

面向5G的室内数字化系统 Study on 5G-oriented Transmission Cable for Indoor Digital System 传输线缆研究

杨定楚¹,王权²,祝琳¹(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南郑州 450007;2. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033)

Yang Dingchu¹, Wang Quan², Zhu Lin¹(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China; 2. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China)

摘要:

从5G室内数字化系统的技术指标出发,分析了传统DAS系统相对室内数字化系统在面向5G部署方面的劣势,得出了数字化系统是5G室内分布系统的主流技术的结论,同时分析了传输线缆的选择成为5G室内数字化系统的关键技术;通过对室内数字化系统传输能力、供电要求以及不同线缆的传输与供电能力分析,得出CAT6A网线或光电复合缆将是5G室内数字化系统的选择方案,最后通过分析传输线缆部署实例,给出了线缆选择的建议。

Abstract:

With the introduction of 5G indoor digital system's technical indicators, the disadvantage of traditional DAS contrasted with DIS had been introduced, and the conclusion that the DIS is the mainly technology of 5G indoor coverage system had been given. At the same time the selection of transmission cables will be the key technology in the 5G indoor DIS. By analyzing the transmission ability and power supply requirements of indoor DIS, the transmission and power supply ability of difference transmission cables, the conclusion that the CAT6A cable or optical and electronic composite cable will be the selection scheme of 5G indoor DIS is put forward. Finally, through the analysis of the deployment examples of transmission cables, the selection proposals of transmission cables had been gave.

Keywords:

5G;DIS;DAS;CPRI;Optical and electric composition cable;CAT6A network line

引用格式:杨定楚,王权,祝琳.面向5G的室内数字化系统传输线缆研究[J].邮电设计技术,2019(8):59-64.

0 引言

正如2G伴随语音,3G伴随数据,4G伴随移动互联网,人们对5G的期待则是:以超大带宽、超低时延和超强连接的能力,使能全行业数字化,成为社会基础的生产力。统计表明,目前4G移动网络中超过70%的业务发生在室内场景。伴随5G业务种类持续增多和行业边界不断扩展,运营商室内移动网络将更加重要,将是运营商在5G时代的核心竞争力之一。面向5G的室内覆盖数字化系统(DIS),也必将成为未来5G

室内业务提供基础能力的主要建设方式。

5G的更高速率提出了更高的CPRI接口要求,室内分布系统中线缆布放的施工量大,一旦布放再修改难度大,因此传输线缆的选择成为5G数字化室分面临的主要问题。

1 5G室内业务与网络分析

1.1 5G室内业务与网络要求

4G承载的是“移动互联网”,而5G的定位不仅仅是能为用户提供更好体验和更多业务的eMBB网络,更是连接行业的网络。因此,5G将不仅仅是简单的一张通信网,更是作为底层网络深入到社会各行各业。

收稿日期:2019-05-23

增强现实(AR)、虚拟现实(VR)、自动驾驶、智慧家庭、无线医疗、远程教育、新社交网络、个人AI辅助、工业制造和物联网等业务领域将会得到5G技术的支撑。

这意味着5G时代的业务场景与4G相比差异巨大,也对5G网络提出更高的技术要求^[1-3](见表1)。

根据ITU-R对不同业务应用对网络的要求以及

表1 5G的八大新业务的参数指标

8大新业务场景	用户体验速率	E2E时延/ms	移动性/(km/h)	连接密度/(个/km ²)	流量密度/km ²
Broad-band in dense areas	DL:25 Mbit/s~1 Gbit/s UL:25~500 Mbit/s	10	0~100	200~150 000	DL:750 Gbit/s~15 Tbit/s UL:125 Gbit/s~7.5 Tbit/s
Broadband every-where	DL:10~50 Mbit/s UL:10~25 Mbit/s	10~50	0~120	16~400	DL:16 Mbit/s~20 Gbit/s UL:16 Mbit/s~10 Gbit/s
Higher user mobility	DL:15~50 Mbit/s UL:7.5~25 Mbit/s	10	0~1000	2 000	DL:1.2 Gbit/s~100 Gbit/s UL:600 Mbit/s~50 Gbit/s
Broadcast-like service	DL:200 Mbit/s;UL:500 kbit/s	<100	0~500	Not relevant	Not relevant
Lifeline communication	0.1~1 Mbit/s	Not critical	0~120	10 000	Potentially high
Extreme real-time communication	DL:50 Mbit/s;UL:25 Mbit/s	<1	Pedestrian	Non critical	Potentially high
Ultra-reliable communication	DL:50 kbit/s~10 Mbit/s UL:x~10 Mbit/s	1~10	0~500	Non critical	Potentially high
Massive IoT	1~100 kbit/s	Seconds to hours	0~500	200 000	Non critical

室内关键业务场景,对5G室内网络关键指标定义如下(见表2)。

表2 ITU-R定义的5G和室内5G目标网关键能力指标

关键能力	ITU-R定义5G关键能力指标	室内5G目标网关键能力指标
用户体验	DL>100 Mbit/s,UL>10 Mbit/s	DL>100 Mbit/s,UL>10 Mbit/s
区域流量	10 Mbit/s/m ²	2.5 Mbit/s/m ² (2022年);
频谱效率	3X	3X
时延/ms	1	—
连接定位精度	—	1 m,参照室内应用场景给出
网络能效	100X	—
峰值速率/(Gbit/s)	10	—
连接密度/(个/km ²)	1 000 000	—
移动性/(km/h)	500	—

容量:2022年高清视频和各类VR业务渗透率合计超40%,入门级VR视频要求下行速率约100 Mbit/s,上行要求10 Mbit/s。针对5G室内高容量场景:容量密度2.5 Gbit/s/1 000 m²。

时延:智能制造要求低至1 ms的网络时延及99.999%高可靠的网络。

新业务:越来越多室内业务需要精准定位。如商场展馆的室内导航客流监控(5 m)、制造园区的资产盘点物料跟踪(1 m)。

1.2 室内数字化系统是5G室内覆盖的重要选择

表3给出了传统DAS与DIS比较。从表3可以看出,面向5G部署传统DAS相对于DIS存在较多的难点

表3 传统DAS与DIS比较

项目	传统DAS	DIS (室内数字化系统)
Cable损耗	改造后3.5 GHz覆盖收缩、同点位合路5G弱覆盖严重,对于1/2馈线更加明显,需要增加信源数量	不涉及
分布式器件	器件普遍为800~2 700 MHz,无法支持3.5和4.8 GHz,改造工作量大、质量难保证、工程实施难	不涉及
多天线	4×4 MIMO的应用,传统室分需要部署4条馈缆,部署成本以及维护成本高	支持
互调干扰	5G拥有更宽的频带,当3G/4G/5G共存对大功率互调干扰要求高,尤其对靠近信源的器件	影响小
新技术	新业务支持能力差:不可视、不客观,无法管理企业业务服务质量;传统室分不支持室内定位,不能支持基于室内定位的新业务	支持
可靠性	DAS节点多,PIM对可靠性要求高。网络不具备鲁棒性,无法满足企业业务可靠性要求	结构简单,故障点少,可靠性高
运维	难以监控,增加运维难度	支持监控到头端
灵活	小区分裂扩容不灵活,部分场景难以满足流量快速增长、新业务发展需求,尤其是高流量的交通枢纽、医院、学校、地铁、商场等	小区扩容分裂简单,动态调整容量

和劣势,传统DAS已经很难承载5G业务^[4]。

综上,对于面向5G的室内网络,传统室分向5G演进改造问题多,室内数字化系统将成为重要的技术选择。

1.3 室内数字化系统分析

1.3.1 室内数字化系统架构

室内数字化系统并非5G时代的新生事物,早在4G中期,为了应对MBB时代数据流量的爆发,主设备

厂商就推出了数字化的室分系统。图1为某设备厂商的数字化的室分系统架构。

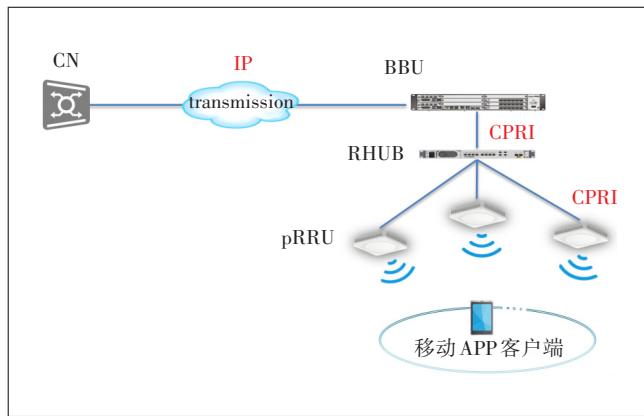


图1 室内数字化系统架构

室内数字化系统架构包含3层:BBU处理基带信号,RHUB解决头端的传输和供电问题,pRRU接收射频信号并完成中频处理。

1.3.2 室内数字化系统特征

头端有源化、运维可视化和传输线缆的IT化是室内数字化系统的3个基本特征。这3个特征很好地匹配了4G室内网络的发展,DIS也成为室内网络建设的首选。

a) 头端有源化。室内数字化系统的头端既可以组合成一个小区进行连续覆盖,解决业务移动性问题,又可以进行小区分裂,极限场景每一个头端都能分裂成一个小区,可以灵活地匹配室内热点的容量诉求,所有操作均可由软件远程完成。

b) 运维可视化。室内数字化架构端到端可管可控。

c) 传输线缆IT化。室内数字化系统使用IT线缆,如网线和光纤,可获得性强,施工简易,成本更低。

1.3.3 室内数字化系统向5G演进关键问题

面向5G演进DIS的头端有源化,支持多频多模,集成4G和5G,未来进行简单的头端替换就可以支持5G,使之具备了向5G演进的基本能力。但是,5G更大带宽的传输要求,对传输线缆提出了更高的要求,如果不能合理地选择传输线缆,5G到来之后,DIS同样需要重新建设,不能平滑地向5G演进。因此传输线缆的选择,成为DIS向5G演进需要回答的关键问题。

2 面向5G演进的传输线缆分析与选择

2.1 传输与供电要求分析

2.1.1 传输要求

在室内数字化的架构中,pRRU负责射频和中频处理,将空口的射频信号解调之后,还原成CPRI信号^[5]。通过连接BBU-RHUB、RHUB-pRRU的CPRI端口,建立起它们之间的CPRI控制数据和CPRI用户数据的传输通道。BBU将CPRI信号合并之后,还原成IP数据,通过前传网,实现全IP的数据通信。

根据5G目标网推导的结果,DIS需要支持4G和5G多频多模并发,5G需要支持4T4R。以中国联通当前的4G网络频谱为例,假设中国联通在5G获得C Band 100 MHz频带,推算所需CPRI带宽。

表4给出了中国联通的Sub 3G和C-Band频段的天线技术。

表4 中国联通的Sub 3G和C-Band频段的天线技术

频段	频谱带宽/MHz	频谱合计/MHz	制式及天线技术
Sub 3G	900 MHz	61	LTE 2T
	1.8 GHz		
	2.1 GHz		
C-Band	3.5 GHz	100	NR 2T
			NR 4T
合计		161	

载波占用CPRI带宽计算方法:

载波占用线速率(CPRI带宽)=CPRI净荷/CPRI压缩比/传输效率

CPRI净荷=采样率×数据位宽×2(IQ)×天线数×载波数

式中:

采样率——1 s内采样点数,比如LTE 20 MHz带宽采用的是30.72 MHz采样率

数据位宽——对于LTE在非压缩CPRI情况下,下行15 bit,上行12 bit

CPRI压缩比——未压缩数据所占带宽与压缩后数据所占带宽之间的比值

CPRI压缩特性通过压缩I/Q数据位宽和降低样点的采样率来降低CPRI数据对CPRI带宽的需求,使每个CPRI端口支持更多的载波或RRU/RFU/pRRU个数。

LTE协议规定频谱利用效率可达90%,NR协议规定的频谱利用率可达到98%,NR的频谱利用率远高于LTE的频谱利用率,NR为了达到协议规定的指标要求,压缩能力与LTE有所差异,如表5所示。

传输效率由编码效率和CPRI效率共同决定。无

表5 LTE和5G NR的CPRI压缩模式

制式带宽	CPRI压缩
LTE	2:1/3:1/4:1
NR	2:1/3:2:1

线网络BBU与RRU间的前传网络采用CPRI传输协议,传输链路上除了业务IQ数据外,还会通过控制字段传输控制信息,为了抗干扰,底层采用8B10B编码。不同CPRI速率对应的传输效率如表6所示。

表6 CPRI净荷和传输效率的对应关系

CPRI净荷	传输效率
小于10G	3/4
10.1G~25G	10/11
25G及以上	18/19

载波占用CPRI的线速率=载波净荷/传输效率,以中国联通基本LTE、NR为例,得到频段带宽、CPRI速率的映射关系如表7所示。

表7 不同线速率情况下,频段带宽、CPRI速率的映射关系

制式	载波带宽/MHz	压缩能力	通道数	单载波占用带宽/(Gbit/s)	
				线速率<10G	线速率>10G
BBU_C-Band_NR	100	3.2:1	2T2R	3.829 8	3.159 60
BBU_LTE	20/15	1/4压缩	2T2R	0.614 4	0.506 88

2.1.2 供电要求

室内数字化组网中,为简化供电和线缆配套,远端设备都由汇聚RHUB设备集中供电,供电距离的长短及线缆选择取决于远端设备的功耗。

按照业界当前的能力,室内设备每通道的功耗在7~12W,不同设备厂家及不同芯片方案的功耗会有差异,不同场景配置下的功耗要求如表8所示。

表8 远端设备的功耗需求

场景配置	功耗/W
场景1:Sub3G 3频 2T2R+5G 100M 4T4R	70~120
场景2:Sub3G 3频 2T2R+5G 200M 4T4R	80~130

2.2 传输线缆能力分析

目前市场上主流的传输线缆有2种:双绞线和光缆。双绞线根据ISO/IEC 11801标准分类,考虑早期线

缆规格较低,室内数字化系统在4G时代的带宽要求已经大于1Gbit/s,因此五类线及以下不能满足基本的传输要求,使用较多的是CAT5E超5类网线,最大带宽能够达到3.072Gbit/s,以及超六类线,最大带宽能够达到10.137Gbit/s^[6-11]。

光缆的特点是抗电磁干扰性极好、保密性强、速度块、传输容量大等。光纤有单模光纤与多模光纤。单模光纤在给定的工作波长中只能以单一模式传输,传输频带宽、传输容量大,适用于长距传输。而多模光纤在给定的工作波长中,以多个模式同时传输,有模式色散缺陷,其传输性能比单模光纤差,适宜于较小容量、短距传输。因此这里主要考虑单模光纤,其传输带宽主要受限于光模块的能力^[12]。

除了传输能力之外,供电能力也是线缆选择的重要依据。

POE是指在现有的以太网CAT5布线基础架构不做任何改动的情况下,为一些基于IP的终端(如IP电话机、无线局域网接入点AP、网络摄像机等)在传输数据信号的同时,为此类设备提供直流供电。POE也被称为基于局域网的供电系统(POL——Power over LAN)或有源以太网(Active Ethernet),有时也被简称为以太网供电,这是利用现存以太网传输电缆同时传送数据和电功率的最新标准规范,并保持了与现存以太网系统和用户的兼容性。

表9总结了几类传输线缆的传输和供电能力^[13-15]。其中,光电复合缆的供电能力是通过混合DC电缆来解决的。

DC电源线供电拉远计算说明:

$$S = \frac{I \times 2L}{\gamma \times \Delta U} \quad (1)$$

$$L = \frac{S \times \gamma \times \Delta U \times U_{RF}}{2P_{RF}} \quad (2)$$

式中:

P——拉远模块的最大实测功耗(W)

U——拉远设备的最低工作电压(V)

L——电源线拉远长度(m)

γ ——铜导体的电导率,取值为57 m/ $\Omega \cdot \text{mm}^2$

表9 CAT5E、CAT6A和光电复合缆传输线缆的传输能力和供电能力

线缆类型	最大传输能力(100 m拉远)	最大传输能力(200 m拉远)	供电协议标准	PSE/源端端口功率/W	PD端/远端功率@200 m/W
CAT5E	3.072G	3.072G	802.3bt	100	63
CAT6A	10.137G	6.144G	802.3bt	100	71
光电复合缆	10.137G,取决于光模块能力	10.137G,取决于光模块能力		参照式(1)和式(2)计算	

ΔU ——拉远电缆线压降(V)

S——电源线导体截面面积(mm^2)

如图2所示,1.5 mm^2 电源线在拉远200 m情况下(52~60 V)^[12],源端不同输入电压下的远端设备功率值基本都大于100 W,相较双绞线的PD功率71 W大出很多。

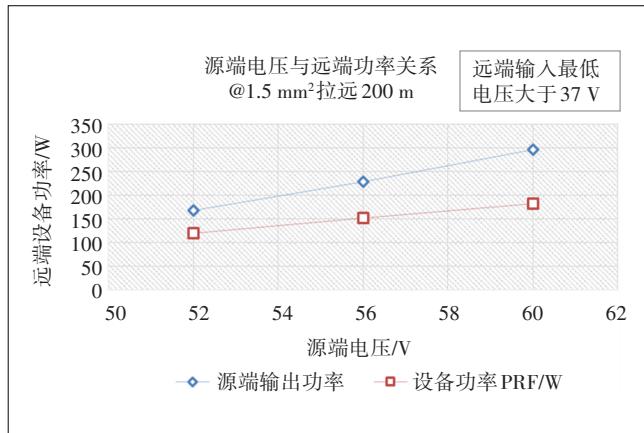


图2 源端电压与远端设备功率之间的关系

2.3 传输线缆的选择

表11 Sub3G 3频(80 MHz)2T2R+5G 100 MHz 4T4R的传输线缆部署方案建议

场景	远端负载设备功耗 (具体数据取决于模块实现能力)/W	传输带宽/(Gbit/s)	拉远距离/m	传输线缆部署建议			
				CAT5E×2	CAT6A×2	光电复合缆×1	
Sub3G 3频(80 MHz) 2T2R+5G 100 MHz 4T4R	~71	约8.6	200	不支持	支持	支持	方案1或者方案2
	>71		200	不支持	不支持	支持	方案2

Sub3G 3频(80 MHz)2T2R+5G 100 MHz 4T4R的传输线缆部署建议。

如果是该配置场景,且远端盒子功耗可以在71 W以下,那么可以采用双CAT6A网线,或者采用1根光电复合缆,如图3所示。

2.4.2 Sub3G 3频(80 MHz)2T2R+5G 200 MHz 4T4R

如果考虑5G 200 MHz或者后续毫米波场景,那么远端设备的功耗将会超过71 W,甚至达到100 W以上,届时将只有光电复合缆可以承载其传输和供电。因此,如果是该配置场景,由于传输带宽以及远端设备功耗,建议选择单根光电混合缆方案,支持更大的演进能力,如表12和图4所示。

3 结束语

5G的超大带宽、超低时延、超高可靠性、超多连接、超高业务扩展性以及超高精度室内定位能力等特点,将有力支撑未来AR/VR、超高清视频、智能制造、

根据前面章节对5G的CPRI传输带宽、线缆的传输和供电能力的全面分析,4G时代主流的CAT5E网线已不能满足5G传输和供电需求。CAT6A网线和光电复合缆将成为5G时代线缆的入门条件,如表10所示,根据不同线缆类别和拉远距离,分别给出了线缆能够支持的LTE与5G NR频谱资源配置方案。

表10 不同线缆类别和拉远距离对应支持的LTE与5G NR频谱资源配置方案

线缆类别	拉远距离/m	支持传输速率/(Gbit/s)	支持的载波数量	
			LTE(20 MHz 2T2R)	5G(100 MHz 4T4R)
1根光电复合缆	200	25	-	4
1根光电复合缆	200	10.1	5	1
2根Cat6A网线	100	10.1+10.1	14	2
2根Cat6A网线	200	12.288	7	1
1根Cat6A网线	100	10.1	5	1
1根Cat6A网线	200	6.144	10	不支持

2.4 传输线缆部署实例分析和方案建议

2.4.1 Sub3G 3频(80 MHz)2T2R+5G 100 MHz 4T4R

远端设备功耗与具体频谱配置相关,表11给出了

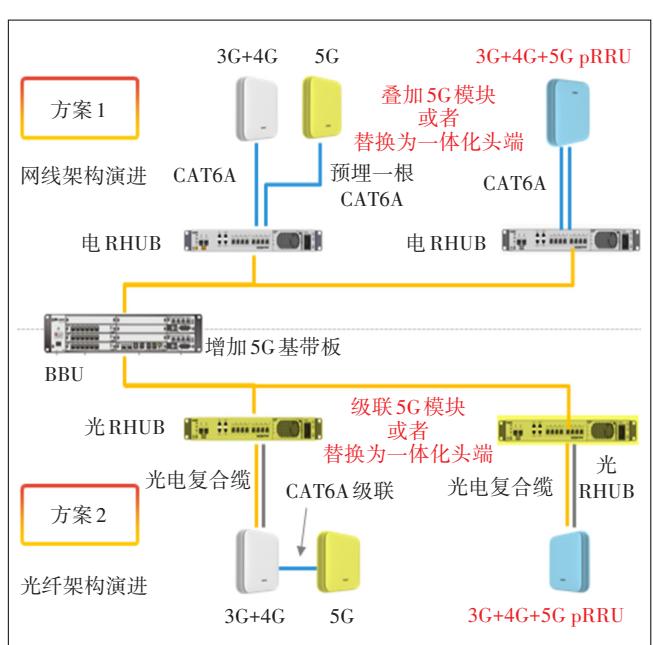


图3 Sub3G 3频(80 MHz)2T2R+5G 100 MHz 4T4R的传输线缆2种部署方案示意图

表12 Sub3G 3频(80 MHz)2T2R+5G 200 MHz 4T4R的传输线缆部署方案建议

场景	远端负载设备功耗 (具体数据取决于模块实现能力)/W	传输带宽/(Gbit/s)	拉远距离/m	传输线缆部署建议		
				CAT5E×2	CAT6A×2	光电复合缆×1
sub3G 3频(80 MHz) 2T2R+5G 200 MHz 4T4R	>71	约15	200	不支持	不支持	支持
						方案3

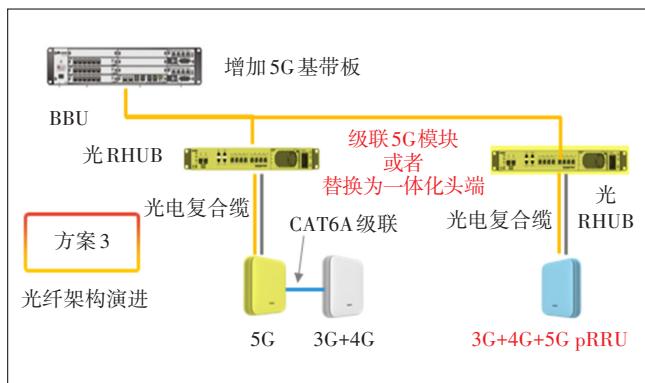


图4 Sub3G 3频(80 MHz)2T2R+5G 200 MHz 4T4R的传输线缆部署方案示意图

智能医疗等新生室内业务,同时也决定了室内数字化系统将是5G室内分布系统的主流技术。

面向5G的室内数字化系统的CPRI接口高传输速率要求,以及线缆部署工程量大、不易修改的特点,决定了线缆的选择成为5G室内数字化系统建设的关键,根据5G室内数字化系统的技术要求及线缆能力分析,给出了5G室内数字化系统全面使用CAT6A网线替代CAT5E网线建议,同时建议做好光电复合缆或CAT6A网线的预埋,为室内分布系统向5G演进奠定技术基础。

参考文献:

- [1] 樊恒波,查昊. 5G网络室内覆盖方案分析[J]. 电信快报,2018,563(5):25-29.
- [2] 李睿,刘旭峰,高敏,等. 5G业务发展与运营商应对策略[J]. 通信世界,2018(9).
- [3] MENG F, WANG C, LI Y J, et al. Discussion on ultra-high speed transmission standard and techniques for 5G large capacity requirements[J]. Telecom Engineering Technics & Standardization, 2018.
- [4] 黄海峰. 大唐移动:数字化室分优于传统DAS系统 全面支撑运营商室内建网[J]. 通信世界,2018(16).
- [5] IEEE. P802.3bm/D3.2, Sept 2014 – IEEE Draft Standard for Ethernet Amendment: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 40 Gbit/s and 100 Gbit/s Operation Over Fiber Optic Cables [EB/OL]. [2019-04-25]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6914517/>.
- [6] COLE G D, SCHNEIDER M, GARCIA A, et al. Method and apparatus for equalizing video transmitted over twisted pair cable: US, US 7047556 B2[P]. 2006.
- [7] TOUTAIN L, MINABURO A. 3. Ethernet and IEEE 802.3 Protocols [M]// Local Networks and the Internet: From Protocols to Interconnection. John Wiley & Sons, Inc. 2013:37-93.
- [8] YANG G. Generic Telecommunications Cabling System for Customer Premises[J]. Optical Fiber & Electric Cable & Their Applications, 1996.
- [9] Commercial Building Telecommunications Cabling Standard[EB/OL]. [2019-04-25]. <https://max.book118.com/html/2018/1227/7052030136001166.shtml>.
- [10] Association J S. Information Technology – Generic Cabling For Customer Premises [J/OL]. [2019-04-25]. https://infostore.saiglobal.com/en-au/Standards/Product-Details-623606_SAIG_JSA_JSA_1463678/?ProductID=623606_SAIG_JSA_JSA_1463678.
- [11] Balanced Twisted-Pair Telecommunication Cabling and Components Standard: ANSI/TIA-568-C.2[J/OL]. [2019-04-25]. https://global. ihs.com/doc_detail.cfm?item_s_key=00339843.
- [12] 肖智维. 5G网络室内覆盖解决方案研究[J]. 数字通信世界,2018(2).
- [13] STANDARDS B. Information Technology Equipment–Safety–Part 1: General Requirements [J]. Information Technology & Standardization, 2012.
- [14] 刘勇敏. 移动通信基站中光电复合缆的应用分析[J]. 无线互联科技,2015(1):56-56.
- [15] 周著祥,唐宗,卜道权,等. 光电混合缆在拉远基站中的应用分析[J]. 中国新通信,2016,18(20):89-89.
- [16] 张建强,冯博,王春宇. 5G网络室内覆盖解决方案[J]. 电信快报,2017(5):9-11.
- [17] 于建辉. 5G网络室内覆盖解决方案的分析[J]. 中国新通信,2019,21(1):37.
- [18] 洪康. 5G网络室内覆盖解决方案的分析[J]. 信息通信,2017(8):259-260.
- [19] 叶辉,刘海玲. 5G时代室内分布系统发展趋势分析[J]. 通信世界,2018,776(18):47-48.
- [20] 程锦望,陈巍,石远明. 5G室内密集立体覆盖的计算通信:架构、方法与增益[J]. 电信科学,2017,33(6):41-53.

作者简介:

杨定楚,毕业于武汉大学,硕士,主要从事无线网络研究、规划和设计工作;王权,毕业于华中科技大学,硕士,主要从事无线网络研究、规划、建设和项目管理等工作;祝琳,毕业于武汉大学,学士,主要从事无线网络研究、规划和设计工作。