研工作站研究员级高级工程师、教授, 主要研究方向为虚拟化、人工智能、生物特征识别、智慧城市、区块链等。



陈虹旭 (1986-), 男, 黑龙江恒讯科技有限公司国家博士后科研工作站高级工程师, 主要研究方向为虚拟化、云计算、人工智能、移动通信等。

张斯妍, 女, 黑龙江大学在读, 主要研究方向为移动通信、生物特征识别、智慧城市、人工智能等。

孙怡然, 女, 黑龙江大学在读, 主要研究方向为机器学习、数据挖掘等。

于川岳, 女, 黑龙江大学在读, 主要研究方向为生物特征识别、智慧环境、移动通信等。