

## 多频段数字光纤分布式天线系统

欧秀平

广州埃信电信设备有限公司，广州

**摘 要** | 与传统的模拟光纤分布系统相比，数字光纤分布系统具有更加灵活的性能，能显著增大拉远距离，降低上行噪声叠加对基站的影响，同时也可兼容千兆以太网数据透传。本文详细介绍了一款改进的多频段数字光纤分布式天线系统，用以代替传统的模拟光纤分布系统，以解决目前多频率、多模式、多运营商、大带宽条件下，无线网络覆盖的技术难题。本系统可实现多频段工作，能应用于 5G NR、CDMA2000、WCDMA、TD-LTE、FDD-LTE、GSM 等常用制式。本文通过研究数据压缩功能来提高数据传输带宽，采用数字预失真技术及削峰技术来提高射频功率的效率，达到降低运营成本，同时提高共享能力的目的。

**关键词** | 分布式天线；数字光纤；多频段

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

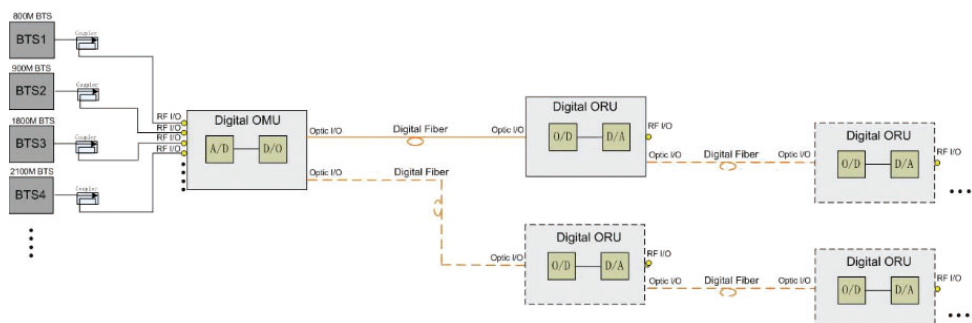


### 1 引言

随着 5G 牌照的发布以及大规模的商用，这意味着在传统网络基础上，频段将更加紧凑及复杂化。虽然运营商可以通过不断增加频点或者引入新的通信制式来应对数据业务量的激增<sup>[1]</sup>，但这会导致频谱资源越来越紧凑。同时，通信

基于这些问题,需要引入基站延伸单元来完成网络补充。本文采用数字光纤分布式天线系统(Digital Distributed Antenna System, DDAS)<sup>[2-6]</sup>来代替传统模拟光纤分布系统,以解决以上的问题。

本数字光纤分布式天线系统原理框图如图 1 所示。



**Figure 1** Block diagram of digital optical fiber distributed antenna system

基站发射的第 N 频段射频信号耦合进入近端机 (OMU)，通过 T/R 的混频处理产生中频信号，A/D 链路对中频信号进行中频滤波，然后对中频数据进行

采样，实现模数转换。基带处理单元对所有频段的数字中频信号进行基带处理，同时完成信号滤波、增益控制、功率统计、功率控制等功能。公共无线接口单元（CPRI）对各个频段数字进行数据压缩及组帧，转换成适合光纤传输的基带数据。

通过光纤拉远到远端机（ORU）后，CPRI 模块对数据进行解帧及解压缩。基带处理单元对 CPRI 模块分解的所有频段数据进行分频段处理，处理后的数据经过 D/A 链路进行数模转换及中频滤波，然后与本振进行混频，实现中频至射频信号的转换。

本系统与文献<sup>[7-8]</sup>的系统相似，但本系统主要使用数字光纤系统代替传统模拟光纤系统，如图 2 所示。而且，本系统可以支持星形、链形、环形等组网形式。此外，为了增强系统的可靠性，涉及光纤传输的部分可增加一根光纤作为备份。

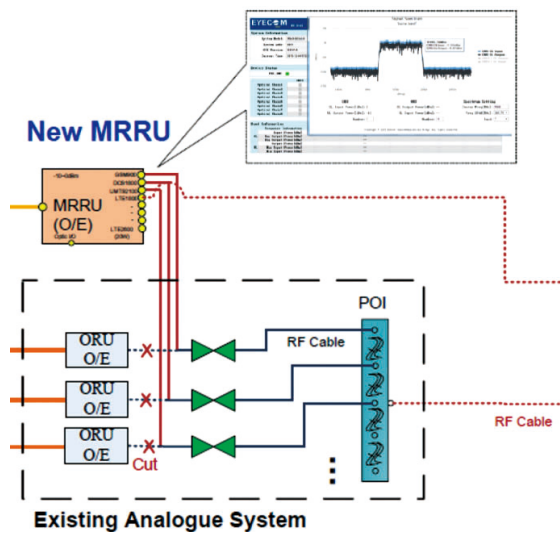


图 2 本系统使用数字光纤系统，代替传统模拟光纤系统

Figure 2 This system uses digital optical fiber system instead of traditional analog optical fiber system

### 3 系统数据处理技术

本文介绍的天线系统覆盖了 5G NR、CDMA2000、WCDMA、TD-LTE、

FDD-LTE、GSM 等通信频段。系统数据处理过程涉及多频段负载调制技术、超宽带多频段数字预失真算法、自适应数据压缩算法以及削峰技术等。

### 3.1 多频段负载调制技术

要解决多频率、大带宽和高效率功放等难题，其中一个关键是采用 Doherty 功率放大器架构<sup>[9]</sup>。

Doherty 功率放大器最重要的特性是负载调制，它可以合成两个放大器的不对称输出功率。其中一个办法是让功放的负载变大，使功放在一个较小的输出功率电平上达到电压饱和，以获得高效率。

本文所采用的 Doherty 放大器及阻抗关系简化如图 3 所示。这方法成功在多频段射频同时实现高低功率时的阻抗变换，并可以保证功放高峰均比信号下的工作效率。

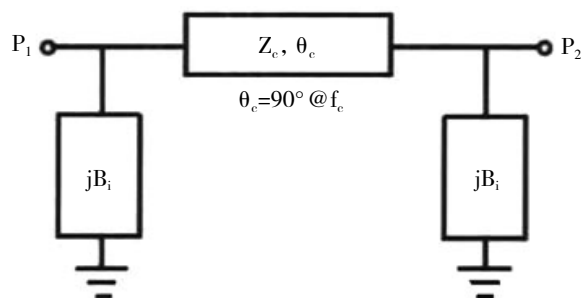


图 3 Doherty 功率放大器及阻抗关系图

Figure 3 The impedance of Doherty power amplifier

### 3.2 超宽带，多频段数字预失真算法

由于功率放大器一般是工作在饱和区，这时它的非线性特性会令宽带信号经其放大后产生失真。

解决功放非线性问题的主要方法有：前馈线性化技术<sup>[10]</sup>、负反馈技术包络消除和恢复技术及数字预失真技术等。其中数字预失真技术成本低、精度高，并可以适用于大带宽上，所以本文会采用 Volterra 分析方法<sup>[11]</sup>的数字预失真技

术以解决功放的非线性问题。

基于 Volterra 改进的 DDR 模型，可解决宽带功放强记忆效应的问题。再采用数字带限滤波技术，以降低信号带宽对采样率的要求。实验结果表明本文方法可通过调整模型的参数，利用更少的系数获得更好的预失真效果。本文采用的带限 Volterra 级数模型如图 4 所示，其中， $D_1$ ， $D_3$ ， $D_5$  代表 Volterra 级数模型中的一阶、三阶、五阶分量， $w(\cdot)$  代表滤波器的系数， $h$  代表对应的一阶、三阶、五阶 Volterra 核系数。为了简化模型的复杂性，动态偏差函数会代入一阶模型，最后得出离散等效表达式。

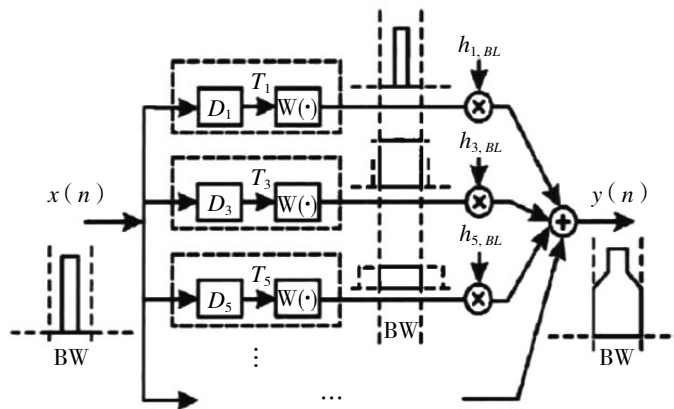


图 4 预失真技术原理示意图

Figure 4 Schematic diagram of predistortion technology

### 3.3 自适应数据压缩算法

为了提高信号的传输效率，系统会将信号压缩并组帧，再进行传输。本文采用自适应量化压缩的方式，系统会通过对输入功率大小进行判定，动态传输信号的有效 bit 位。

图 5 中给出了一种简单的压缩方式：将 4 个输入数据组成 1 组，其中每个数据的最高位为符号位，最后一位为移位信息，剩下的 8 位为数据的有效 bit 位。实验结果表明：当将数据位宽由 16 位降至 10 位时，信号 EVM (Error Vector Magnitude) 恶化量为 0.24%，远远低于 3 GPP 所提出的要求。

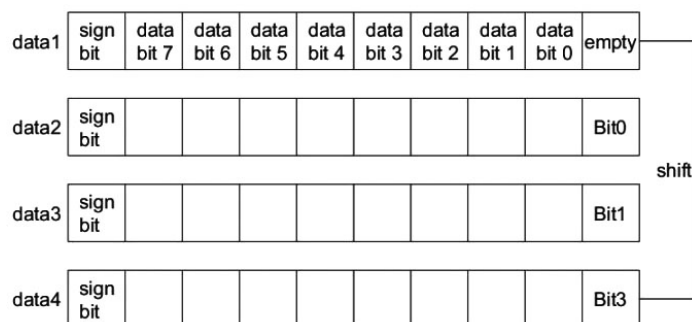


图5 自适应数据压缩算法示意图

Figure 5 Schematic diagram of adaptive data compression algorithm

### 3.4 削峰技术

与单载波系统相比，多载波信号合成会带来较高的峰均比（PAPR，Peak to Average Power Ratio）。这会导致移动终端产生较强的带外辐射，进而引发系统的邻频干扰。

为了降低带外干扰的问题，本文系统会采用噪声成型的削峰方式，通过压缩输入信号峰均比，在保证信号峰值仍在功放线性区域的前提下，增大输入功放信号的平均功率，最终达到提高功放效率的目的。

## 4 结束语

因为技术因素的限制，传统模拟光纤系统难以容纳多频率，亦难以在多运营商、大带宽的条件下工作。本文以数字光纤分布式天线系统，代替传统的模拟光纤系统。系统中的载波配置，频段合并和分离等功能可以通过软件设置在数字域实现，也可以通过软件在数字基带域调整每个RU的时延或者自动完成时延校准。

本文详细分析了系统数据处理的各个流程。本系统兼容性好，数字光模块速率采用向下兼容设计，实现支持多种类型D-ORU。同时本系统组网灵活，可较容易实现星型、菊花链或者混合组网。本系统采用数字带限滤波技术，改善DPD大带宽下的对消效果。在采用数字预失真算法及削峰技术后，本系统可以提高功放的线性及效率，达到节省能源的目的，同时其他射频指标也满足3GPP相关规范要求。

## 参考文献

- [ 1 ] Andrews J G, Buzzi S, Choi W, et al. What Will 5G Be? [ J ] . IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014, 32 ( 6 ) : 1065–1082.
- [ 2 ] You X, Wang D, Sheng B, et al. Cooperative distributed antenna systems for mobile communications [ J ] . IEEE Wireless Communications, 2010, 17 ( 3 ) : 35–43.
- [ 3 ] Yuan F, Jin S, Huang Y, et al. Joint wireless information and energy transfer in massive distributed antenna systems [ J ] . Communications Magazine IEEE, 2015, 53 ( 6 ) : 109–116.
- [ 4 ] Zhu Z, Lee K J, Wang Z, et al. Robust beamforming and powersplitting design in distributed antenna system with SWIPT under bounded channel uncertainty [ J ] . Proc. IEEE VTC, 2015.
- [ 5 ] Zhu H. Performance comparison between distributed antenna and microcellular systems [ J ] . IEEE J. Sel. Areas Commun. , 2011, 29 ( 6 ) : 1151–1163.
- [ 6 ] Sabat J, Porte D. Digital distributed antenna system [ J ] . 2009.
- [ 7 ] Joonyoung, Kim, Minkyu, et al. 4 × 4 MIMO architecture supporting IFoF-based analog indoor distributed antenna system for 5G mobile communications [ J ] . Optics Express, 2018.
- [ 8 ] Sung M, Kim J, Kim E S, et al. Demonstration of 5G Trial Service in 28 GHz Millimeter Wave using IFoF-based Analog Distributed Antenna System [ C ] // Optical Fiber Communication Conference, 2019.
- [ 9 ] Yu D, Kim Y W, Han K, et al. Fully integrated Doherty power amplifiers for 5 GHz wireless-LANs [ C ] // Radio Frequency Integrated Circuits. IEEE, 2006.
- [ 10 ] Fuxing Y. Research on Feedforward Linearization Technology for RF Power Amplifier [ J ] . Modern Electronics Technique, 2007.
- [ 11 ] Braithwaite R N. Pruning strategies for a Volterra series model used in digital predistortion ( DPD ) of RF power amplifiers [ C ] // 2017 IEEE Topical

Conference on RF/Microwave Power Amplifiers for Radio and Wireless Applications (PAWR) . IEEE, 2017.

## Multi-band Digital Optical Fiber Distribution Antenna System

Ou Xiuping

*Eyecom Telecommunications Equipment Ltd., Guangzhou*

**Abstract:** Compared with the traditional analog optical fiber distribution system, the digital optical fiber distribution system has more flexible performance, it can significantly increase the pull distance, reduce the impact of uplink noise superposition on the base station, and can also be compatible with Gigabit Ethernet data transparent transmission. This paper details an improved multi-band digital optical fiber distribution antenna system. Replace the traditional analog optical fiber system to solve the current technical problems of wireless network coverage under the conditions of multiple frequencies, multiple modes, multiple operators, and large bandwidth. This system can achieve multi-frequency operation. It is a wireless coverage device that meets current applications in complex environments. It can be used in common standards such as 5G NR, CDMA2000, WCDMA, TD-LTE, FDD-LTE, GSM, etc. This paper studies the data compression function to improve the data transmission bandwidth, and used the digital pre-distortion technology and peak clipping technology to improve the efficiency of RF power amplifier. As a result, this system reduces operation and maintenance costs, and improves sharing capabilities.

**Key words:** Distribution antenna system; Digital optical fiber; Multi-band frequency