福建通信科技

FUJIAN TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY

二〇二二年
论文集

探索元宇宙

第22届省科协年会元宇宙产业发展论文集

福建省通信学会
福建省互联网协会
福建省信息通信行业协会
福建省邮电规划设计院有限公司

闽内资准字K第111号
内部资料　免费交流

序　言

元宇宙产业发展论坛是第 22 届福建省科协年会的重要活动之一，它以开放共享、融合创新、变革转型、引领跨越为推进目的，共同探索元宇宙产业发展布局，助力数字经济发展模式。

为进一步增进业界专家学者互动交流，加强核心技术攻关，提升创新模式和积累经验，投放更多应用场景，推动元宇宙产业聚集发展以开放共享、融合创新、变革转型、引领跨越为推进目的，抓住元宇宙产业发展新机遇，加快培育新技术、新产业，驱动传统领域的数字化、网络化和智能化转型升级，我会特向各相关企事业单位、高等院校、台湾学者及相关企业技术专家等诚征信息通信相关领域的最新研究成果以及有关新技术、新应用、新方法的论文逾 30 篇。经专家审核，有 24 篇论文符合要求，列入本汇编出版，并提交本次元宇宙产业发展论坛发表，共同交流学习，通过学术论文征集活动，调动了科技工作者的创造、创新精神，使谋划创新、推动创新、落实创新成为自觉行动，鼓励信息通信科技工作者奋发向上的创新热情。

在此，对参与单位及个人表示衷心感谢，我会将不断探索、开创创新，搭建更多不同类型的学术交流平台，为广大科技工作者服务，为我省信息通信科技的发展做出应有的贡献。

福建省通信学会

2022 年 8 月 23 日

目　录

1. 元宇宙视角下游戏领域的应用与研究 .....李建微　陈由甲　陈志璋（1）
2. 基于元宇宙的大数据商业与管治模式分析.....黄晓强　朱惠斌（8）
3. 高速传输整合声音、影像、数据、电力传输之 Retimer IC 设计方案及绝缘树脂 ABF 封装应用于元宇宙 .....徐慧婕　徐茂修（12）
4. 基于时空卷积长短期记忆神经网络模型的基站节能策略研究.....游俊婷　蔡鸿祥　杨慰民（18）
5. 元宇宙视角下的线上“半仿真”智慧旅游规划探索.....朱惠斌　温亮（25）
6. 毫米波融合设计整合于人工智能车 .....赖文政（31）
7. 一种基于矩阵分析的互联网流量识别方案.....杨琨琨　陈倩雯　杨慰民（37）
8. 使用深度学习之都会区信道传播路径损失模型.....林丁丙　庄嵘腾　林信标　萧荣修（43）
9. 光学传感器之控制芯片设计应用于元宇宙虚拟与增强实境.....赖文政　张胜良（48）
10. 浅析元宇宙在教育领域的应用与发展 .....涂蓝方（56）
11. 双谱耦合中的相位特点分析 .....吴文兵　袁晓建　熊金泉（61）
12. 5GEPSFallback 语音回落时延分段定界定位方案设计.....郑银云　杨慰民（70）
13. 6G 通信网络与元宇宙发展 .....李　杰（77）
14. 元宇宙，引爆下一代网络算力革命 .....林　伟（82）
15. 新型盒式波分设备承载运用场景分析 .....陈丽英（90）
16. 5G 网络下的客户感知大数据智能研判方法研究.....陈俊杰　杨慰民（93）
17. 用户数据中心机房建设探讨 .....江　城（103）
18. 元宇宙与信息基础设施 .....吴　昊（107）
19. 工业元宇宙下智能制造和管理的一体化发展方向研究.....郑文彬（111）
20. 打造物联网基础底座赋能数字经济时代 .....林承红（115）
21. 基于大数据方法构建的游戏质量分析优化方案.....潘　嘉　杨慰民（119）
22. 浅析区块链技术在元宇宙中的应用 .....欧照杰（123）
23. 电信通信系统同步网的发展及应用 .....邓建珍（127）
24. 基于大数据的家庭宽带产品运营质量的研究与实践.....李祯盛　杨慰民（130）

元宇宙视角下游戏领域的应用与研究

李建微　陈由甲　陈志璋

摘　要：元宇宙是一个面向多用户的、实时在线的、网络互联的虚拟空间，它运用了区块链、物联网、5G、虚拟现实、人工智能、边缘计算等相关技术和设备，将数字化的虚拟世界与真实存在的现实世界有机联系在一起，以构造一个宏大的、多元的、自治的、与现实世界统一的虚拟世界。在这里，玩家可使用数字化身在虚拟场景里进行漫游，与其他玩家进行交互，与虚拟空间内的产品、程序和服务进行交互，同时元宇宙使用区块链技术，构造了数字资产生态链，使玩家拥有超越现实意义、虚实结合的深度体验。用户能够在元宇宙空间中更加自由、安全地参与数字艺术作品的创作和交易等社会和经济活动。显然，2022 年仍是元宇宙技术探索的第二年，也是新冠疫情肆虐的第三年，元宇宙产业蓬勃发展，沉浸式、虚拟线上的游戏项目展现出前所未有的潜力，各项技术的研发和实际应用将会加速，然而也出现了一些涉及安全隐私和金融风险等问题，为了实现元宇宙的潜力，各项网络技术协议和法律、市场监管政策正处于不断探索、日趋完善过程中。在本文中，我们首先描述了元宇宙的基础，讨论了元宇宙涵盖的一些关键领域的技术以及分析元宇宙对游戏领域产生的一些影响，为一些元宇宙的多学科交叉研究方向提供前瞻性的思考与探索，为元宇宙游戏应用的后续研究提供一定的理论启示。

关键词：元宇宙、区块链、非同质化代币、扩展现实

1　引言

在当下，元宇宙的理论和实践井喷式的发展一跃成为人们最关注的事物，其最早的灵感来源于上世纪九十年代美国科幻读物《雪崩》，小说由技术工程师兼科幻小说家史蒂芬森所著，作者在小说中对元宇宙提出了最早的定义，小说讲述了程序员兼外卖配送员的主人公在超现实空间与危害虚拟现实的雪崩病毒做斗争，通过化身在虚拟空间中与其他人团结协作最终战胜病毒的故事[1]。2018 年，在史蒂芬斯皮尔伯格导演的元宇宙标志性代表作电影《头号玩家》中，电影构建了被视为元宇宙化身的“绿洲”系统，引发了人们对虚拟世界去中心化的思考。主角使用虚拟身份参与新奇的探索和冒险活动，未来世界的人们在虚拟的绿洲系统和现实世界中实践，不断强化和重构自己的价值体系。技术驱动着生活的进步，以前伟大的构想逐渐走向现实，伴随着基础技术的日益发展，2022 年被定格为元宇宙工业化的开局之年[2]，加之资本的投入将元宇宙概念推向人们的视野中。3 月，全世界关于元宇宙概念的第一支股票：大型实时在线虚拟现实（VR）游戏平台罗布乐思率先

作者简介：

李建微（1979-），男，博士，福州大学物理与信息学院数字媒体系副主任。研究方向：虚拟现实与互动技术、虚拟地理环境、数字媒体技术等。

陈由甲（1983-），女，博士，福州大学教授，福州大学物理与信息学院通信工程系副主任，福建省通信学会无线通信与智能感知专委会委员，主要研究方向:移动通信系统、无线通信与人工智能。

陈志璋（1962-），男，博士，加拿大工程院院士和 IEEE Fellow，现为福州大学物理与信息学院特聘教授兼院长，福建省通信学会无线通信与智能感知专委会主任。研究方向为计算电磁学、射频微波电路和天线技术、数字媒体技术等。

将元宇宙概念写入创业计划书，打响了元宇宙工业化的第一枪，其公司并在北美的纽约证券交易所进行上市。8 月，字节跳动公司收购 VR 设备制造商 Pico，10 月，美国互联网公司 Facebook（脸书）主创扎克伯格看好下一代互联网发展前景，认为元宇宙发展的方向正是第三代互联网的演化的方向，因而在社媒中向发布其入股的脸书背后公司更名为 Meta[3]。这一举动无疑吹响了互联网进军元宇宙市场的号角。2022 年则是元宇宙蓬勃发展的一年，国内各大头部互联网公司腾讯、阿里、字节跳动、百度推出了自己的数字艺术产品，宣布进军元宇宙市场。这几年人们逐渐习惯与新冠疫情共存的生活，追求线上游戏可玩性、自由程度以及沉浸感的意愿比以往任何同时期更加强烈。元宇宙旨在打破现实差距的壁垒，使不管现实生活中的人与人之间相隔不论多远，都能在虚拟空间里进行交流、互动。因而元宇宙被称为第三代互联网，因为元宇宙集成了多种技术和设备，构建了庞大的、与现实相呼应的虚拟世界系统。本文探索的是线上游戏和元宇宙空间游戏的融合。

2021 年中国的游戏市场份额表现突出，占全球第一，而 2022 年 4 月国产游戏版号重新开始发放，这将会激发国产游戏团队的研发热情。游戏是人们日常娱乐的方式，最早的元宇宙题材的游戏可以追溯到 2003 年美国 Linden 游戏公司开发一款虚拟活动游戏《Second Life》，在游戏中玩家使用自己的虚拟角色在场景中进行漫游，场景中会出现不同的角色的人，玩家可以在虚拟世界与其他玩家进行交互，包括但不限于聊天、唱歌、跳舞、购物、旅行等活动。当下最为火爆的 VR chat 无疑是这款游戏的延伸，在沉浸感和交互性方面做到极致，玩家可以使用官方提供的动画角色，自定义设计创作导入自己的角色 UI，这些角色动画可以做到眨眼、嘴巴、动作变化以实现逼真的模拟。元宇宙游戏不仅局限于沉浸式游戏，还有一套虚拟资产的生态系统，用户的虚拟资产也具备一定的私密性、安全性。元宇宙将多种互联网技术融合起来，实现了 1+1>2 的效果，在游戏给予极大丰富度玩法过程中，也引发游戏中的一些框架上的危险和挑战。

2　元宇宙的关键技术

关于元宇宙概念的界定，学术界尚未有一个统一权威的定义。将云宇宙（Metaverse）一词进行拆文解字，可以得到两个基本词汇，meta 译为超越，可以引申为突破，而 verse 则代表浩瀚的宇宙，指当代人所认知的物理空间。也有人将其译为元界、元域，综合来看，元宇宙有突破认知局限、超越现实的含义。笔者认为，元宇宙融合了当代网络技术、图形技术、虚拟互动技术、区块链技术，构建了一个具有丰富生态链体系的虚拟空间，它集成了社会交往、游戏娱乐、商品交易等属性。元宇宙的初步实践离不开一些关键技术，一项优秀的元宇宙项目通常融合多种互联网技术。比如，元宇宙世界为允许数字产品的创作、发行和交易提供必要的数字商品交易平台，为了确保数字藏品的流通性及本身的交易价值，则需要借由非同质化代币（NFT）的实现方式。为了使保证数字藏品具有的唯一性和安全性，则需凭借区块链技术。虚拟现实等技术按照一定的规则将沉浸式虚拟场景与实体世界整合起来提供高度的视听体验。传感器则提供同步的触觉体验，数字孪生给玩家提供了分身在场的体验。机器学习及人工智能算法则会将元宇宙游戏中的游戏对象引导进入更为智能的方向，元宇宙是 UGC（用户生产内容）思想的延伸，用户既是数字内容的创作者，也是流量的扩充者和受益者，用户源源不断将原创内容发布到元宇宙平台进行交易，促使商品流通，从中获取个人价值和经济效益。换言之，元宇宙能融合一些关键技术使玩家与外界互动获得高度的沉浸感。

2.1　5G 通信技术

要在现实世界与元宇宙之间进行连接，高性能、可靠而安全的信息传输网络是必不可少的。而 5G 移动通信技术是目前覆盖范围最广，技术变革最先进的无线通信网络，在传输速率、移动性、时延和可靠性等都达到了及其优秀的表现，具体来说，国际电信联盟（ITU）定义的 5G 所具备的八大关键能力展示为下[4]：

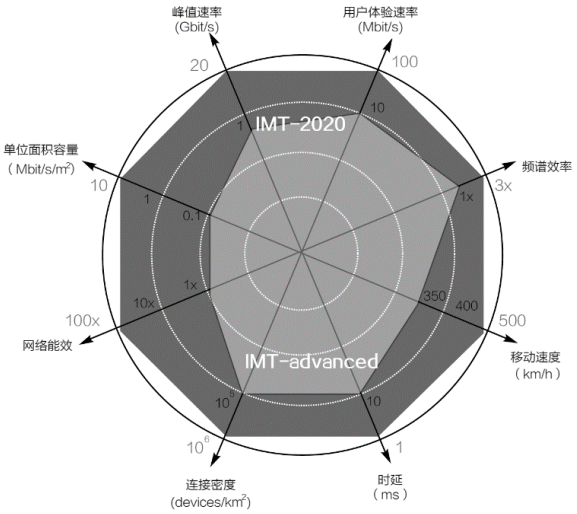


图 1 从 IMT-Advanced 到 IMT-2020 的网络能力提升

从图 1 可以看到：峰值速率，即可达的最大用户数据速率，20Gbit/s 以上；100~1000Mbit/s 的用户体验速率；1ms 以内的无线时延，即数据包在空中接口 MAC 层，由信源到达信宿经历的时间；满足大于 500km/h 的移动速度下的 QoS；连接密度达到 1km2 内百万连接设备数量；网络能效达到要求每瓦特传输 100Mbits 的数据；单位面积容量达到要求 10Mbit/s/m^2以上。

对于元宇宙，网络需要将现实世界的信息传递给虚拟世界，依赖各类感知技术的快速，例如激光雷达，超高清摄像头、触觉感应手套，体三维等捕捉设备，并且要把虚拟世界展现给现实世界，需要 VR、增强现实（AR）、混合现实（MR）、全息投影等现代显示技术与设备。相关应用对于网络的传输要求无疑是非常高的，在表中 1，我们列举了 VR、AR、MR 等扩展现实（XR）技术对网络的传输带宽、端到端延时、可靠性等方面的具体要求[5]。为了满足相应的网络指标，5G 网络中采用了各种相应的技术，包括针对增强型移动宽带场景的技术、针对超可靠低延时场景的技术、边缘计算技术、网络切片技术等等。

表 1 不同扩展现实技术对网络的指标要求

技术类型	VR	AR	MR
视频分辨率	4K-8K（全景）	2K-4K	2K-4K
3D 内容分辨率	2K-4K	2K-4K	2K-4K
视场角	90-110 度	40 度	80 度
编码标准	H265	H265/H266	H265/H266
帧率	30（视频） 50-90（强交互）	50-90	50-90
码率要求	≥40Mbps	≥20Mbps	≥20Mbps
RTT 延时要求	≤20ms	≤15ms	≤15ms
丢包率要求	$\leq 9\times10^{-5}$（视频） $\leq 10^{-5}$（强交互）	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-5}$

2.1.1 增强型移动宽带

增强型移动宽带（eMBB）是 5G 系统的 3 大应用场景之一。它专注于最终用户数据的高速传输和系统容量，引入了两项主要的技术改进来满足这些要求：频谱向 sub6GHz 和毫米波范围的转移，以实现更高的带宽分配。首先，虽然高频段的电磁波在覆盖与阴影效应等方面受到了一些限制，但其带来的大带宽无疑为高速的数据传播带来所需的频带资源。其次，先进的天线阵列，利用包括数十甚至数百个发射与接收天线元件，以实现大规模多入多出 （MIMO）和波束成形，通过大量天线来增加蜂窝覆盖范围和容量。尽管在移动设备中监控天线存在限制，但 5G 基站中使用多达 256 个天线元件，智能波束成形和波束跟踪奠定了基础。

2.1.2 超可靠低延时

与单纯 5G eMBB 相比，XR 应用对延时要求也很高，对可靠性的要求也很高。通常，沉浸式视觉影像需要在 20 毫秒（理想情况下应低于 10 毫秒）内投影，以避免晕动发生。而对于 AR 来说，延迟要低于 30 毫秒，才能确保单人体验时，虚拟对象能够锚定在环境中。为确保 XR 应用在 5G 网络上良好运行，针对超可靠低延时场景的相关技术也要适当被运用于该应用的服务中。

为了实现超低延迟传输，5G 技术可以使用免授权上行接入。从而基站可以为上行链路传输预留容量。用户设备无需等待调度请求和授予访问权限，这大大减少了端到端延迟。对于下行数据，可以从其他网络切片分配资源，以这种抢占模式来优先保证传输的延时与可靠性。在 3GPP 的 Rel-17 中支持未授权频谱的使用，以保证时延与可靠性，且定义了混合自动重复请求确认（HARQ-ACK）增强、CSI 增强、UE 内复用、时间同步增强等相关技术来提升传输性能。

2.1.3 5G 边缘计算

边缘计算是在靠近终端的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用等核心能力的开放平台，就近提供边缘智能服务。5G 网络将边缘计算服务器（MEC）部署在网络各个相应的位置上，通过将 MEC 与网元功能相互协同，为垂直应用提供网络边缘计算能力，适用于对时延、带宽要求特别高的业务场景。

将现实世界和用户的动作与数字世界结合并同步需要大量的图形渲染过程。边缘云的支持对于扩展 XR 至关重要，有了边缘云的支持，终端设备把控制任务和计算任务从设备转移到边缘服务器，边缘服务器能够实时渲染图形，然后把数据回传到头戴设备上，设备重量轻便且价格合理，激发用户的需求。根据边缘云 XR 处理的速率要求，区分了 XR 任务处理转移的低、中、高三种情况[6]：

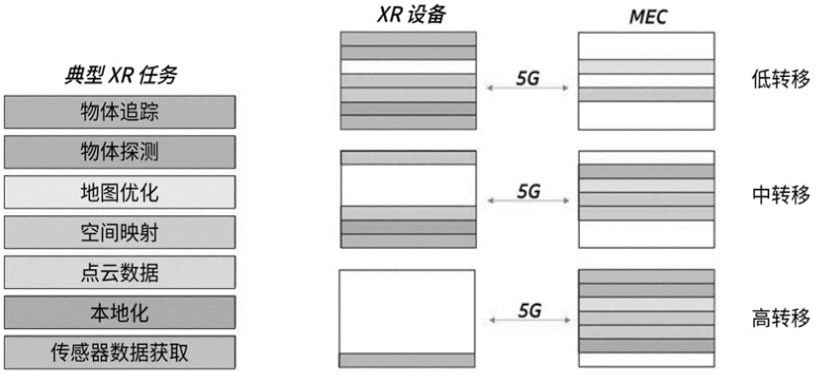


图 2 典型 AR 计算任务执行时，AR 设备和边缘云之间的低、中、高任务转移场景的图示

在低转移中，大部分的处理都在设备上完成，随着部分点云和空间地图的构建，点云通过多媒体处理被压缩并通过 5G 网络传输到边缘，在边缘创建上传的空间地图数据并将其合并到现有的全球空间地图数据中。在中转移场景下，定位和对象跟踪功能在设备上执行。关键图像帧使用视频编解码器压缩并发送到网络边缘以生成空间地图和点云数据集，并执行目标检测，覆盖渲染也发生在网络边缘。在高转移场景下，只有传感器数据通过上行链路发送，其他计算相关工作全部转移至边缘端。

2.1.4 网络切片技术

网络切片是在同一个物理网络基础设施上实现不同的虚拟化、独立的逻辑网络，以满足多样化的业务需求的架构。每个切片本质上都充当自己的网络，具有自己的配置、安全性和服务质量要求。一个切片看起来像一个独立的网络，包括核心网络和 RAN。这使得一个网络切片可以提

供低安全性、低带宽的服务（例如 mMTC），而另一个切片可以提供高安全性、高可靠性的服务（例如 URLLC）。网络切片是满足 5G 多样化需求的关键，是实现各类 XR 技术与其他具有不同网络服务需求的应用无缝集成的必要解决方案。

2.3 区块链

2.3.1 区块链技术概述

区块链技术，顾名思义，是将一个个互相独立的、依照时间顺序区块整合到一条完整的链上，利用密码学技术方法以及分布式记录算法形成的一个稳定不可修改的链式结构。区块链技术拥有良好的回溯特性是因为其分布式特性，即链上的各个区块都可以由任何组织或个人通过互联网上设备终端进行访问，因而具有良好的去中心化的性质，加之具有优秀的数据安全特性，与 NFT 完美契合，因而被元宇宙行业推广应用到数字产品加密领域，同样也保证了 NFT 独一无二的特性。区块链的架构由六层结构组成，分别为数据层、网络层、共识层、激励层、合约层和应用层等。

2.3.2 区块链技术对元宇宙发展的影响

区块链在构建元宇宙经济体系中占据至关重要的一环，融合智能合约、以太坊所包含的相关协议和技术，给元宇宙数字资产提供稳定可靠的交易场所同时，还保证了数字资产的安全性。不光如此区块链技术致力于推进了元宇宙游戏行业对数字资产交易的产业变革，传统的游戏道具，往往是 B2C，现如今可以利用区块链分布式特性，实现 C2C 的经营模式，从用户个性化创作到产品交易，大大减少了时间上的浪费，加速了交易的速度的同时也极大增加了玩家的自由度。这也正是元宇宙中去中心化思想的体现，同时也植入了去中心化的思想，避免平台主创主观介入导致用户游戏体验下降，减少因任何公司的强行干预而伤害到玩家的游戏体验。

2.4 NFT

NFT 的全写为 Non-Fungible Token，在国内主要被翻译为非同质化代币。与之相对的概念为 FT（Non-Fungible Token），译为同质化代币，从狭义的角度，同质化货币以传统的流通货币和一些金融代币如比特币为主，而 NFT 则是一些被赋予资产属性的数字产品。NFT 从诞生之日起便提供了一套数字合约体系，每一份数字产品铸造完成之后被给予独一无二的、不能更改的产品身份信息，即 NFT ID，因而不可分割性、唯一性是 NFT 最为显著的特征。因为其固有的稀缺属性，以数字产品为替身的 NFT 便在公众视野里赋予了资产属性、商品属性，借助区块链技术、智能合约、以太坊等技术，NFT 得以在虚拟商品交易平台上得以流通。

2.5 扩展现实终端设备

玩家与元宇宙交互，必须得借助一定设备。XR 由 VR、AR、MR 共同组成。伴随着 5G、计算及图形学、显卡设备等技术的更新和迭代，虚拟现实互动技术被广泛应用于各类场景中，比如技术服务、虚拟偶像、群体互动等领域。其中，技术服务是指用户可以从虚拟咨询人员获取个性化的技术支持和咨询服务，此项技术依托于元宇宙技术中涵盖的人工智能（AI）与自然语言处理算法，将人类语言转换为机器可读语言，经过语义分析和 AI 处理，再将信息以可读的形式传递给用户。虚拟偶像则是明星、主播借助数字孪生技术使用自己的虚拟分身，实现同步的现场直播。群体互动则是用户通过 VR 设备使用自己的数字分身在线上与其他用户进行交互，比如线上会议、观看电影、收听音乐专辑等。咪咕公司则正是在北京冬奥会时期，以元宇宙技术为中心，借助超高清 4320P 分辨率三维成像技术制作了谷爱凌的虚拟角色，运用人脸关键点特征提取和检测算法对人脸动作进行实时扫描，并将人脸表情、动作进行真实感模拟再现，实现人物与虚拟角色脸部表情动画的同步，在 XR 技术的支持下，成功打造了虚拟冰雪大使 Meet Gu。[7]XR 技术和 AI 技术整合的过程中，可以构建一条完整反馈机制的生态，从 XR 设备的输入输出，到内核机器学习与 AI 算法则将语言进行处理加工输出，可以让元宇宙中的 NPC 从表情动作到语言更加智能化，极大增强了用户的沉浸感和便捷性。元宇宙中的 XR 技术

一方面为用户提供强大的视听体验，另一方面打破现实空间上的隔阂，增强人们生活的便捷性，是无论何地的人们都能共享一场视听盛宴。

3　元宇宙视角下游戏领域内的主要应用

毫无疑问，游戏领域为元宇宙早期迭代的方向，元宇宙的“雏形”是游戏，元宇宙游戏被赋予了更丰富的价值体系和美好愿景。当前元宇宙的最具标志性的应用主要涵盖在以下两个类型：一是依托元宇宙独特的经济体系，为数字资产的交易提供平台；二是元宇宙是一个可以社交和游戏空间有多样化的公共空间特征[10]。

3.1 在区块链游戏中的应用

NFT 游戏，也称作链游，是基于区块链技术的，将数字藏品交易、藏品游戏、线下实体赋能等玩法集成在一起，最近在经济市场中登上了热潮。NFT 游戏能如此火爆，离不开技术的支持，NFT 技术和协议将虚拟的数字资产与 NFT 进行绑定，区块链技术则确保 NFT 独一无二、可追溯的特性，既保证了 NFT 的交易价值，又能促使其在市场中稳定、安全的框架内进行交易。NFT 游戏最大的特点就是利用数字藏品的稀缺性在交易平台流通，玩家从看好某一产品再到获取、转售，从而得到经济效益。平台则从数字艺术作品首发和交易中获取高额的版权费、交易税费甚至提现费。

以国外第一代的 NFT 链游产品——加密猫游戏为例，使用了初代 NFT 协议以太坊 ERC721 保证 NFT 产品交易顺利进行，它是一款猫咪养成类游戏，所谓养成，在游戏一开始，平台创作并发布了大量猫咪画像，同时赋予猫咪 ID 编号和数字的“基因序列”，玩家购买这些猫咪，进行消耗一定时间的线上虚拟培育，产生新的虚拟猫咪，虚拟猫咪由于基因编号则表现出不同颜色和样式，有的培育结果甚至可以出现稀有度较高的猫，然后将培育后的虚拟猫咪放在平台上出售，从而获得收益。NFT 游戏积极的意义在于能够促进数字经济的繁荣，从各大头部互联网公司纷纷出台自己的 NFT 产品看。尽管如此，由 NFT 衍生的玩法和交易过程仍暴露大量的问题。NFT 市场乱象丛生。首先，从数字藏品制作的源头可以看到，“万物皆可 NFT”，一项本身收藏价值有限的数字资源，却在平台宣传下都能被赋予很高的交易价值。其次，很多 NFT 产品并没有上链，NFT 的唯一性难以保证，平台对 NFT 的可操作性极大，平台在用户协议中掺杂了很多保护平台的条款，促使用户出现个人权益受侵害之后很难维权的情况。

3.2 在 VR 全景游戏中的应用

现阶段在游戏领域，最受玩家追捧的无疑是那些 3A 大作，所谓的 3A 是指投资体量、画质音效及游戏可玩性，世界观方面都表现高水准。在游戏作品中，游戏中身临其境的沉浸感，构建完整的游戏生态链，与现实世界交相呼应。元宇宙无疑在重塑这个场景，升级到宏伟的生态中。

玩家从游戏中获得体验集中于游戏可玩性和社交属性，游戏可玩性来源于一种激励机制，是玩家在游戏过程中获得延迟满足，让玩家与游戏内容交互时获得更强烈的游戏体验。而社交属性则是讲，人是一切社会关系的总和，玩家需要群体中获得正向积极的反馈。早期的游戏由于网络技术的限制，较为重视游戏的逻辑性，而如今热门受欢迎的游戏必然是兼具游戏逻辑性和社交属性的统一体。

美国著名的游戏开发公司 Roblox 开发了一款同名的元宇宙游戏 Roblox，这是一款沙盒益智类闯关解谜游戏，面向青少年群体，玩家利用 VR 头显设备在虚拟场景里进行完成角色扮演、枪械射击、竞速等游戏内容。游戏的地形及场景布置允许用户自己设计。Roblox 提出了元宇宙的八个关键特征：即身份特性、交友特性、沉浸式、低时迟、多元化、任何地方、经济体系、文明。[11]其理念的前瞻性和策划的创新性的元宇宙游戏 Roblox 中得以体现，首先，玩家使用 VR 设备操控自己特定的数字身份，数字身份则是一种符合自己主观意愿的个性化表达，在游戏里与其他玩家协同作战，体现了元宇宙的身份、朋友、沉浸感特性。其次，低延迟技术则体现在平台将一些单机资源下放到边缘的客户端进行使用，而当多人协同作战时则可调用中央服务器，这样既减少了处理时

延又降低了中央服务器的负载。最后经济特性和文明特性则体现在平台关于虚拟场景的制作引入了 UGC（用户生成内容）的思想，激发了玩家的创作热情和游戏的归属感，开发了自身独创代币体系 Robux，用于平台增值服务的购买，与其他游戏不同的是，Robux 被给予更强大的流通性，与传统货币相互兑换，让创作获取即时的回报和奖励。

4　结论与展望

技术的革新必然驱动生活的改变，元宇宙技术的引入，促使游戏构建出一条完整的、与现实世界交相呼应游戏生态链，然而仍有一些技术和挑战我们仍需应对和克服。首先，要实现更具真实感的画质依赖于图形学技术和显示设备的发展，要更全面的、具有高度沉浸感虚拟感知的人机交互，则在于更充分发展 XR 和 AI 技术以及未来成为趋势的脑机接口。NFT 游戏能够提振数字经济，给市场带来更大流通性和活力，但市场乱象丛生，缺乏引导，期待未来能有更多的规则和政策以监管 NFT 市场，推进 NFT 游戏能在合理的框架内有条不紊的进行。

参考文献

[1]科幻世界杂志社科幻小说之《雪崩》[EB/OL].（2017-06-27）[2021-11-20]. https：//www.cdstm.cn/theme/khsj/khzx/khcb/201707/t20170703_524447.html.

[2]朱嘉明. “元宇宙”和“后人类社会”[N]. 经济观察报，2021-06-21（033）.

[3]澎湃新闻.Facebook“脸”不都要了，直接改名元宇宙：满仓虚拟现实[EB/OL].（2021-07-29）[2021-11-20]. https：//www.thepaper.cn/newsDetail_forward_15127845.

[4]"ITU towards IMT for 2020 and beyond". ITU. Retrieved 2021-08-17.

[5]5G 云 XR 应用白皮书，中兴通讯，2019.

[6]Alriksson F, Kang D H, Phillips C, et al. XR and 5G：Extended reality at scale with time-critical communication[J]. Ericsson Technology Review, 2021. https：//www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/xr-and-5g-extended-reality-at-scale-with-time-critical-communication

[7]Cascarilla C G. Bitcoin, blockchain, and the future of financial transactions[C]//CFA Institute Conference Proceedings Quarterly. 2015, 32（3）：18-24.

[8]Burton N, Schlieman T. User Response to Extended Reality Sponsorship Activations on Social Media：Exploring Impressions of GoPro’s Use of 360° Video in Marketing[J]. Journal of Interactive Advertising, 2021, 21（2）：93-107.

[9]罗志平,毕蕾.面向元宇宙的 XR 技术——咪咕冬奥前沿应用解密[J].视听界,2022（03）：27-31.

[10]张洪忠,斗维红,任吴炯.元宇宙：具身传播的场景想象[J].新闻界,2022（01）：76-84.

[11]澎湃新闻.爆红的 Roblox 罗布乐思，带领孩子们走进“元宇宙” [EB/OL].（2021-04-23）[2021-12-10]. https：//www.thepaper.cn/newsDetail_forward_12349573.

基于元宇宙的大数据商业与管治模式分析

黄晓强　朱惠斌

摘　要：大数据是元宇宙发展的技术支撑，针对当前大数据研究重视规划愿景领域的现状，对大数据的商业营收模式与政府管治体系进行研究，从发展任务、技术类型、赋能测算 3 个方面对大数据总体战略进行述评，从管道仓库型、基础平台型、高级应用型 3 个方面对大数据商业模式进行研究，从立体政策体系、基础传感体系和安全隔离体系 3 个方面对大数据政府管治模式进行研究。研究结果表明大数据战略不直接生产产品和产出服务，但其作为重要支撑产业能为其他行业产生赋能作用，通过对其商业模式和管治体系的充分挖掘，有助于探索适于我国的大数据产业发展模式。

关键词：元宇宙；商业模式；政府管治

中图分类号：TN91文章识别码：A文章编号：

1 引言

数据已被国家列为主要生产要素，充分运用大数据技术发展产业已成为国际上主要国家的重点战略，也是元宇宙发展的底层技术支撑。我国于 2015 年起陆续发布大数据相关国家指导意见，并逐步设立国家大数据综合试验区（如 2016 年设立的贵州、河南等），将大数据技术作为区域发展的重要推动力，持续总结可推广、可复制、可借鉴的实践经验。经历政府、企业等多层面共同探索，我国已形成具有自身特色的大数据产业发展模式。大数据发展包含多个维度和多个层面信息，但主要内容为商业模式和政府管治两个方面。其中，商业模式为大数据产业提供营收来源、研发基础和潜在收益；政府管治为大数据产业提供服务引导、硬件设备等发展基础，为大数据产业提供方向和路径。

大数据产业发展过程中普遍面临的问题包括以下两个方面：（1）大数据企业总体规模不大、数量不多，未能形成产业合力和集群；（2）大数据的实际价值认知和产业融合远未达到规划预期。大数据产业发展包括基础感知层、数据传输层、数据存储层、数据平台层、数据融合层和数据应用层等多个方面，涉及的范围广、内容多。但与传统基础设施不同，大数据相应基础设施赋能产业效果显著，但成本折旧快且能耗大。如果未能有效推动产业发展，易为地方政府带来沉重的经济成本负担，无法发挥大数据的真实作用。通过对国内外大数据战略评述，研究提出大数据主要商业模式和政府管治体系，从经济和管理两个角度助力大数据产业持续发展。

2 大数据总体战略评述

2.1 发展任务

因大数据处理速度快、存储体量大、相互关联多、数据维度广，国内外大数据战略主要围绕数据要素作为生产资源禀赋的作用，从数据资源管理与共享开放、基础设施整合、数据资源应用、数据要素流通、大数据产业集聚、大数据国际合作、大数据制度创新等方面引领产业发展、辐射带动

作者简介：

黄晓强（1987—），男，高级工程师，现就职于福建省邮电规划设计院有限公司，主要从事通信城域传送网的规划咨询设计及服务工作。；

朱惠斌（1987-），男，博士，现就职于中国移动通信集团广东有限公司深圳分公司，主要从事网络建设方面工作。

周边地区。在实际发展过程中，因大数据产业涉及的专业多、产业链广，因此在选择大数据产业相应企业时，普遍根据所在地资源禀赋予以安排和配置。部分地区以数据资源管理为主，部分地区以提供信息基础设施为主，部分地区以强化数据交易模式为主。各种类型的发展任务并存，形成大数据发展的错位发展模式。

2.2 技术类型

数据基础处理技术的主要处理方法包括集中式云计算处理架构和分布式雾计算处理架构。目前发展趋势逐步由云计算向雾计算转型，已形成成熟的计算框架。数据存储管理技术的主要处理方法包括基础数据存储、多元数据集成、复合数据建模。目前发展趋势逐步由简单存储向分类存储转型，已形成便捷的分类模式。数据分析处理技术的主要处理方法包括人工智能深度学习、多维度统计分析和可视化渲染技术等。目前发展趋势逐步由基础统计向人工智能转型。

根据具体需求的时效性差异，数据可分为普通型处理需求和即时型处理需求。普通型处理需求普遍采取数据存储管理技术积累任务量，当任务量积累到一定数量或按照应用周期进行处理和反馈、即时型处理需求普遍不调用系统存储功能，以缓存和实时数据处理模式迅速处理和解决，但综合数据处理成本较高。在实际大数据处理过程中，数据分析可分解为普通型和即时型处理需求并进行分步处理，并非单一化和绝对化的处理模式。

2.3 赋能测算

常规产业产值预估普遍使用直接核算法和间接核算法两种。直接核算法采取营收值与成本值间的差距，根据不同类型行业进行设定。间接核算法按照各种类型投入要素在营收中的贡献比例，根据营收的成本情况进行产出测算。因大数据战略主要的作用不在于直接生产产品和服务，而是通过赋能和融合为其他产业发展提供助力。因此，在对大数据战略的赋能测算中，主要采取间接核算法，但需计算涉及大数据的所有产业。目前采取的赋能测算模式，首先确定大数据影响行业和影响企业清单，建立各类企业定期调研体系，对产业贡献比例制订和定期更新提供数据基础；其次分层级建立数据模型，跟踪大数据涉及的各产业环节；最后将各产业和企业数据导入赋能模型并导出结果。因主要采取的比例测算法，因此比例系数需经过不同企业的时间序列予以测算。

3 大数据商业营收模式

3.1 管道仓库型

大数据技术的基础价值是作为数据存储仓库，为数据分类存储和调度提供支撑。管道仓库型的商业模式较简单，主要计费模式包括两个方面：（1）数据分类储存计费：以数据容量、安全性要求、分类需求作为主要计费依据。数据容量大小涉及占用存储服务器空间，数据安全性要求涉及占用存储服务器等级，数据分类需求涉及数据需占用存储服务器的类型与个数。在综合考虑以上三个因素的基础下，对数据分类储存进行计费，计费可采取储存一次收费，后续根据时间维度进行维护收费的模式，发挥大数据技术的仓库价值；（2）数据分类调度计费：以调度容量、调度次数和调度时效性作为主要计费依据。在综合考虑调度时间要求对大数据算力影响的基础下（对不同紧急等级业务调整收费系数标准），以调度容量和调度次数分别制订分级收费标准，制订结合三个变量为基础的收费方式，发挥大数据技术的管道价值。

3.2 基础平台型

大数据的第二层级作用是作为基础平台型，为用户提供硬件资源、存储资源、网络资源和虚拟资源，即基础设施即服务（Infrastructure as a Service，以下简称：IaaS）模式。目前互联网企业提供的多样化 IaaS 服务（如谷歌云平台、阿里飞天系统等）普遍重视算法优化、服务界面友好化和可视化，已经形成多个具有广阔市场前景和丰富市场价值的产品。但互联网企业提供的多样化 IaaS 在数据基础层面却一直难以补强，这是源于互联网企业不具备大规模低成本的数据基础来源，需从市场购买相应数据，数据的真实性难以保障，数据的成本性难以控制。因此互联网企业普遍采取回避数据基础的模式以提供基础平台型服务。大数据技术具有的天然优势是数据优势，其数据种类全、涉及各个行业领域，便于多领域、多行业数据间交互调度。因大数据技术目前仍在探索管道仓库型商业价值的实现，并未将资源投入服务

器、存储和网络等基础平台型商业价值的探索过程中。

3.3 高级应用型

大数据的第三层级作用是作为高级平台型，为用户提供各类应用，即平台即服务（Platform as a Service，以下简称：PaaS）模式。与拿来即可直接使用的软件即服务（Software as a Service，以下简称：SaaS）不同，目前信息通信行业均在努力发展 PaaS 模式，通过网络平台构筑成为综合平台服务提供商和综合方案解决商。因为 PaaS 模式不仅需大量基础技术积累，而且需准确的数据、算法等，用户不需关注业务底层，只需实现规模扩展。高级平台的商业模式是通过大量数据为基础，充分运用大数据基础进行底层处理和平台应用，在实际使用过程中，各类应用具备相应的使用价值，具体收费是以数据获取、数据分析、数据交易等大数据实践中应用程序接口（Application Programming Interface，以下简称：API）调配的频率和数量作为收费数量，形成具体收费价格，充分体现按需计费的收费模式。高级平台型模式通过建立总体安全体系，以确保使用人员的数据安全和数据隔离。

4 大数据政府管治体系

4.1 立体政策体系

大数据政府管治体系中最重要的环节是立体的政策体系。因目前国内大数据政府管理经验成熟、体系完善和效果显著的是贵州省，此部分以贵州省为例进行体系分析。贵州省人民政府于 2014 年印发《关于加快大数据产业发展应用若干政策的意见》、《贵州省大数据产业发展应用规划纲要（2014—2020 年）》的通知（黔府发〔2014〕5 号），成立贵州省大数据产业发展领导小组并由省长任组长，成立大数据产业专家咨询委员会、大数据标准化技术委员会和大数据发展管理局。经过探索后，贵州省政府于 2017 年起逐步发布《关于促进和规范健康医疗大数据应用发展的实施意见》（黔府办发〔2017〕24 号）、《关于印发贵州省发展农业大数据助推脱贫攻坚三年行动方案（2017—2019 年）的通知》（黔府办发〔2017〕51 号）、《关于促进大数据云计算人工智能创新发展加快建设数字贵州的意见》（黔府发〔2018〕14 号）、《关于印发贵州省推动大数据与工业深度融合发展工业互联网实施方案的通知》（黔府发〔2018〕24 号），逐步将大数据产业应用深入各相关领域。

其中，《关于加快大数据产业发展应用若干政策的意见》作为纲领文件，明确提出加快大数据基地建设、大力引进和培育大数据企业、创新机制培育市场、支持大数据科技创新、加快信息基础设施建设、建立大数据产业投融资体系、加强人才队伍建设和强化组织领导的全面政策，充分发挥贵州气候环境优良、地质结构稳定的生态优势，水煤资源丰富、电力价格低廉的能源优势，地理位置特殊、交通日趋便利的区位优势，西部重要增长极、内陆开放新高地的战略优势，遵循“基础构建、集群聚集、创新突破”的发展路径，逐步提升贵州大数据发展的优势。

贵州省的亮点在于以下几点：（1）将重心放置于数据中心集群建设、大数据应用服务园，形成全方位的产品和服务供应体系；（2）建设大数据管理平台、服务平台、交换平台和交易市场，推进各领域示范应用；（3）建立《贵州省信息基础设施条例》将信息基础设施规划纳入国土规划，确保可实施和靠操作性；（4）重视应用、数据、技术、安全，发展电子产品、应用软件和物联网应用，发展多个智慧云工程；（5）整体政府管治系统立体有效，有助于提升政府管理的效果。贵州省的立体政策体系为其他省和城市发展大数据产业提供了良好的政府管治模式，体现了产业发展从政府直接管治逐步向间接引导的转型。

4.2 基础传感体系

智慧城市是监测、分析和统筹城市系统的各项关键信息，而大数据技术是智慧城市达到目标的重要策略，智慧城市也是大数据产业发展未来的方向。大数据政府管治中，需建立信息协同共享模式，打通各系统间的数据互通融合。数据来源需结合政府、企业与市民的合力，建构基础传感体系（涉及电子信息和物联网等各领域）。其中，地理信息系统和遥感导航定位等技术为数据的准确定位，传感系统获取的数据上下行提供了重要的地理信息技术基础。在具体检测系统中，基础传感体系涵盖自然资源、生态环境、工业生产、城市运营等建设系统，其目标是建立实时监测、实时感知、实时预警和实时评估的体系。基础传感

体系还包含附属数据存储体系，通过存储介质实现数据的简单存储传输、挖掘分析和融合应用，相当于现代计算机中的缓存功能，为未来的数据分析、服务和交易创造前提条件。

因监测技术的逐步成熟，按监测对象分类，目前传感系统已形成以信息通信设备、摄像头及其他传感器为载体的地面监测系统，以装载传感器航空器（含无人机等）为主的低空监测系统，以导航、遥感卫星为基础的高空监测系统（传感器在地球大气层外监测），以水下传感器为主的水域监测系统和以低下传感器为主的低下监测系统。值得注意的是，低空监测以无人机摄影为主要方式，近年应用比重在逐步提升；高空监测信息要素多，占用空间大，且整合难度大，目前主要应用于土地应用领域，在其他领域实际应用中还在探索融合阶段。其他的监测系统已逐步成熟，目前处于整体体系完善阶段。按类型分类，目前传感系统已形成数据获取设备、智能监测终端、特征识别设备和智能生物终端等类型。

4.3 安全隔离体系

为保障大数据战略实施的安全性，对部分业务进行有效隔离，政府可采取多域多网体系，在保障大规模数据使用和分析需求的基础上实现安全隔离。政府、企业、学校等主体均具有内部信息交互和外部信息交互的需求，在传统数据处理过程中，主要采取内网和外网的处理模式，但这种模式主要体现于固定端网络连接，无法使用于移动端网络连接等其他方面应用。因此，在实际大数据政府管治体系中，主要采取防火墙体系进行信息安全隔离（含固定传输网络和移动传输网络），即实行以“公共网络”处理公开数据信息，以“私有网络”处理私有数据信息，保证“私有网络”与“公有网络”间的合理联通。

在实际应用的过程中，可采取新型边缘计算技术，对现有大数据相应信息进行分层处理，根据敏感度和分层情况确定处理层次和传输路径。对部分高敏感度信息进行本地化处理，对其他等级信息进行分层处理，以改变原有信息处理以中央处理（云计算架构）模式带来的信息处理量过多、传输信息量拥挤、信息安全隔离难度大灯特点，导致信息泄露的可能性大。大数据政府管治体系通过建立分层分级的安全隔离体系，适度建设微利的网间信息交互体系，有效提高信息处理的安全度。

5 小结与启示

大数据是以数据存储和分析为基础，将数据价值转化的过程，也是元宇宙发展的重要组成部分。国际层面各主要国家均制订针对国家实际资源禀赋的大数据战略，但目前主要战略多针对战略发展任务，规划建设大数据相关信息基础设施。但国外城市在具体执行的过程中，能持之以恒坚持执行大数据战略的区域或城市数量却较少。我国从 21 世纪初开始逐步重视大数据对经济发展的重要支撑作用，制订各项配套政策以支撑战略发展，并设立综合示范区等模式以推动大数据战略在省、城市层面的执行，形成以贵州、河南等省份为代表的大数据产业发展综合管理模式。

当前学术界对大数据的探讨仍主要集中于发展愿景和技术框架等层面，鲜有从商业营收模式和政府管治体系等层面进行大数据战略研究。本研究从国内外大数据战略的发展任务和技术类型出发，探讨大数据战略对其他产业的赋能测算模式，并分析形成管道仓库型、基础平台型和高级应用型等三种类型大数据商业营收模式，探讨立体政策体系、基础传感体系和安全隔离体系等政府管治体系对大数据产业发展和公共管理的推动作用，为其他区域或城市的大数据产业发展和政府管治提供重要的支撑作用。

参考文献：

[1]刘骏,章寅,袁剑锋.国家大数据综合试验区（贵州）存在的问题及成因研究[J].经济师,2022（02）：14-16.

[2]朱惠斌,温亮.城域无线通信基础设施体系及趋势探索[J].信息通信,2020（04）：266-268.

[3]周逵.虚拟空间生产和数字地域可供性：从电子游戏到元宇宙[J].福建师范大学学报（哲学社会科学版）,2022（02）：84-95+171.

[4]王文喜,周芳,万月亮,宁焕生.元宇宙技术综述[J].工程科学学报,2022,44（04）：744-756.

[5]肖超伟.城市元宇宙数字化转型前景[J].经济,2022（03）：77-79.

高速传输整合声音、影像、数据、电力传输之 Retimer IC 设计方案及绝缘树脂 ABF 封装应用于元宇宙

徐慧婕　徐茂修

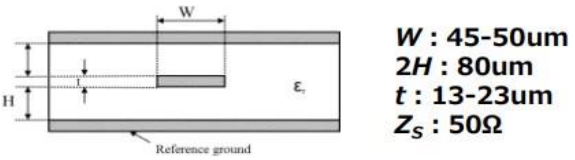
摘　要：随着对元宇宙高速传输的要求越来越高讯杂比、封装半导　体的基板是强烈要求降低传输损耗。我们设计 retimer IC 并使用的绝缘材料低介电损耗角正切，带状线基板的传输损耗。低介电成型薄膜热膨胀系数和低杨氏模量。来解决高速讯号抖动及眼图高及宽增大进而得到较好的讯号质量;进而利用高阶封装制程及改善材料特性及讯号完整度的讯号处理连续时间线性放大均衡器，适应性均衡器等解决高速传输路径上的损耗并加以还原原讯号质量。

1 简介

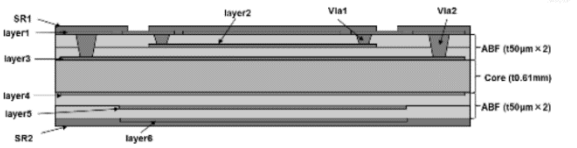
高速多层印刷线路等印刷电路板和柔性印刷线路板用于广泛各种电子设备。随着越来越多的需求小型化具有高功能的电子设备应用于高速元宇宙及　AR，VR，MR 等需求，封装基板在高速的半导体被强烈要求小型化与高 电路布线的密度。因此，绝缘材料还需要显示低热膨胀系 数（CTE），并表现出良好的薄层之间的绝缘可靠性。IC 封装所需之基板制造业使用绝缘积层膜的工艺包括贴合、绝缘 膜固化、激光成型过孔，并通过碱性高锰酸盐溶液去污处　理，以在绝缘层表面形成微锚。然后，进行化学镀铜作为厚 的种子层电解镀铜。该工艺提供了高剥离强度之间的通过 粗化绝缘层和镀铜层绝缘层表面。然而，这种锚定效应是 细线形成和高速信号传输的缺点。去除种子的蚀刻时间相对较长并快速蚀刻步骤中的锚定部件层使溶解明显细铜线。此外，高速传输的需要大量数字数据且随传输距离之接口 及长度均有极大损耗;如图一：高速传输通道损耗，从　CPU 至封装 8.5 dB 及接传输线 17 dB 及连接头 1dB 至连接板传 输线 5.3dB 至功能 IC 封装 4.2 dB 所以总传输路径共需要提供至少需要设计 36 dB 余裕。

传输线阻抗公式

$$Z_s = \frac{30\pi}{\sqrt{\varepsilon_r}}\left[\frac{(2H+t)}{(W+0.441(2H+t)}\right] \quad (1)$$

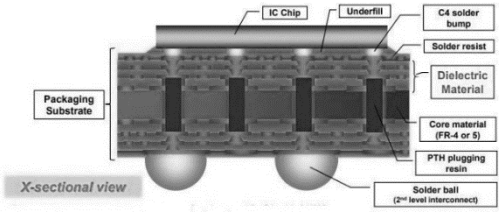


（a）传输线

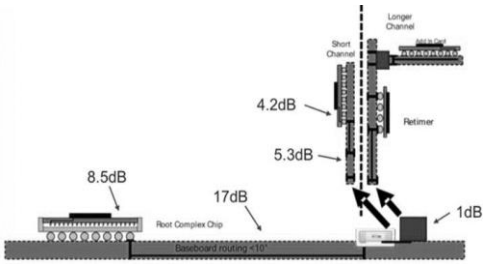


（b）封装图

作者简介：
徐慧婕：博士，台湾中国无线电协进会监事。
徐茂修：台湾无智大学化学工程系。



（c）高速应用封装迭构



（d）高速传输通道损耗

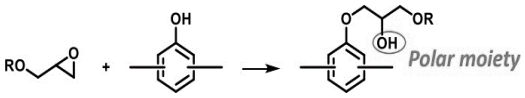
图一：　高速传输信道及接口封装

2 ABF 特性

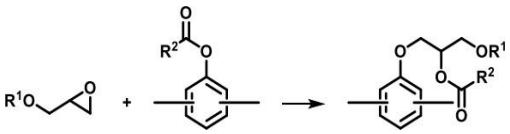
新的 ABF 薄铜转印膜使用的具体现像是获得了 ABF 与光滑纯品之间的高附着力通过溅射或真空蒸发沉积铜 [1-3]。这种铜转移膜实现了非常平坦的表面组合 ABF，预计可减少传输高频范围内的损耗。

$$\alpha d = 27.3 * (f / c) * \sqrt{\varepsilon r} * Df \quad (2)$$

αd：insulator loss, f：frequency（Hz）, c：speed of light（m/s）, εr：dielectric constant, Df：dielectric loss tangent这种铜转移膜实现了非常平坦的表面组合 ABF，预计可减少传输高频范围内的损耗[4]。环氧树脂的环氧官能基与酚醛树脂上的酚基反应生成高分子，但同时也会在侧链上生成极性官能基（OH），因此对于高分子（绝缘层）之电性Df（dielectric loss tangent）有影响，会升高至百分位 0.01 以上，无法满足 5G 及元宇宙需求，低讯号损失。需要开发反应后无极性官能基反应，如图二就是案例，尤其是传统 ABF 图二（a）。新的研究图二（b）反应环氧树脂与活性酯反应生成高分子，如图所示，无极性官能产生，只产生醚基与酯基，因此 Df 为最低，万分位 0.0044。减少传输损耗;CTE=20ppm, Tg=153 degC, Dielectric constant=3.3 @5.8 GHz, Loss tangent=0.0044

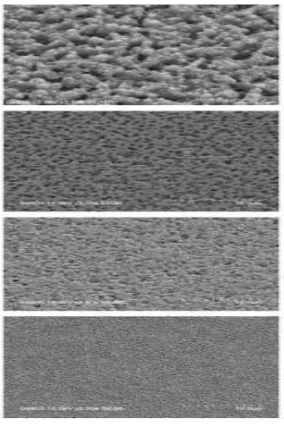


（a）生成极性官能基（OH）

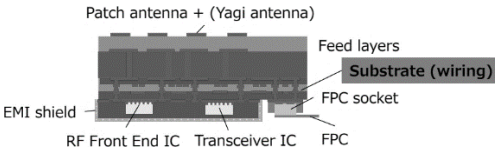


（b）无极性官能产生

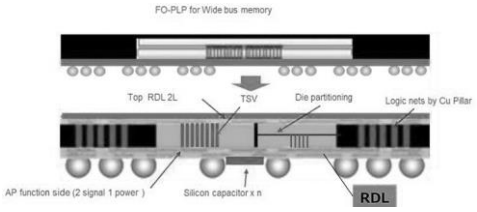
如图三所示改善后之无极性官能产生 SEM ABF 去污后之表面平滑度越来越好;即可使用于高速传输用于低介电损失之 ABF 及高密度及超薄结构之 ABF 封装如图四说明。



图三：　SEM images （x3,500） ABF 去污后之表面



（a）天线数组及高速高频封装



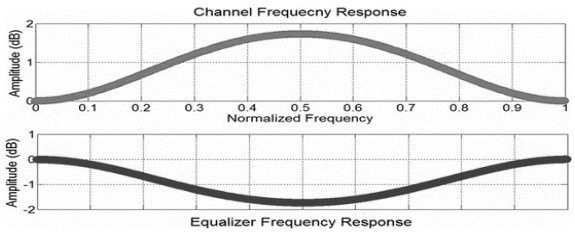
（b）CPU 及 GPU 封装

图四：ABF 及高密度及超薄结构之 ABF 封装图

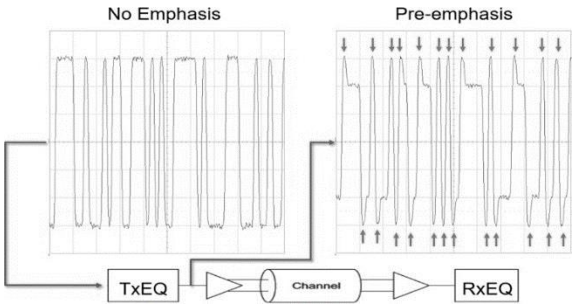
3 RETIMER

我们使用此高频特性结果设计 Retimer 并

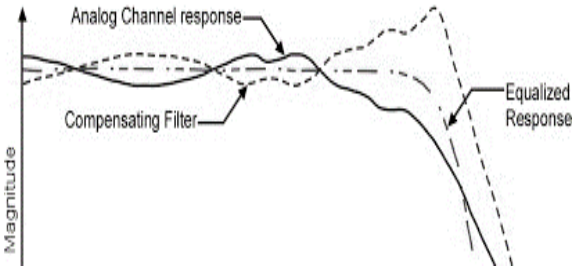
将其讯号重新处理;预加重和去加重技术解决高频损失，应用频率选择性高频讯号变化处提升或对发送边缘能量是通过创建一个每个边缘处都有过冲补偿。及补偿高速数据的高频讯号极速衰减包括一个高通滤波器如图五所说明，理想情况下具有与传输数据损耗完全相反的频率响应，均衡器补偿图如图五所说明：



（a）均衡器频率补偿图



（b）高频讯号增强补偿图



（c）传输数据损耗完全相反的频率响应，均衡器补偿图

图 5：说明均衡器设计

随着当今数据速率不断提高以及千兆位每秒（Gbps）串行I/O 互连的最新发展，串行器/解串器 （SERDES） 中已广泛采用许多先进的高速传输技术，以完全或部分补偿高频效应和损耗在一个频道中。传统的信号完整性（SI） 仿真工具可仿真一直到 IC 驱动器和接收器级的信号路径，并且难以在发送器和接收器端整合复杂的补偿算法。例如发射机抖动，正在成为决定整体系统性能的重要因素。由于仿真时间长，过去的设计人员只能使用传统的有限长度的伪随机位序列 （PRBS）。从有限长度的随机比特序列导出的眼图测量不一定能保证系统误码率 （BER） 性能，尤其是在 BER 较低时。用于准确建模高速串行链路以实现端到端性能。此处描述的设计流程方法可以在未来几年的千兆应用串行链路的设计和仿真中发挥重要作用。数字系统的 BER 性能定义为错误接收的比特数与总比特数之比传输的位数。 要使用蒙特卡罗分析预测 10−14 的 BER 性能，设计人员要么需要模拟非常长的比特序列，这对于传统 SPICE 模拟技术是不切实际的，要么他们可以使用统计眼图模拟技术，使用最小比特序列模式 准确预测低 BER 性能。

高速数字信道的统计眼图仿真是预测眼图和 BER 性能的一种更快的方法，具有合理的精度，并且无需模拟大量比特。统计眼图由彩色 BER 轮廓组成，其中每个轨迹代表特定 BER 性能的眼图。 浴缸图通过沿时序或幅度轴截取统计眼图，清楚地显示不同 BER 水平下的眼图宽度或眼图高度。为了获得可靠和准确的仿真结果，设计人员需要考虑整个端到端通道，包括 SERDES 内的相关组件。高级设计系统 （ADS） 环境处理瞬态仿真，并在串行链路的发送端和接收端处理具有复杂数字信号处理的 SERDES 模型。为了全面评估抖动对系统 BER 的影响，仿真器将统计处理与MATLAB 的协同仿真相结合。

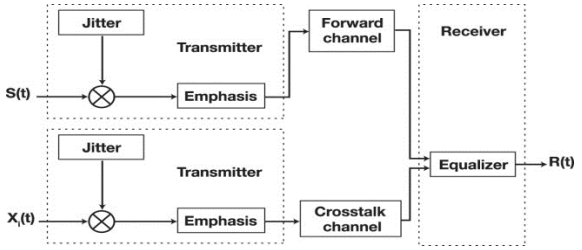


图 6： 显示了一个端到端直通通道，其中包括发送器抖动、发送预加重和接收器均衡器。

除了直通通道之外，高速互连还必须在统计模拟中包含串扰。串扰发射器在直通通道发射器处可能具有不同的幅度和加重设置，但它们在接

收器端共享相同的均衡器。在这里，芯片封装和交流电容属于无源通道类别，因此可以表示为一个完整的 S 参数模型。除随机抖动 （RJ） 外，大多数高速互连效应都可以在时域中进行仿真。RJ 是无界的，其分布符合高斯函数。 一个 RJ 峰峰值总是用 BER 表示，例如 0.1 UI（单位间隔）峰峰值 RJ 在 10−12。 为了得到随机抖动的峰峰值，瞬态仿真器需要非常大的比特样本，无法在时域进行模拟。在统计后处理中考虑 RJ 效应要容易得多如图 7。

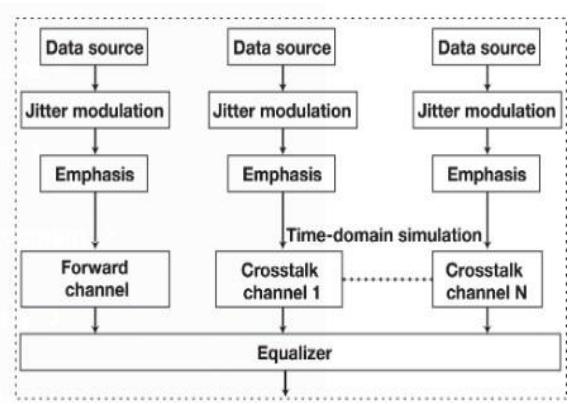


图 7：统计眼图仿真流程分为两个域：时域仿真和统计后处理

仿真器首先将抖动（确定性抖动，或 DJ）调制到数据源中， 然后在需要时将抖动的数据加强调制到数据源中。要包含SERDES I/O 的电气特性，此处需要 IBIS 或 Hspice 模型。如果是这样，我们可以在 IBIS 或 Hspice 模型中使用强调函数来代替强调过滤器。对于一些预仿真， 当我们没有 SERDES 模型或者还没有确定 SERDES 的类型时，我们需要自己构建边缘过滤器和强调模型。仿真器可以将强调的 数据传递给信道模型；然后仿真器执行卷积计算和输出通 道响应。如果需要，均衡器可以补偿严重失真的信号。同 时，串扰也会流经均衡器。统计后处理通过信道响应和串 扰信道响应进行概率密度函数计算。从直通响应和串扰响 应计算的条件概率密度函数 （PDF） 与随机抖动分布特征相结合，得出整体概率密度函数。仿真器将整体概率密度函 数转换为 BER，并用整体 PDF 数据绘制统计眼图和浴缸图。抖动可分为两个主要子分量，DJ 和 RJ [5]。在源头上，DJ 主要由占空比失真 （DCD） 和周期抖动 （PJ） 组成 Duty Cycle Distortion （ DCD） and Periodic Jitter （PJ）。

DJ=DCD+RJ　　（3）

两个函数之和可以表示 DCD 引起的抖动，[6]：

$$DCD = 0.5 * [\delta(x - W/2) + \delta(x + W/2)]$$

（4）

具有不同相位和幅度的余弦函数的总和为 PJ 提供了一个模型。

统计后处理通过信道响应和串扰信道响应进行概率密度函数计算。从直通响应和串扰响应计算的条件概率密度函数（PDF）与随机抖动分布特征相结合，得出整体概率密度函数。仿真器将整体概率密度函数转换为 BER，并用整体 PDF 数据绘制统计眼图和浴缸图如图 8。

$$PJ_{total}(t) = \sum_{i=0}^{N} A_i \cos(\omega_i t + \theta_i)$$

（5）

其中 PJ total（t） 是总周期抖动，N 是余弦分量（音调）的数量，Ai 是相应的幅度，i 是相应的角频率，t 是时间，i 是相应的相位。

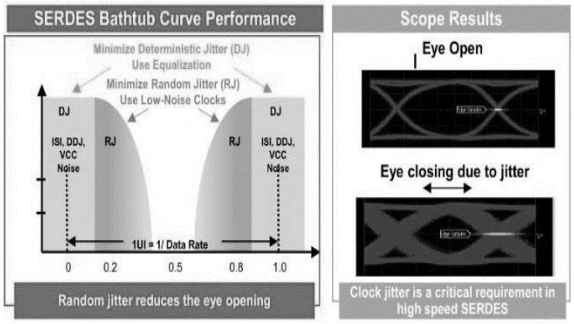


图 8：整体 PDF 数据绘制统计眼图和浴缸图

线性前馈均衡器 （FFE），一种离散且有限的 FIR 滤波器。

FFE 通常每比特只有一个系数 one tap per bit，并且不足以完全纠正信道符号间干扰 （ISI） 效应。FFE 通常会增强信号的高频分量以补偿通道损耗，但它可能会导致噪声增益问题。

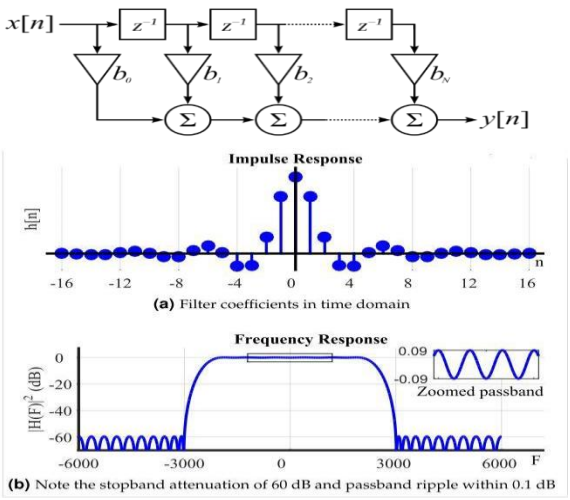


图 9：线性前馈均衡器 （FFE），一种离散且有限的 FIR 滤波器

DFE 使用从 SLICE 的输出译码的所需信号的反馈回路。

DFE 进一步修正了残留的 ISI 如图 10。

CTLE 设计极点 Pole 及零点 Zero; 获取表示连续时间线性均衡器或 CTLE 频率响应的传递函数数据，并将其转换为增益零极点或 GPZ 矩阵，该矩阵可在 SerDes Toolbox™ CTLE 模块中用于统计分析和时间域模拟。图 11：说明CTLE 滤波器设计结果及特性。

在 SerDes Toolbox 中创建准确的行为模型，该模型足够准确地再现 CTLE 的行为，IBIS-AMI 模型将预测信道仿真器中的行为。SerDes Toolbox CTLE 是通过 GPZ 矩阵配置的， 因此需要一种从传递函数信息中提取极点和零点的方法。用于将传递函数拟合到数据。有理函数使用非迭代插值算法来构造拟合。结果是一个合理的对象，它在构造上是稳定的和因果的。图 12： FFE, CTLE, DFE 眼图变化及输出的结果。

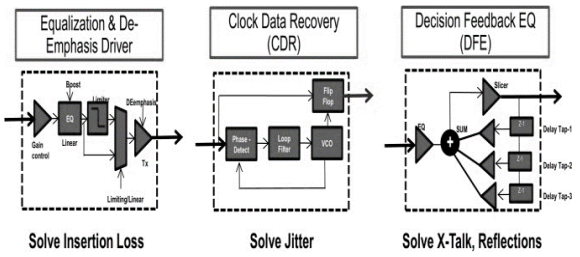


图 10： DFE 一种离散且有限的 FIR 滤波器

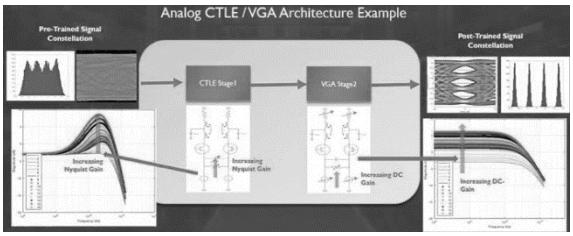


图 11： CTLE 滤波器

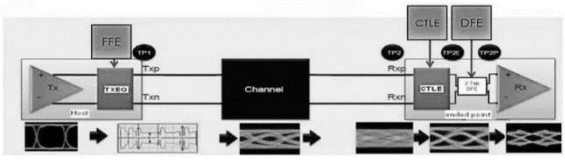


图 12： FFE, CTLE, DFE 眼图变化

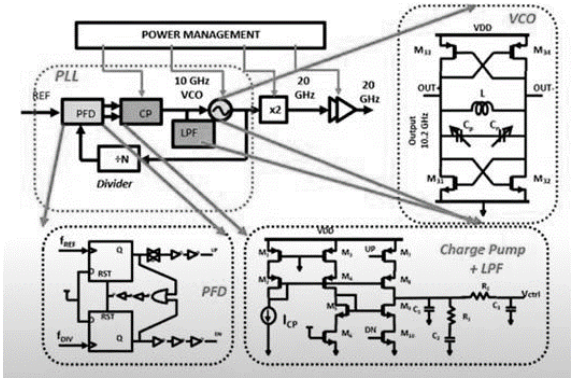


图 13： CDR

发射及接收的相位控制是由 CDR 来还原及控制

4 DSP 优势及调变结果

本架构使用 DSP 电路输出的数据被传递到接收器（RX）接口， 并最终由该接口将数据送出 PHY。图. 14 利用 DSP RX FIR multi-taps 将反射无法的电路匹配及扰动尽可能利用数字方式得到完美滤波器并可以选择在接收器的输出端完成前向 纠错（Forward Error Correction，FEC），以改善接收数据的位错误率（BER）。FEC 透过发送冗余信息的方式实现纠错。它传输数据的速度略快于所需的数据，因此冗余信息可以 被传送而不影响速率。透过检查接收讯号中的冗余信息，FEC 可以确定传输是否发生了错误。

不归零（Non-return-to-zero，NRZ）信令一直以来都是 28Gbps 速率数据传输的首选和标准化

编码方案。它根据电压位准，以逻辑 1 或逻辑 0 表示讯号数据，一次一个地串行发送数据位。然而，伴随着更高串行数据速率时代的来临，四级脉冲调幅（pulse amplitude modulation），即 PAM-4 出现并已经成为必然趋势。112Gbps 数据传输的奈奎斯特损耗（Nyquist loss）。图. 15 利用及比较不同的调变方式增快速率，透过 DSP，可以很容易地消除接收器中的前体（precursor） FFE。例如，如果需要增加分接头（taps）的数量，则加大接收器的复杂性及其 DSP，这意味着数字功率随着分接头的数量线性增加。

另外，CTLE 传统上是一种高度敏感的模拟电路。而 DSP是数字的，具有额外的加法器、累加器和乘法器。因此，DSP 更容易设计，因为不存在模拟噪声、失真以及其他所有与模拟电路相关的设计障碍。因此，诸如增加均衡器的复杂性这类任务可以简单地透过增加数字化来实现，其中功率也是线性地变化；而透过 CTLE 实现，其变化是以几何级数增加。数字设计具有可移植性、强韧性、可重复性及可 预测性，这里的「可移植性」意味着可能具有不同 PHY 版本或具有不同 DSP 的接收器。ADC 的设计有可能成为一项重大挑战，但 DSP 的优点能优化 ADC。

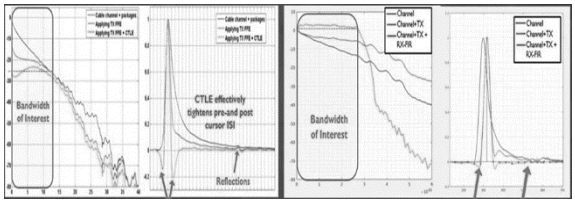
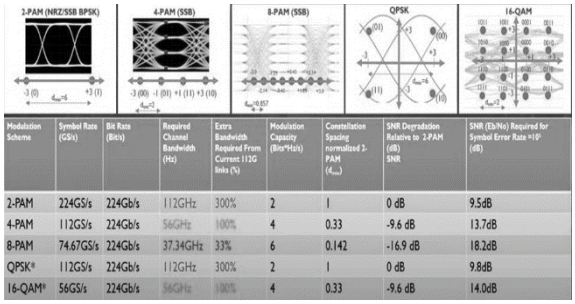


图. 14 利用 DSP RX FIR multi-taps



Modulation Scheme	Symbol Rate (GSis)	Bit Rate (Bits)	Required Channel Bandwidth (Hz)	Extra Bandwidth Required From Current 112G links (%)	Modulation Capacity (Bits*Hz/s)	Constellation Spacing normalized 2-PAM (d_{min})	SNR Degradation Relative to 2-PAM (dB) SNR	SNR (Eb/No) Required for Symbol Error Rate =10⁻⁶ (dB)
2-PAM	224GS/s	224Gb/s	112GHz	300%	2	1	0 dB	9.5dB
4-PAM	112GS/s	224Gb/s	56GHz	100%	4	0.33	-9.6 dB	13.7dB
8-PAM	74.67GS/s	224Gb/s	37.34GHz	33%	6	0.142	-16.9 dB	18.2dB
QPSK[a]	112GS/s	224Gb/s	112GHz	300%	2	1	0 dB	9.8dB
16-QAM[b]	56GS/s	224Gb/s	56GHz	100%	4	0.33	-9.6 dB	14.0dB

图. 15 利用及比较不同的调变增快速率

5 结论

本设计采用新的 ABF 绝缘树脂材料封装并使用 retimer IC 设计方案成功解决高速传输所面临的高频损耗应用于元宇宙之可行性方案。

参考文献

[1] H. Narahashi, “Novel Thin Copper Transfer Films for Fine Line Formation of PCB Substrates”, The International Conference on Electronics Packaging （ICEP） 2010, May 12－14, 2010.

[2] H. Narahashi, “Low Df Build-up Material for High Frequency Signal Transmission of Substrates”, The 63rd IEEE Electronic Components and Technology Conference （ECTC）, Las Vegas, May 28－31, 2013.

[3] Y. Nishimura, H. Narahashi, S. Nakamura, T. Yokota, “Advanced Buildup Materials and Processes for Packages with Fine Line and Space”, The 47th International Symposium on Microelectronics （IMAPS）, San Diego, October 13－16, 20143, no.10, pp. 1-4, 2019, DOI： 10.1109/LSENS.2019.2940763

[4] Shohei Fujishima1, Hiroyuki Sakauchi1 “Recent Trend of Layer-to-Layer Insulation Resin for High Frequency Package”,

ICEP 2017 Proceedings

[5] Tektronix, Understanding and Characterizing Timing Jitter, www.tektronix.com/jitter.

[6] https：//www.youtube.com/watch?v=3fWeG-fahp8

基于时空卷积长短期记忆神经网络模型的基站节能策略研究

游俊婷　蔡鸿祥　杨慰民

摘　要：为了解决 5G 基站耗电高、运营商电费急剧增加的问题，实现可持续发展。在研究基站主流的软件节能配置策略的基础上，提出了一种基于时空卷积长短期记忆神经网络基站节能方法。该方法用于预测异频重叠覆盖网络或者 4/5G 重叠覆盖中各小区流量趋势，并在此基础上结合小区工参、终端配置信息、用户业务行为及 DPI 信令进行智能载频关断，从而达到节能目的。

关键词：基站节能；CNN；LSTM；流量预测

1 引言

电信运营商的运营成本在日益增长，特别是电费，中国移动 2020 的耗电总量已经达 292.3 亿度。根据中国铁塔的分析材料显示，目前几家主流的厂商的 5G 基站单系统的典型功耗分别为：华为 3500W，中兴为 3255W、大唐为 4940W，作为对比，4G 的单系统功耗仅为 1300W[1]，5G 基站最大功耗约为 4G 的 3-4 倍。5G 基站的建设迅猛发展，仅 5G 基站一项全国每年预计需电费 151 亿元以上电费[2]。据统计在基站能耗中，基站主设备能耗占比约为 50%，特别是射频模块，网络话务量忙闲时差异大，但是设备持续运行，如果能耗并未随话务高低动态调整，将造成极大浪费。因此研究基站的节能方案并配置节能策略，是当前网络运维重要工作。

2 5G 基站节电方法现状

基站节能目前主要从设备硬件、软件特性等方面优化设备能耗，硬件节能降低基站设备的基础功耗，软件节能从业务运营角度出发对硬件资源进行合理调配，让基站设备运行更高效。目前软件节能配置的节能策略，现有策略主要有如下几种方法：

方法一：传统基站节能方法

传统的基站节能策略只根据每个小区历史同时段话务数据作为此小区下周每个时段的话务量预测，然后根据话务量随话务高低动态调整载频状态，预测准确性不高，导致节能状态并不能最优化。

方法二：基于人工智能的基站节能策略

基于人工智能的基站节能策略则用小区和其共覆盖邻区的性能数据，能更精准的预测短时间粒度的话务量，在话务量低于门限值时，进行智能关断。在异频重叠覆盖场景，基于话务预测进行智能载频关断，实现基站节能。

异构网络中基于流量预测的基站休眠方法利用改进的小波神经网络模型根据基站流量历史信息，对基站流量进行动态预测，然后根据流量预

作者简介：
游俊婷：硕士，长期从事网络大数据研究，任职于中国移动福建公司厦门分公司网络部。
蔡鸿祥：硕士，长期从事网络大数据研究，任职于中国移动福建公司网络部。
杨慰民：博士，中国移动集团级首席专家，福建公司网管中心副总经理，教授级高工，享受国务院政府特殊津贴专家，中央企业劳动模范。

测结果选择是否休眠宏基站，从而利用微基站对用户进行服务，达到节省网络能耗的目的[3]。

基于 TVF-EMD-LSTM 模型的蜂窝基站网络流量预测方法将 TVF-EMD 算法与 LSTM 深度学习网络结合，能够预测蜂窝网络流量的时空分布信息，有效解决现有的蜂窝基站网络流量预测方法中预测精度低且在变化剧烈的预测点易产生较大误差的问题[4]。

基于移动网络流量预测的基站休眠方法利用时间卷积网络抽取移动网络流量的时间特征，利用三维卷积网络流量抽取移动网络流量的空间特征，然后利用抽取的特征进行准确地预测基站的流量，再利用预测的流量通过规划的方法选取合适的基站进行休眠，能够有效地降低基站的工作能耗，同时又能够保证用户的服务质量[5]。

3 现有软件节能策略的缺点

传统的基站节能策略只根据每个小区历史同时段话务数据作为此小区下周每个时段的话务量预测，然后根据话务量随话务高低动态调整载频状态，预测准确性不高，导致节能状态并不能最优化。

一种异构网络中基于流量预测的基站休眠方法采用神经网络模型，比传统流量预测更为准确，但是只考虑本小区流量情况，没考虑小区流量情况与周围邻区存在时间上的传递关系（用户流动性）及节假日等场景特殊性，导致预测准确性不能最优。

一种基于 TVF-EMD-LSTM 模型的蜂窝基站网络流量预测方法并未考虑外部信息包括天气、节假日以及特殊事件的相关信息及用户业务行为偏好对小区流量预测影响，导致预测准确性不能最优。

一种基于移动网络流量预测的基站休眠方法并未考虑用户业务行为偏好对对流量预测的影响，同时相邻小区提取方法及采用神经网络流量预测算法与本文研究也不同。

4 基于卷积长短期记忆神经网络基站节能策略实现步骤

本文基于运营商网络采集的海量终端上网信令日志数据[6]，提出了一种基于卷积长短期记忆神经网络基站节能策略。该方法适用于在异频重叠覆盖场景或者 4/5G 重叠覆盖场景，基于流量预测并结合小区工参、终端配置信息及 DPI 信令进行智能载频关断，实现基站节能。该方法主要包括数据源获取、数据预处理、小区空间关系构建、时空卷积长短期记忆神经网络模型构建、智能载频关断等步骤。

4.1、数据源

数据源包括通过 DPI 信令计算出的数据如 4G 上下行流量、用户数、浏览业务占比、视频业务流量等和上下行 PRB 利用率、CCE 利用率、最大接入用户数等网管数据、小区经纬度天线电子下倾角等小区工参数据、终端配置信息及日期、天气等属性。

4.2、数据预处理

由于网管的调整或升级等一些常规的操作，会直接影响数据质量，数据质量的好坏会影响后端算法的训练和预测精度，因此需要对获取的数据进行质量分析及其预处理。对信令及网管数据缺失值进行填补、数据归一化和异常值处理-消除白噪声等操作，具体处理流程如图 1 所示。

4.3、小区空间关系构建

流量负载存在空间相关性，相邻小区之间的负载接近，引入邻区负载特征，可以提升模型预测精度，使用小区工参配置表中的经纬度等地理信息，利用 KD-tree 算法可以高效计算每个小区相邻的 N 个小区。

KD-tree 构建过程如图 2 所示：

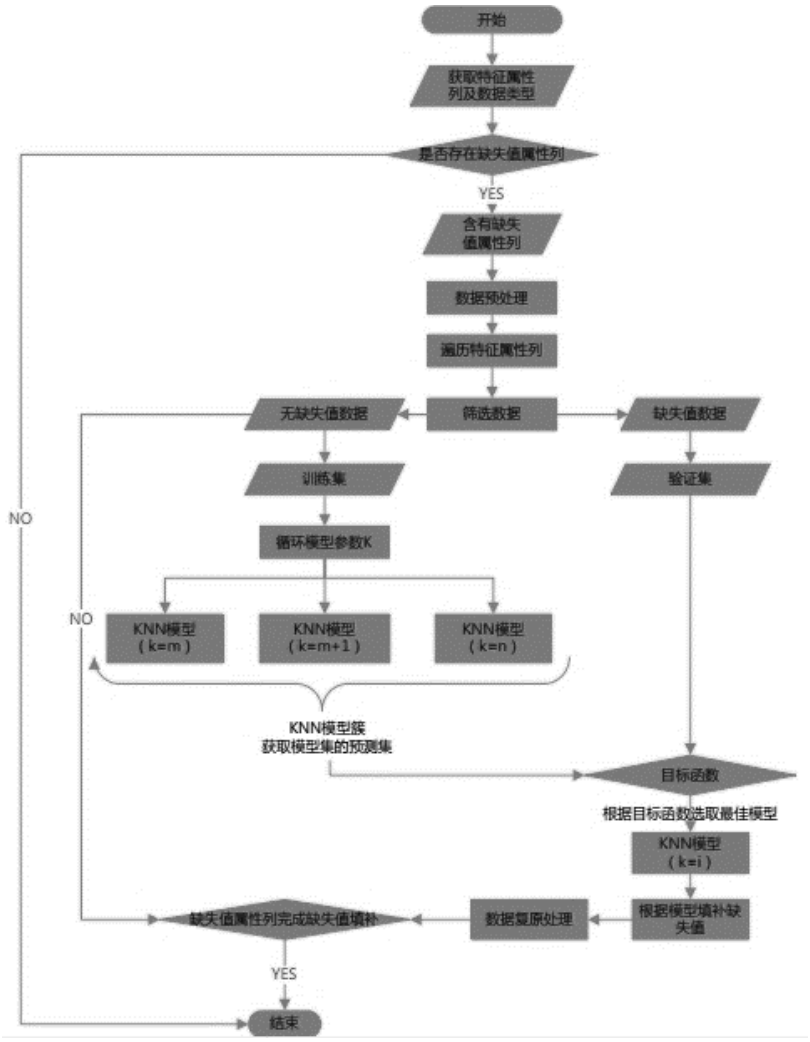


图 1　数据预处理流程

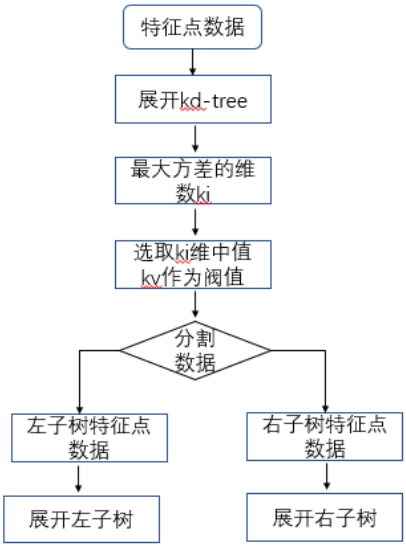


图 2　KD-tree 构建过程

KD-tree 的基本思想就是一直二分下去，最近邻查找过程如下：

（1）从根节点开始递归往下移。

与 KD-tree 构建过程类似，比较待查询节点和分裂节点的分裂维的值，小于等于就进入左子树分支，大于就进入右子树分支直到叶子结点。

（2）如果移动到叶子节点，将该节点当作“当前最佳点”。

（3）回溯搜索路径，在递归过程中，对每个经过的节点如果当前所在点比当前最佳点更靠近输入点，则将其变为当前最佳点，否则检查另一边子树有没有更近的点，如果有则从该节点往下找。

（4）当根节点搜索完毕后完成最邻近搜索。

4.4、时空特征矩阵构建

一个小区的流量通常不仅和它的自身的历史流量数据有关，还和其相邻位置的小区流量有关，将输入数据转换成一张带数据的地图，并采用 CNN 模型（卷积神经网络）提取图中局部特征，将其转化为一组矩阵式数据，结合时间信息，构建一种包含了时间信息和空间信息的二维特征矩阵，特征矩阵的横向时按时间先后排序的小区流量及时间数据，纵向代表小区地理位置的先后顺序。

$$S=\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \dots \\ S_N \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} s_1(t-n)s_1(t-(n+1))\dots s_1(t-1)HWT \\ s_2(t-n)s_2(t-(n+1))\dots s_2(t-1)HWT \\ s_3(t-n)s_3(t-(n+1))\dots s_3(t-1)HWT \\ \dots \\ s_N(t-n)s_N(t-(n+1))\dots s_N(t-1)HWT \end{bmatrix}$$

其中 N 为步骤 4 通过 KD-tree 算法计算得到 N 个相邻小区，$s_i(t-n)$ 是小区 i 在 t-n 时刻流量情况，$S_i=\left[s_i(t-n)s_i(t-(n+1))\dots s_i(t-1)\right]$ 时小区 i 在前 n 时刻的历史流量情况,H 为小时、W 为星期，用于区分忙闲时及节假日场景情况，T 为气温等外部因素。

4.5、模型构建和实验

4.5.1 设计思路

通过分析和观察历史数据可得出，实时流量与多个因素有关，但主要为两方面：一是当前状态值，例如邻区流量，当前 dpi 数值，小区工参，天气，时间段等，归纳为空间特征，二是历史状态，例如历史流量变化规律，前一天当前时刻流量值等，归纳为时间特征。

因此要设计一个网络既要能学习到空间方面的知识，还要能学习到时间方面的知识。递归神经网络（RNN）能够有效保存历史输入信息，且具有时序记忆能力[7]。长短期记忆（Long Short-Term Memory，LSTM）神经网络依赖于过去样本的输入且解决了 SimpleRNN 无法捕获长期依赖性的问题[8]，可以很好的记住时间方面的规律。CNN 通过设置多个不同的卷积核能够提取输入信息中不同特征之间深层高级特征[9] 。本文主要采用卷积神经网络（LSTM+CNN）模型，而具有很好的归纳能力，擅长从全局和局部归纳出空间特征，且具有保存历史输入信息的能力。

4.5.2、LSTM 模型和 CNN 模型介绍

LSTM 是一种时间递归神经网络（RNN），继承了 RNN 优点的同时，解决了梯度反传过程由于逐步缩减而产生的梯度消失问题。由于 LSTM 的独特结构，可以捕捉相当长的相关信息，适用时间序列预测等场景。

LSTM 网络是有 LSTM 每个单元所串接而成的，如图 3 所示，LSTM 主要有遗忘门（Forget Gate）、输入门（Input Gate）和输出门（Output Gate）的组成。LSTM 网元结构如图 4 所示。其中 Ct-1 代表上一时刻的记忆信息， Ct 代表当前时刻的记忆信息。ht-1 是前一刻的输出，ht 是 LSTM 单元的输出。遗忘门 ft 决定了前一时刻的记忆信息多少会被记住，1 为保留，0 为舍弃。用 Sigmoid 函数主要原因是得到有个 0~1 之间的数，作为遗忘门的控制信号。输入门决定当前的输入有多少被保留下来，由两部分决定，输入门的结果（Sigmoid）和新的候选向量（Tanh）。前一刻的记忆信息 Ct-1 通过遗忘门 ft ,当前时刻的输入 $\tilde{C}_t$ 通过输入门 it 加起来得到当前的记忆信息 。LSTM 的输出，是由输出门和当前记忆信息共同决定的：ht=ot*tanh（Ct ）。

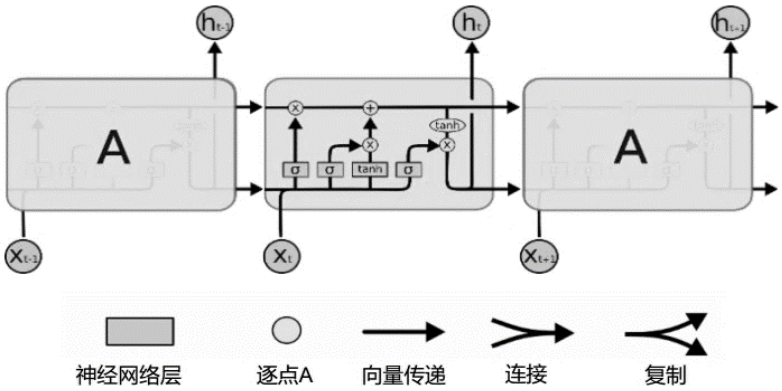


图 3　LSTM 网络

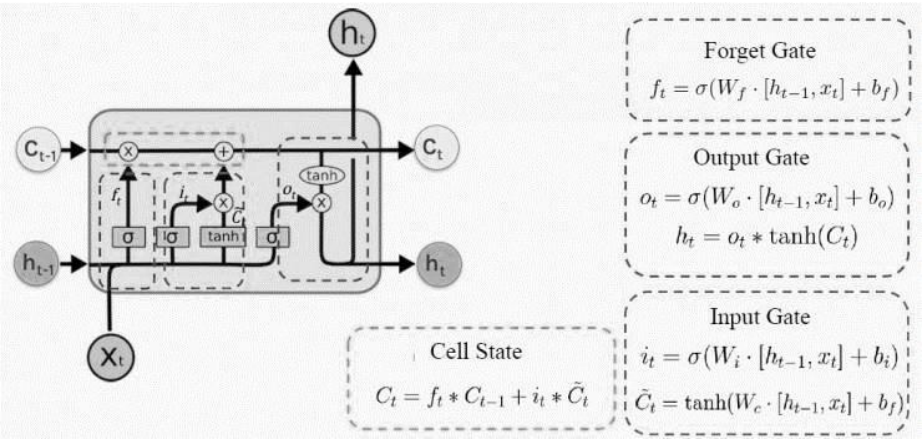


图 4　LSTM 网元

流量预测主要采用基于时空卷积长短期记忆神经网络模型，数据流程如图 5 所示。

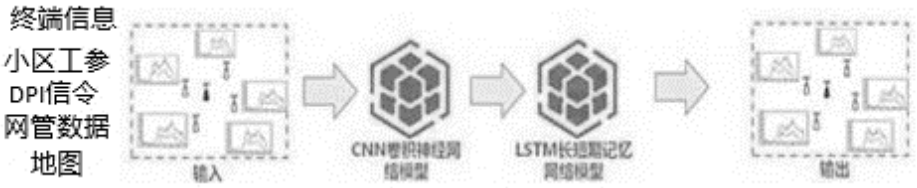


图 5 CNN+LSTM 数据流

通过步骤 1、2、3 获取输入数据，后经过步骤 4 处理之后的时空特征矩阵，卷积层中使用若干个滤波器对输入数据的空间信息进行卷积，然后数据再被输入到 LSTM 层中，最后通过一层全连接层出来，输出下一个时刻的每个小区流量,如图 6 所示，然后如图 7 对整个模型进行训练后应用于生产环境。

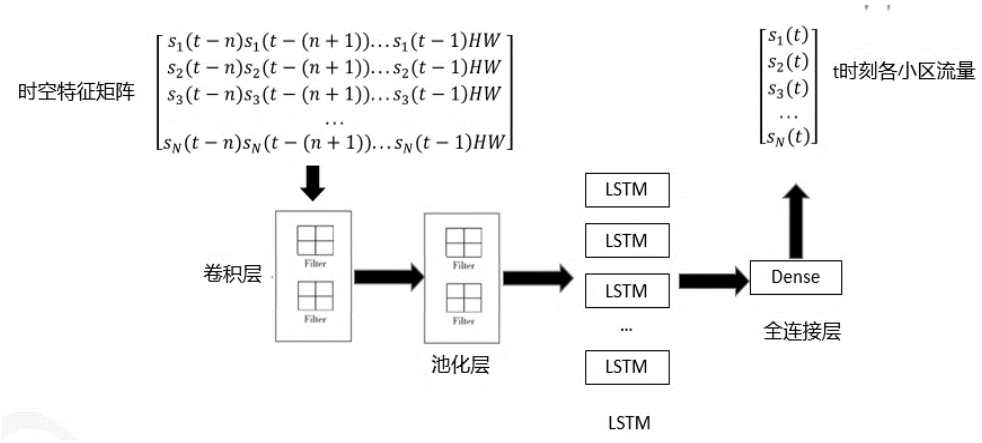


图 6 CNN+LSTM

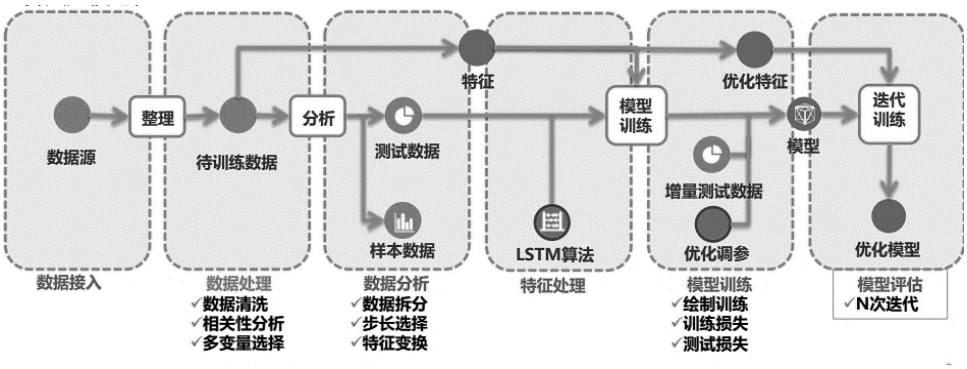


图 7 模型训练流程

4.5.3 对比实验结果

训练数据采用上面步骤 1，2，3 整理出来的数据，主要就是小区时空特征图矩阵，训练在 TESLA100GPU 上进行，为了验证模型设计时的思考，设计多种模型进行对照，评估方式采用平均偏离真实值比例,训练结果如下：

表 1、多种模型对照实验结果表

模型名称	训练样本数	Epoch	预测样本数	是否加入注意力	激活函数选择	流量平均偏离比例
CNN	50000	10	10000	否	Relu	22.2%
LSTM	50000	10	10000	否	gelu	24.3%
CNN ＋ LSTM	50000	10	10000	否	relu	20.0%
CNN ＋ LSTM ＋ 注意力机制	50000	10	10000	是	relu	19.5%
CNN ＋ LSTM ＋ 注意力机制	50000	50	10000	是	relu	17.6%
CNN ＋ LSTM ＋ 注意力机制	50000	50	10000	是	swish	18.1%

4.5.4 结果分析及调优

从上面结果可以看出，加入注意力机制后准确率明显上升，分析原因可知流量与特定特征关系大，例如小区用户数，时间段等，而另一些特征信息不是很大，而且会带来噪音，部分注意力权重如下（蓝色越深代表权重越高）。同时激活函数选择 relu 为佳，迭代次数不易过少，Batchsize 选择 128 为佳。

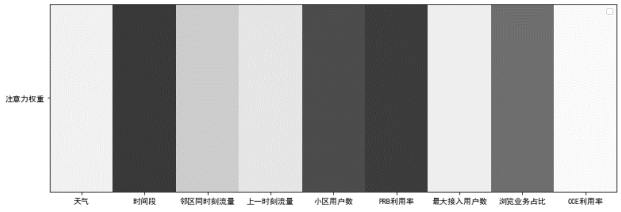


图 8 部分注意力权重

因此模型采用 CNN+LSTM 结合的方式，同时考虑到不同特征的重要性不同，因此在模型中加入注意力机制，提高模型准确率。

4.6、智能载频关断

根据各个基站覆盖情况及其步骤 5 预测的流量、用户数及其用户访问业务行为进行综合判断，在异频重叠覆盖场景或者 4/5G 重叠覆盖情况下，当本载频上的用户数较少时，将用户迁移到负荷允许的目标基础载频上，然后关掉本载频，以节省基站能耗。

5 结束语

本文提出了一种基于卷积长短期记忆神经网络基站节能策略，且加入了注意力机制提升了模型的准确性。该方法适用于在异频重叠覆盖场景或者 4/5G 重叠覆盖场景，基于流量预测并结合小区工参、终端配置信息及 DPI 信令进行智能载频关断，实现基站节能，实现了前端业务与后端节能的有机结合，消除了人工识别的判定局限，有效保障重要客户的业务运行。基于本文提出的方法体系、相关算法和优秀经验在行业内具有较强的推广借鉴价值。

参考文献：

[1]戴春伟. 5G 基站能耗管控与环境影响[J]. 江苏通信, 2020, 36（4）

[2]徐孟强. 基于 AI 深度学习的面向业务 5G 基站节能系统研究[J]. 电信科学,2021,37（11）：143−151.

[3]东南大学. 一种异构网络中基于流量预测的基站休眠方法：CN201510387707.7[P]. 2015−11−11.

[4]盐城吉大智能终端产业研究院有限公司. 一种基于 TVF−EMD−LSTM 模型的蜂窝基站网络流量预测方法：CN201910523562.7[P]. 2019−10−25.

[5]南京工业大学. 一种基于移动网络流量预测的基站休眠方法：CN202010036123.6[P]. 2020−06−05.

[6]中国移动通信集团.中国移动统一 DPI 设备技术规范[S].北京

[7]李超然，肖飞，樊亚翔 . 基于循环神经网络的锂电池 SOC 估算法［J］. 海军工程大学学报，2019，31（6）：107−112.

[8]YANG F，SONG X，XU F，et al. State−of−charge estimation of lithium−ion batteries via long short−term memory network［J］. IEEE Access，2019，7：53792−53799

[9]方圆，李明，王萍，等. 基于混合卷积神经网络和循环神经网络的入侵检测模型［J］. 计算机应用，2018，38（10）：2903−2907，2917.

元宇宙视角下的线上“半仿真”智慧旅游规划探索

朱惠斌　温亮

摘　要：元宇宙概念对传统产业发展形成显著的推动作用。旅游作为生产生活的重要组成部分，成为满足市民“娱乐”和“休憩”需求的重要内容。传统旅游以类型多样化、地域扩展化、形式丰富化、场景体验化为发展路径，通过旅游目的地的投资拉动消费以提高旅游目的地的经济发展水平。传统旅游发展路径在旅游规模大幅度扩张的过程中具有重要的推动作用，但在旅游规模逐步稳定的新常态下，传统旅游发展路径难以为继。国内部分地方政府与大型互联网企业合作开发“线上旅游”，但目前“线上旅游”以知识科普为主，难以达到传统旅游的体验感受。《关于深化“互联网+旅游”推动旅游业高质量发展的意见》（文旅资源发〔2020〕81 号）为线上旅游发展提供新的契机，以智慧城市为发展目标，探索线上“半仿真”旅游系统的发展趋势与瓶颈制约，结合旅游信息基础设施规划思路分析，为旅游总体效率提升和创新线上旅游模式提供支撑。

关键词：元宇宙；半仿真；智慧旅游

中图分类号：TN91；TU984文章识别码：A　文章编号：

1 引言

改革开放后，我国通过逐步构筑和完善高铁、空域、高速公路等交通基础设施体系，为各地区通达性提高提供重要支撑。相关学术研究与实践经验表明通达性高、离交通基础设施近的地区易形成产业集聚，发展相对领先于其他地区。移动互联网普及后，学术界普遍将人工智能、物联网、机器人、新材料制造、增强现实与虚拟现实等技术作为颠覆传统商业模式的变革性和颠覆性技术。2020 年《中共中央、国务院关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》提出土地、劳动力、资本、技术、数据等要素发展方向。数据要素首次成为国家重要生产要素，承载数据要素的基础为信息基础设施。新型技术以信息化为发展目标，传统产业信息化和数字化进入快速发展阶段。

《关于深化“互联网+旅游”推动旅游业高质量发展的意见》（文旅资源发〔2020〕81 号）提出建设智慧旅游园区、旅游信息基础设施、旅游公共服务模式、线上旅游营销、旅游监管、旅游治理、旅游创新创业等新思路，但其根源仍在于原有传统旅游业模式的深入挖掘和智慧化。目前国内主要旅游类公司包括传统旅游公司、线上旅游平台和互联网旅游公司三类。其中，传统旅游公司包括以康辉等为代表的公司，线上旅游公司包括携程、途牛、艺龙、美团等为代表的以提供旅游信息和撮合服务的便利化网上服务平台，新型旅游公司包括腾讯旅游等为代表的线上旅游平台。

因传统旅游公司和线上旅游平台已在国内深

作者简介：

朱惠斌：毕业于北京大学，博士学位，研究方向为智慧城市，从事网络规划建设工作，现为中国移动通信集团广东有限公司深圳分公司专家。

耕多年，积累丰富经验和发展模式。国内互联网旅游公司当前的尝试包括直播旅游技术、优质资源精选、线上旅游营销等方面，其目标在于为用户和客户提供移动化、主体化、功能化、互动化的优质服务。与传统旅游公司和线上旅游平台主要关注 TO C 端客户需求相差异，互联网旅游公司从发展初期即同时关注 TO C、TO B 和 TO G 端，其服务对象从用户转化为大中型旅游城市地方政府、商业用户等，其发展具备更大的潜在可能性。元宇宙概念的兴起使得旅游模式产生变革。线上化旅游模式的产生有助于应对无法出行人员的“半仿真”出行需求，建立虚拟出行空间，营造虚拟的触觉、嗅觉、听觉等感受，作为对高成本“全仿真”模式的优化，对线上“半仿真”智慧旅游模式其进行研究具有重要的意义。

2 线上“半仿真”旅游的发展趋势与瓶颈制约

2.1 核心技术

（1）物联网

传统旅游模式强调场景化和体验化，即通过人在不同环境中的切换以感受到客观条件和主观情绪的变化。但通勤前往旅游目标地段的时间、成本等却不被部分人所接受，因此旅游感受的便捷化和随时化成为旅游新的产业发展目标。物联网作为“万物互联”时代的重要策略，为个人与旅游目标地间建立直接联系创造技术条件，即通过人与旅游目标地间的线上交互，大幅度提升个人感受旅游的便利性。物联网通过建立人与人间的联系和人与场景间的联系，有效促进个人获得旅游感受。物联网的基础是高速和便捷的网络效果，即“大带宽、低时延、多连接”的网络需求，通过高质量 WIFI 结合 5G 移动网络的模式可有效实现交互联系。且当前国家“网络强国”的政策指导下，网络“提速降费”成为重要的发展目标，用户接入高速网络的成本已实现大幅度降低。在边缘计算逐步深化影响下，逐步数据处理将逐步下降处理层级，可以预见未来网络的速度和便捷度仍将大幅提升，网络使用成本将大幅降低。

（2）虚拟现实

虚拟现实已开始在许多领域逐步实现，目前最为应用广泛的为游戏领域的虚拟现实交互和房产领域的虚拟中介看房等。虚拟现实的基础在于技术场景构建和技术场景交互，技术场景构建技术虽然成熟，但相对成本较高，因此目前成熟的多为受众面广泛、发展基础良好的产业。旅游产业因其场景情况复杂多变，其技术场景构建难度不亚于大型游戏场景构建，且其技术场景过程中需耗费大量人力用于信息点采集和捕捉、场景综合构建、场景美化处理等方面，需耗费大量的时间和成本。因此目前旅游领域并无虚拟现实的大规模和广泛应用，局部重要场景已试点进行虚拟场景构建，但其实际效果更接近于渲染效果的场景纪律片，难以达到人机交互的职能。在结合当地政府政策、资金和保护支持的基础上，结合重点场景的选择，有可能实现旅游场景虚拟现实的推进。

（3）人机交互

人机交互则是提高线上“半仿真”旅游场景感受的重要环节，其建立在物联网和虚拟现实的发展基础上。通过人工智能进行大数据选择，筛选用户需求，为其提供可选择的场景需求和消费需求，成为用户体验升级和旅游公司盈利来源。因旅游公司在线上“半仿真”系统构建上需耗费大量的建设、运维成本，其商业模式和收益来源则主要体现于为客户提供适合的消费选择以撮合其消费量的提高，消费产生的中介成本将成为重要的收益来源。从另一个层面而言，当线上“半仿真”系统用户总数和日活量逐步上升后，此系统的商业价值将大幅度提升，其衍生形成的广告等将产生大量的新增收益，成为互联网旅游公司未来的发展来源。

2.2 发展趋势

线上“半仿真”旅游是为现有的旅游体系创造一个新的需求点和利益增长点，属于新型发展模式。部分互联网公司在进入一个新型行业时，需要耗费大量的成本用于前期的技术和固定资产投入，其盈利模式则依赖于前期建立的技术壁垒将逐步吸纳大量用户，后期以用户为基础，通过提供适合的消费场景和消费模式以产生利润来源。

但这种模式的典型特点在于行业和企业发展是一个长期和持续的过程，企业的竞争优势未必是长久的核心优势。即企业未必能在后期吸纳大量用户作为盈利基础，反而可能因过程中未能及时满足客户需求、竞争对手过多、企业应对能力不足等问题导致企业用户量难以实现大规模增加，这种模式下企业发展将难以为继。且这种发展模式需要企业在中前期得到持续的资金投入，即需要企业在借债、股权融资等方面取得平衡。当股权融资等模式稀释股权后，企业经营者的思路将受到更多的制约，为未来企业发展形成一定的潜在影响。

2.3 网络架构

线上“半仿真”旅游主要包括交易平台和内容平台两部分，以大数据和容灾备份以应对客户需求，在需求端打造购票客服、视觉语音导航、交通安排、交易平台、评价投诉等交易模块，在供给端打造数据灾备平台、营销算法平台、客服评价平台等平台，以促使交易的便捷化和有效化。在线上“半仿真”旅游系统的构筑过程中，所有数据集中起来的经验分析有助于更直接和合理地契合用户需求。高性能服务器和高经验处理使传统旅游将逐步形成新型流量入口，为其他交易行为提供新的发展契机。网络架构依靠虚拟现实的相关视觉、触觉、嗅觉等传感器，将个人与场景直接融合，强化个人在网络空间的置入感，提升个人感观感受。

2.4 瓶颈制约

线上“半仿真”旅游的瓶颈在于对象选择和盈利模式。对象选择指在现有旅游目的地中选择受众面广泛、旅游感受丰富、旅游场景丰富的目标地作为系统构建的基础环境。这种类型的旅游目的地数量众多，但实际的核心品种选择并不充裕。在确定核心品种清单后，需结合旅游目的地当地政府的政策、资金支持情况和与旅游目的地的商业合作模式等因素，确定分批选择的旅游目的地。在旅游目的地选择后，通过市场调研确定其潜在的商业盈利模式，以构建系统提供相应服务。对象选择的失误可能导致系统潜在用户流失，盈利模式的失误可能导致系统无法变现。线上“半仿真”旅游受到这两点显著的瓶颈制约。

3 线上“半仿真”旅游信息基础资源规划思路

3.1 分布模式

旅游信息基础设施的分布模式为以网状分布形态为基础，结合星型等多种形态的分布模式。网状形态体现为无线网、传送网等各类专业网以网状模式分布在国家、区域、城市等多个层面，形成骨干网、城域网等层次网络结构。网状结构的优势在于层次结构显著，可区分特征点在网络中的地位，且便于各种分布模式间的结合。在网状结构中，环状分支结构应用最为广泛。环状结构存在双向传输（可有效避免单向信息通信临时中断的影响）和多点成环（连接效率较高）的技术优势。因此旅游信息基础设施的分布模式体现为宏观层面以网状分布维护，中观层面以环状分布为主，微观层面包括星型等多种分布模式相结合。

表 1.旅游信息基础设施的作用

类型	模式
点状要素	作为旅游信息资源接入的区域枢纽，属于战略性基础资源。除满足近期需求外，应提前部署、有重点、有节奏地适度储备节点资源，保证信息资源交互的长期稳定发展，确保平台“安全可靠、接入灵活、覆盖全面”。
线状要素	（1）根据具体业务需求，在规划建设时需满足国家及地方市政设施建设的相关规定。利用道路或建筑物的新建、改建机会进行建设。（2）根据“网格化”思路，持续提升全业务支撑能力，形成能应对多种技术，满足不同业务需求的线状要素，打造“接入迅速、容量合理、安全可靠、调度灵活”的平台。
面状要素	以“安全可靠、分级服务、灵活扩展”为目标，注重新技术的引入、推广和应用，按需引入智能化平台。旅游信息基础设施的面状要素主要指各类网络，即光缆网、无线网、互联网等，分别承载相应的传输、通信和信息交互等职能。在旅游信息基础设施建设和维护过程中，若使用同一张网则难以协调各专业间的需求，若使用不同网则需重复建设。

3.2 规划体系

以层级分类，城乡规划包括区域协调规划、城市总体规划（含发展战略）、控制性详细规划、修建性详细规划等；以类型分类，城乡规划包括城市规划、土地利用规划、专项规划等类型。旅游信息基础设施规划体系往往作为规划的公共基础设施章节予以论述，难以在规划层面获得政府的重要支撑。

（1）城市总体规划

旅游信息基础设施部分主要属于城市基础设施支撑体系部分内容。城市基础设施支撑体系包括综合交通设施、市政基础设施、城市公共安全与综合防灾减灾。旅游信息基础设施一般在市政基础设施中进行规划，与水资源和能源保障，供、排水工程，供电工程，供气工程和环境卫生工程共同规划。城市总体规划的引导作用主要体现于立项和用地保障。

（2）城市土地利用总体规划

旅游信息基础设施部分主要属于土地利用重大工程和重点项目下设的重大基础设施和民生项目用地保障部分内容。重大基础设施和民生项目包括交通运输、水利设施、市政公用设施、居住，教育卫生等社会事业用地。旅游信息基础设施一般在市政公用设施中进行规划，与供水、供电、供气、排污、城市安全和应急体系共同规划。但在实际规划建设过程中，因供水、供电、供气、通信等都由政府职能部门或国企进行规划建设，城市土地利用总体规划仅在发改委同意的项目基础上预留用地，

（3）信息通信领域专项规划

部分城市通过设立通信工程专项规划、基站规划等类型推进旅游信息基础设施专项规划，涵盖的通信业务种类包括数据网、电信固定网、移动通信网、微波通信网、通信管道网、有线电视网等，规划内容包括新增机楼、预留发展备用地等。信息通信领域专项规划的重心从固定网转向移动通信网，从一定程度上保障旅游信息基础设施的建设需求。

（4）旅游信息基础设施管理系统

政府信息资源运营系统根据各地方政府思路形成差异化的管控模式。以管道和光缆资源为例，部分地方政府成立专项管道公司，负责运营辖区内管道开发权等需求，部分地方政府则由专业职能局进行运营。但政府手中持有政府开发和管理的信息资源信息，但对企业信息资源信息难以全方面掌握。

信息资源运营商包括基础和增值电信运营商，信息资源为其赖以生存的技术基础。信息资源运营商将信息资源作为战略资源，创造综资系统以应对旅游信息基础设施的调配和管控需求。各企业信息资源属企业战略资源，在企业内部得到充分重视。

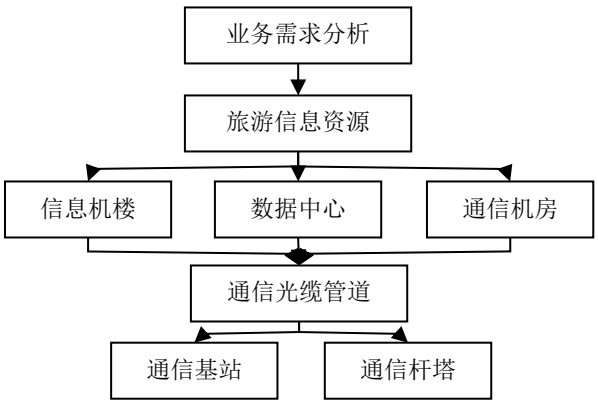


图 1.旅游信息基础设施规划思路

3.3 技术基础

旅游信息基础设施规划并非建立一个新的网络架构，而是在目前数据基础上进行通信管理系统完善，实现信息间紧密联系。旅游信息基础设施信息化规划构建包括“端”、“管”、“云”三个层面。“端”指旅游信息基础设施信息化的终端传感器和处理器，传感器具备触感、声感、温感等类型，可实时传输网元所处的状态。处理器将旅游信息基础设施信息化数据处理中心的指令传达至终端并予以实施。“云”作为数据集中处理中心，可视为城市的“大脑”，“管”作为“端”和“云”间传输管道和服务网络，包括通信管道、物理介质管道等。

3.4 成本控制

旅游信息基础设施信息化规划的成本控制需考虑独特性、高效性、无障碍性和简易性等因素。独特性指每项信息资源需有独特的编码方式，以确保具有唯一的识别模式。高效性指传输网络需稳定、可靠且快速。无障碍性指数据传递不具备

地理、遮挡的影响，简易性指终端处理器需具备简易的设置。为构筑旅游信息基础设施信息化系统，需充分考虑分阶段的投入和成本。因此在旅游信息基础设施信息化系统构筑的过程中，需对旅游信息基础设施进行分级分类，高级别网元在旅游信息基础设施信息化中处于高级别保护地位。

3.5 阶段目标

旅游信息基础设施信息化构建的主要难度在于技术的复杂性和成本。终端间建立联系是需要产生信号的接收和发放，即需要产生功耗。过度复杂的旅游信息基础设施信息化网络架构将产生复杂的功耗，导致终端动力快速消耗和数据处理中心过多的无用数据处理，且易形成大量的无效和冻结连接。因此构建需分三个阶段。

第一个阶段为建立各网元与旅游信息基础设施信息化系统的连接。通过网元发生物理或等级变化时产生记录。这种连接方式可实现基础性管理，但无法实现网元的实时跟踪。因此需建立更高层次的连接，在不改变目前旅游信息基础设施信息化的基础上，实现网元的定位可跟踪性。

第二阶段为建立各网元间的直接联系，充分运用大数据基础，实现网元的层级、连接的变化，形成旅游信息基础设施信息化综合系统，融合政府和企业数据，形成完整的数据基础。各网元间实现联系后，整体系统可有效根据数据要素的规模和需求动态化地调整旅游信息基础设施拓扑关系，有效提升网络效率。

3.6 规划思路

信息化规划思路中，以区域业务需求分析为基础，得出旅游信息基础设施的总体需求。具体如下：

（1）全要素旅游信息基础设施融入规划

在政府将 5G 建设提升到国家战略高度后，各省、市层面逐步制订相应 5G 建设的指导意见、产业发展规划等规划文件。期间，各地政府形成的规划共识是将通信基础设施融入城市各级规划。在融入城市各级规划后，可提前保障通信基础设施的用地、动力等基础性资源需求，有助于政府熟悉各运营商基础资源，推进共建共享和资源优化。同时，在政府获得运营商基础数据后，运营商的基础资源、技术能力和潜在优势也同样被逐步公开。因各运营商根据自身基础资源情况采取差异化的经营政策，其对融入政府规划的动力也呈现显著差异化。且部分通信资源涉及地区安全，数据难以公开。旅游信息基础设施作为通信基础设施的组成部分，通过全要素旅游信息基础设施融入规划，可有效提升旅游信息基础设施的重要性，确保其发展得到充分保障。

（2）旅游信息基础设施基础设施共建共享

为推进旅游信息基础设施共享、降低网间费用、提高运营效率，通过规范化国土信息同质化建设工作标准，通过集中建设、运营的方式提高资源利用资源。实际建设过程中，旅游信息基础设施基础设施共建共享有效提升了部分建设工作的效率，但因此类单位不直接运营市场业务，其难以传导工程建设的重要性至技术部门，难以在公司层面充分调度技术人员的工作积极性，导致部分站点交付速度难以达到预期。各旅游信息基础设施使用单位均倾向于使用高质量资源，但资源分级导致难以均匀分配。基础设施共建共享难以得到有效保障。各旅游信息基础设施使用单位具备的基础设施资源存在较大的差异性，共建共享政策的配合力度也呈现一定差异化。

（3）旅游信息基础设施多专业层有机融合

旅游信息基础设施涉及多个专业，各专业根据公司运营目标分别制订规划，各规划间难以做到无缝连接。通过加大专业层面融合力度，并谋求与管线公司等外部单位的专业融合，将成为提升管理水平的重要方法。旅游信息基础设施通过与各政府职能部门间的合作配合，加大合作的广度和深度，有助于融合专业层面，以较小的建设和运营成本获得较好的整体收益，满足实际通信业务需求。

4 线上“半仿真”旅游的展望

4.1 与游戏、影视等行业结合以降低成本

“视觉经济”已成为现代消费经济发展的重要组成部分。游戏、影视爆款的出现将在短期内吸引大量关注度，促进大量消费增长。游戏、影视的场景构建多以现实的旅游场景等相结合，若能将线上“半仿真”旅游系统与当前游戏、影视等行业在基础场景技术系统相结合，将有效降低场景构建成本，且可充分运用受关注的游戏、影视作

品成为旅游盈利和消费的经济来源。但游戏、影视作用多存在一定的生命周期，且其场景变化较多，在实际结合过程中将面对大量挑战。游戏的生命周期一般较长，但其涉及场景多，需将重点放置于选择核心场景上；影视的核心场景深入人心，但其影响力持续时间有限，需将重点放置于快速构建并盈利上。因此对不同类型行业的结合需采取不同的商业模式和技术手段，但与其他行业相结合将有助于显著降低成本。

4.2 面向不同消费族群提供多样化的服务

旅游作为大型生产消费部门，存在多种消费族群和消费需求。对不同消费族群，应结合不同的消费领域。如年轻人近年兴起的“潮玩”文化对球鞋、装饰品等产生大量消费需求，老年人近年兴起的“养生”文化对各类保健品产生大量消费需求。在线上“半仿真”旅游场景构建的基础上，可根据用户的年龄等基本信息为其推送适合的服务类型，达到旅游系统盈利的目标，也为下一阶段的扩大再生产提供发展基础。线上“半仿真”旅游除通过真实货物送达外，也可面向不同消费族群提供虚拟化服务，以满足其部分旅游及相关生产生活需求。

4.3 特殊时期民生需求的有效和及时补充

对于疫情等特殊时期，用户无法前往旅游场所进行旅游活动和消费，线上“半仿真”旅游系统将为此部分用户需求创造基础条件，为“抗疫”提供基础性支撑。通过系统内部分功能和模块的无偿开放，有助于扩大系统的影响力，为满足民生需求提供基础。但在实际运作过程中，其可能会对现有服务器产生大量负荷，但适时开放将为特殊时期旅游、消费等民生需求形成有效和及时的补充。

4.4 创新多样化的消费及衍生品盈利模式

近年国内逐步兴起的直播带货、好物种草等模式，提供一种精选品类以减少选择时间、大量采购以降低采购成本、集中营销以吸引大量关注的方式成功地达到传统消费“大量采购、迅速出货”的发展需求。线上“半仿真”系统将为消费提供一种新型场景，有助于特定的地区特产等消费产品的迅速营销，且消费衍生品等模式也可产生在系统中，为用户大范围、广泛地扩大消费品类和消费模式提供基础性支撑作用。

5 小结与启示

在元宇宙逐步影响人们生活的基础上，线上“半仿真”旅游将逐步成为未来旅游发展的趋势和方向，其便捷化、低成本的特点决定了其广阔的商业发展空间。通过总结物联网、虚拟现实和人机交互的线上“半仿真”旅游核心技术，对其发展趋势和瓶颈制约，对未来发展进行展望，得出此系统可实现与旅游、影视等行业结合以降低成本、面向不同消费族群提供多样化的服务、特殊时期民生需求的有效和及时补充、创新多样化的消费及衍生品盈利模式等以实现系统商业价值发展，从战略层面为线上“半仿真”智慧旅游数字技术提供规划支撑。

旅游信息基础设施信息化规划是长期和持续的过程，需制定分阶段步骤予以实时，在构建过程中根据实际情况进行动态微调。在现有技术基础下，通过建立分级分类的“云管端”系统实现成本控制，形成旅游信息基础设施信息化规划思路，可大幅度提升旅游信息基础设施信息化管理效率。通过分析旅游信息基础设施在传统城乡规划中的定位，结合城域层面规划模式探索，可有效推动管理模式转型，为发展中所需的基础性战略资源预留等内容提供支撑。通过将战略资源纳入城市资源管理信息库，实现旅游信息基础设施规划效率的显著提升。

参考文献：

[1]匡丹,李浩,邓强.新发展阶段智慧城市建设的现状及应对策略——以南昌市“城市大脑”为例[J].中共南昌市委党校学报,2021,19（06）：59-62.

[2]六盘水师范学院课题组,杨胜雨.民族地区旅游与文化产业融合协调态势、影响因素及对策研究——以黔东南州为例[J].中共云南省委党校学报,2021,22（05）：139-150+47.

[3]朱惠斌,温亮.城域无线通信基础设施体系及趋势探索[J].信息通信,2020（04）：266-268.

毫米波融合设计整合于人工智能车

赖文政

摘　要：— 本文提出应用于先进驾驶辅助系统（ADAS）之人工智能车　NXP iMX8QM 车载平台嵌入式平台，使用视觉边缘运算与深度学习，其中提出毫米波接收机应用于雷达侦测辅助系统，在接收数据方面，本文将摄影机模块视频影像融合，将整合毫米波接收器模块，融合架构编译　C++进行图像车道分析，实现于 ARM Quad-Core A53 加速的多层卷积层（Multi- layersNeuralNetwork）中，与深度神经网络的训练比较，从而减少了具有特征值图像的计算量与吞吐量，进而达到实时融合并行实现。

一、简介

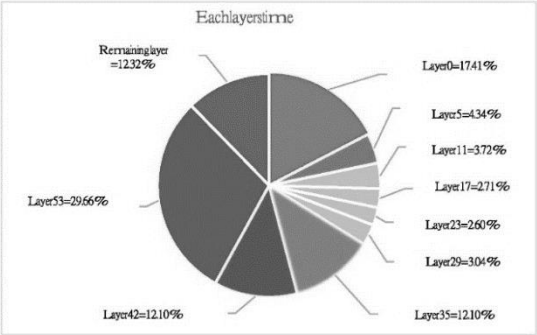
近年来，文献中讨论了许多大规模物体检测在精度上的问题，但文献中在小尺度对象检 测方面，探讨内容较为稀少。文献 [1] 中讨论了神经网络架构在 NXP S32V234 车载平台上，透过YOLO v3-tiny提出了先进驾驶辅助系统（ADAS） 解决方法，其方案具有边缘运算功能，用于侦测行人和机车骑士，此方法实现嵌入式系统在执行大量卷积方面的局限性，由于提出的设计需要减少运算量，也同时考虑了精度降低的问题，所提出的架构使用Squeeze Net 与 量化的方法，将运算量减少了约 46%，而精度仅略有降低，但在允收范围内，提出的影像于Im2col 与内存高效卷积（MEC） 方法中，重新排列连续矩阵空间以利侦测，与YOLO v3-tiny 架构相比，APEX 用于加速操作的硬件可以减少运行时间并将检测速度提高十倍。文献 [2] 中讨论了针对远距离物体与较少计算量的神经网络模型进行开发开发，所提出的小波理论目 标检测架构，此实验应用于远距离场景中，以提供影像更高的准确性，其计算复杂度低，所 提出的小波神经网络的可行性，已经在车载检测上得到了评估与验证。在文献 [3]中提出了深度学习算法架构，移植到Nvidia Jetson TX2 人工智能板的嵌入式评估板上，其方案使用训练 后的结果，实现边缘运算之实际路测，本文提出 79GHz 毫米波雷达经由 CAN Bus 接口的 AI Edge Tinker Edge T 开发系统，其中雷达毫米波接收器架构融合于芯片 NXP iMX8QM 车载平 台上，整合雷达毫米波接收机侦测辅助架构，该设计为安全驾驶行为修正系统，提供了车辆 的准确识别、交通灯状态的前方信号、道路限速标志和车辆位置。

二、实现车载影像侦测

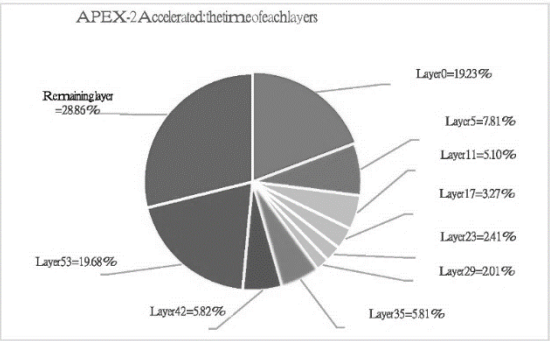
利用加速 GEMM 移植到嵌入式实验板 NXP S32V234后，图一描绘了网络架构在第九层卷积层上，正向传播大约90%的时间占比，图二与图三描述了用于平行加速和放大的方法APEX，将第九层卷积层占用的时间从90%减少到70%，当MEC进行APEX加速时，实验YOLO架构中会遇到精度下降与APEX中MEC的设计融合问题，为了解决这个问题，妥善分配CU，将MEC数据排列在一个APEX上，进行了优化，相当重要。本文提出了两种

作者简介：
赖文政：台湾中国无线电协进会常务理事，国立云林科技大学助理教授。

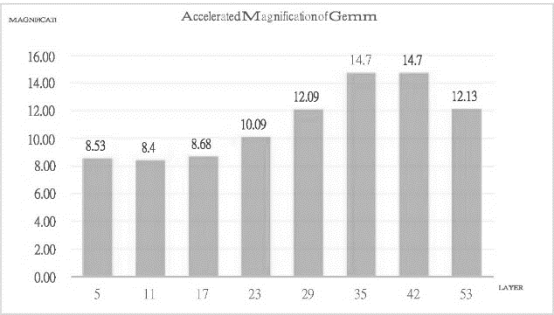
APEX加速方法，因为每种APEX的操作取决于设置的CU数量，本文的网络架构只提出了十七层的APEX加速，如表I所示，呈现的结果在准确度与检测时间方面的下降，在APEX平台的影像上GEMM慢与图四中加速度透过神经网络计算得知，表II描述了与其他已发表论文的性能比较，通过对较原有的APEX硬件加速与文献，提出APEX上卷积方法的实现与分析，性能结果提高了平滑度，并将原始速率提高了十倍，所提出的设计参考文献[6]中的YOLOv3-tinyplus网络架构，透过SqueezeNet提高了准确率与侦测率，其性能提出卷积核的压缩，有效地减少了参数的数量，但精度没有显著下降，并在实车测试允许范围内，提出的MEC在嵌入式NXPS32V234板上具有边缘计算，其影像感测处理，在APEX嵌入式开发板NXPS32V234上，消耗最多的卷积运算，在算法部分，空间安排在并行处理上进行了优化，所提出的解决方案，尽管它在每秒Frame数（FPS）性能方面并不显著但可以更容易地，在具有更密集对象的场景中，进行区分，当文章减少网络层的输入大小与层数时，具有自动紧急制动（AEB）的FPS可以继续改进用于近地特征的车辆应用。表III说明了YoloV4-tiny与ShuffleNet-Nanodet的性能比较，因为YoloV4-tiny的版本比YoloV3-tiny更新，当输入分辨率为640x320时，所提出的设计模型提升了参数的最低尺度，表IV也说明了与YoloV4-tiny与ShuffleNet-Nanodet的精度与距离的比较，当参数量最低时，提出的模型，在NvidaJetsonAGXXavier上可以在不同距离处，保持与其他三个模型相同的精度，当距离大于80公里时，所提出的模型比YoloV4-tiny与ShuffleNet-Nanodet的精度更高，如图五所示。将低延迟与较高的FPS移植到NvidaJetsonAGXXavier车载平台上的，表V说明了小波理论目标侦测架构、YoloV4-tiny与ShuffleNet-Nanodet的性能比较。



图一：神经网络中各别卷积层的时间分布。



图二：APEX-2 加速后，各层的时间占比例。



图三：在每一层的加速与放大 Gemm。

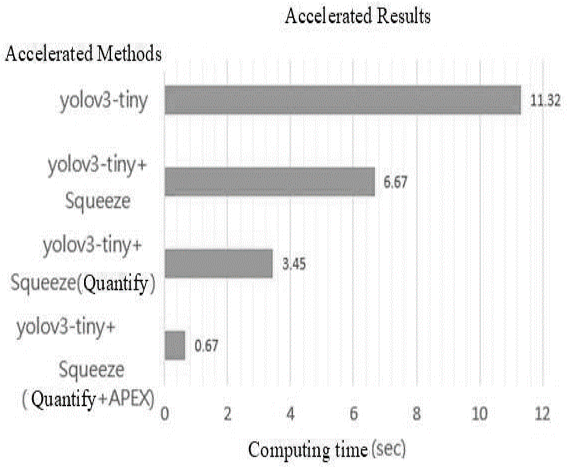
表 I.MEC 和 GEMM 之间的加速结果比较表。

17-Layer　accelerated comparison

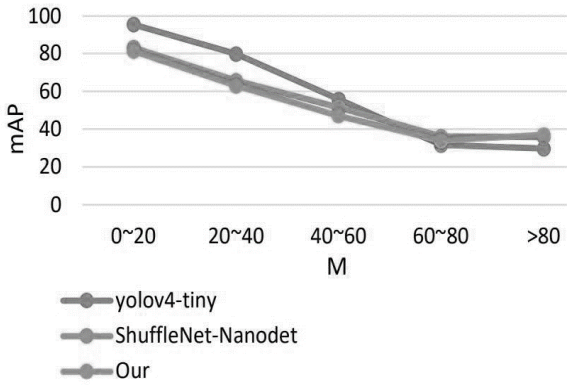
Methods	CU	Arrange time (ms)	Computing time (ms)	total time (ms)
MEC	117	2.15	43.2	66
GEMM	104	4.51	10.1	23

表 II.在 NXPS32V234 车载平台上，使用 YOLOv3-tiny 之效能比较表。

	This Work	[5]	[6]
Platform	NXP S32V234	Raspberry Pi 3 Model B+	NXP S32V234
Core	A53+APEX	A53	A53+APEX
A53 Frequency	1000 MHz	1400 MHz	1000 MHz
Network architecture	YOLOv3-tiny +Squeeze Net	SSD	Squeeze Net
Layers	54	24	53
Input size	416x416	300x300	227x227
BFLOPS	2.917	2.2	0.543
FPS	1.4	0.8	30
advantage	distinguish between similar objects and detect distant objects	Combine object detection and tracking Use lane lines to detect dangerous zones	Real-time detection
disadvantage	Speed Slow	Speed Slow	Cannot distinguish between similar objects



图四：在 NXPS32V234 车载平台上，使用 YOLOv3–tiny 优化精度损失后的加速度。



图五：在 NvidaJetsonAGXXavier 距离和精度的性能比较。

表 III.在 NvidaJetsonAGXXavier 上，使用 YoloV4–tinyShuffleNet–Nanodet 参数比较。

Model	Resolution	Flops	Params
YoloV4-tiny	640x320	8.03B	6.06M
ShuffleNet-Nanodet	640x320	0.71B	0.95M
This Paper	**640x320**	**1.72B**	**0.57M**

表 IV.在 NvidaJetsonAGXXavier 平台上，使用 YoloV4–tiny 精度与距离比较表。

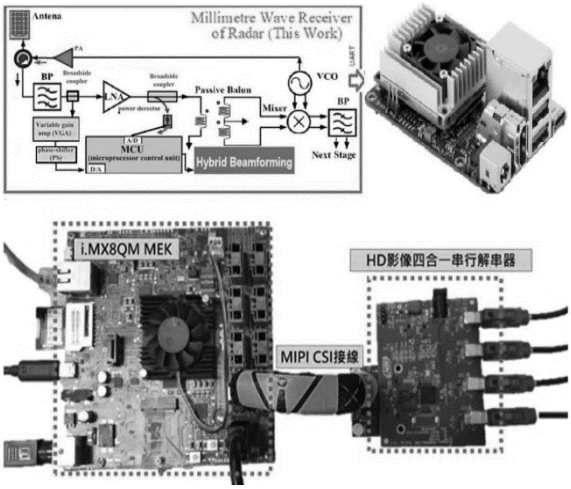
Model	Distance (M)				
	0~20	20~40	40~60	60~80	>80
YoloV4-tiny	95.4%	79.8%	55.8%	31.6%	29.7%
ShuffleNet-Nanodet	83.3%	65.7%	51.5%	36.1%	35.9%
This Paper	**81.4%**	**63.0%**	**47.0%**	**34.0%**	**37.1%**

表 V.在 NvidaJetsonAGXXavier 平台上，使用 YoloV4–tiny 延迟与 FPS 比较表。

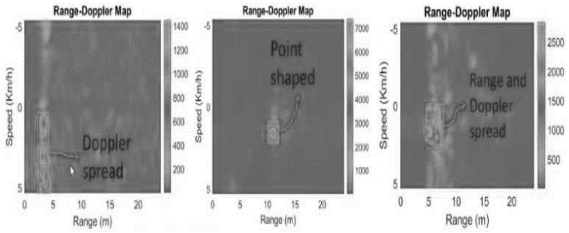
Model	Resolution	Latency	Fps
YoloV4-tiny	640x320	32ms	31
ShuffleNet-Nanodet	640x320	35ms	29
This Paper	**640x320**	**25ms**	**40**

三、实现毫米波接收机雷达侦测

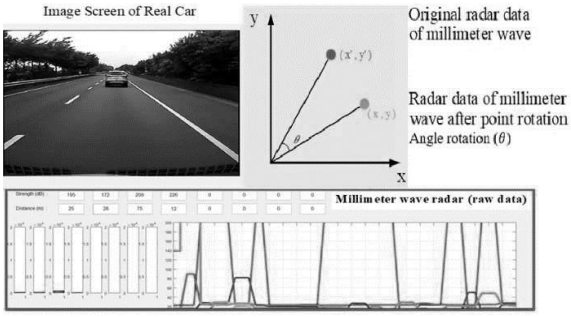
本文提出79GHz毫米波雷达经由CANBus接口的AIEdgeTinkerEdgeT开发系统，其中雷达毫米波接收器架构融合于芯片NXPiMX8QM车载平台上，整合雷达毫米波接收机侦测辅助架构，如图六所示，在边缘区域采用线性相控天线数组之雷达侦测，本文提出整合毫米波接收器模块[7],[8]，在MATLAB的低速条件下，如图七所示，显示行人毫米波雷达的多普勒之扩展，纵向移动车辆的点与横向移动车辆的测距之多普勒扩展，另外毫米波雷达高速多普勒扩展，如图八所示，在高速公路实现测距，MATLAB在高速公路上实测得车辆动态轨迹，如图九所示。车载或智驾车透过瑞萨RenesnsM2N进行算法移植的现场计算实现，如图十所示，位于自由空间中的车辆在毫米波的模拟电场分布，分别针对法向入射角和45度倾斜入射角，如图十一（a）所示，在正常与倾斜入射下的电动车于毫米波的稳态电场分布（b）大型电动车于毫米波的稳态电场分布，如图十一（b）所示。



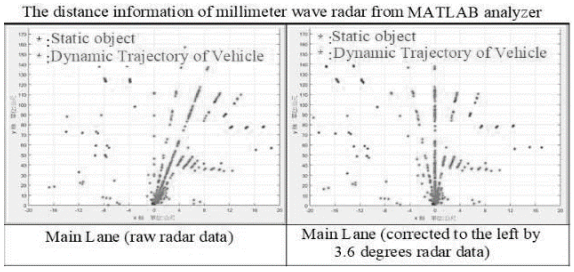
图六：雷达毫米波接收器架构于 NXPiMX8QM 平台上。



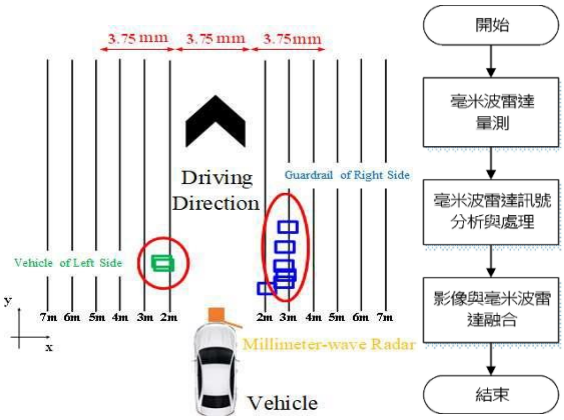
图七：MATLAB 毫米波雷达低速多普勒扩展。



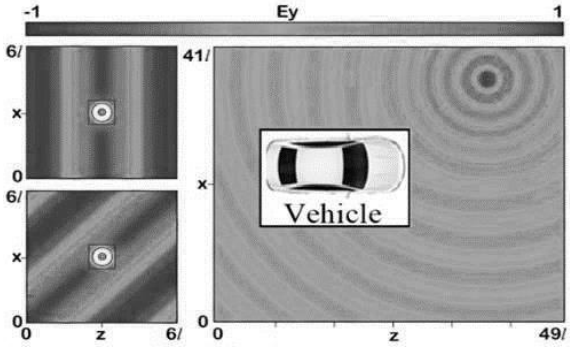
图八：毫米波雷达高速多普勒扩展。



图九：MATLAB 在高速公路上实测得车辆动态轨迹。



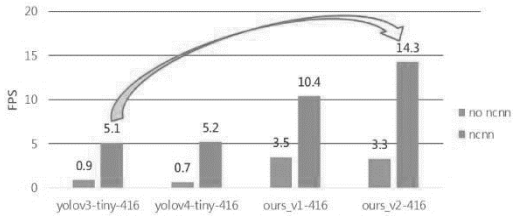
图十：融合智慧辅助驾驶之实现环境。



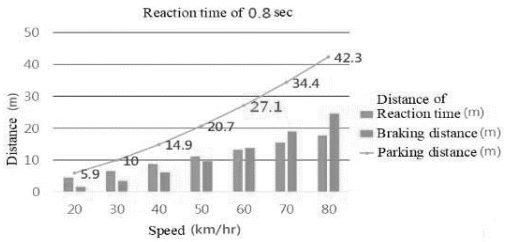
图十一：在正常与倾斜入射下的电动车于毫米波的稳态电场分布（b）大型电动车于毫米波的稳态电场分布。

四、融合影像之实现

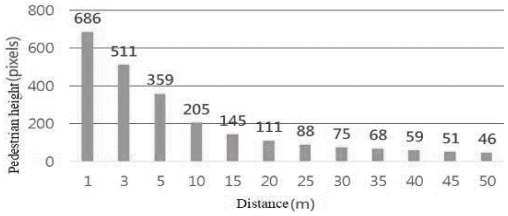
本文提出新的架构，增加了14%。对于并行执行，NCNN（归一化卷积神经网络）提出的NEON[9]硬件加速将FPS提高到14[10]，如图十二（a）所示，其中最慢响应时间为0.8秒取决于市区60公里/小时的速度，用于煞车距离的取样样操作，如图十二（b）所示，图十二（c）描绘了行人高度和距离的抽样评估，所提出的实验使用分辨率512*288与416*256的输入大小来测量精准度（mAP）与BFLOPS，如图十三（a）与图十三（b）所示，建议的比较PR（精确召回）如图十四（a）与图十四（b）所示的训练和测试中的每种方法，提出的mAP与BFLOPS之间的关系，如图十五所示，以及性能比较表如表VI所示，图十六描述了嵌入式车辆的实测现场试验。



（a）

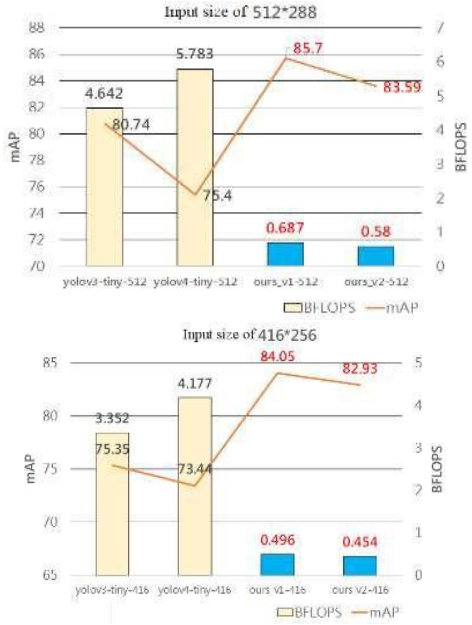


（b）

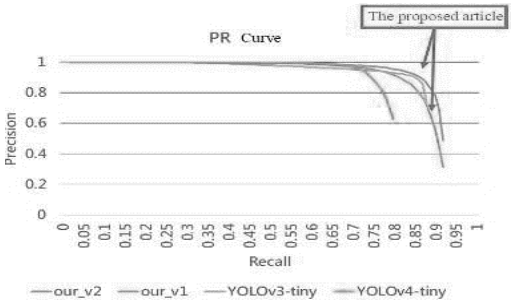


（c）

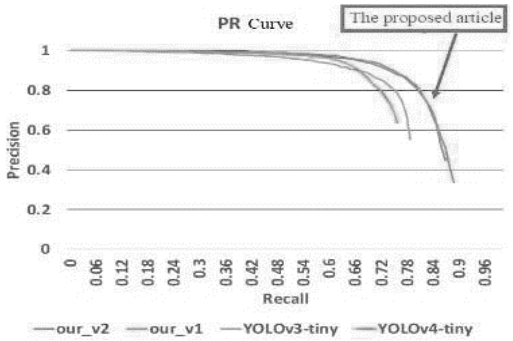
图十二：（a）有无 NCNN 的比较（b）煞车距离的取样操作（c）行人高度与距离的取样评估。



图十三：量测结果（a）输入大小为 512*288（b）输入大小为 416*256。

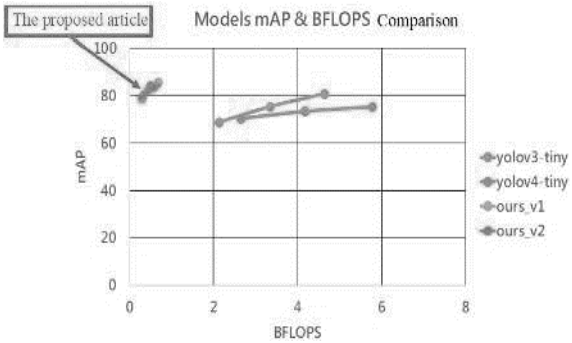


（a）



（b）

图十四：每种方法进行 PR（精确召回）比较（a）训练与（b）测试。



图十五：量测结果的 mAP 与 BFLOPS 之间的建议关系。

表 VI.量测结果的性能比较表。

Comparison (yolov3-tiny, v4-tiny)

	Precision (%)	Recall (%)	BFLOPS	Execution time (1/FS)
Yolov3-tiny-416	80	75	3.352	5.1
Yolov4-tiny-416	91	66	4.177	5.2
Yolov3-tiny Mobile	71	67	0.495	10
Ours_v1	82	80	0.496	10.4
Ours_v2	82	80	0.454	14.3

五、结论

本文提出了一种具有波束成形功能的毫米波接收器，可以与ARMQuad-CoreA53加速的深层卷积层并行处理，从而减少特征对象的图像计算并提高吞吐量，与已发布的版本和传统的卷积神经网络（CNN）进行比较，在相同的输入大小下，建议的运算量与乘以7.3的yolov3-

tiny和乘以9.2的yolov4-tiny相比有所提高，基于相同的训练和测试数据集，与yolov3-tiny的2%的精度、5%的Recal和7.58%的mAP相比，所提出的准确度有所提高，在相同输入大小下，FPS的速度NXPiMX8QM车载平台嵌入式平台上，执行乘法检测的速度比yolov3-tiny与yolov4-tiny快2.8，所提出的嵌入式车辆边缘计算设计的行人检测系统，实现了所提出的具有雷达侦测和深度学习的混合波束成形技术的毫米波接收器，用于ADAS边缘运算视觉。

参考文献

[1]C.-L.Su,etal.,“ArtificialIntelligenceDesignonEmbeddedBoardwithEdgeComputingforVehicleApplication,”IEEEArtificialIntelligence&KnowledgeEngineering,Dec.2020.

[2]C.-L.Su,etal.,“NeuralNetworkArchitectureBasedonWaveletTransformforElectro-mobilityDetection,”28thIEEEInt’lConf.onElectronics,Circuits,andSystems（ICECS）,Nov.Dec.2021.

[3]C.-L.Su,etal.,“PedestrianDetectionSystemwithEdgeComputingIntegrationonEmbeddedVehicle,”The3rdInt’lConf.onAIinInformationandCommunication,Apr.2021.

[4]J.Redmon,etal.,“YouOnlyLookOnce：Unified,Real-TimeObjectDetection,”IEEEConfonComputerVisionandPatternRecognition（CVPR）,pp.779-788,2016.

[5]F.N.Iandola,etal.,“SqueezeNet：Alexnet-levelaccuracywith50xfewerparametersand<0.5MBmodelsize,”ICLR,2017.

[6]R.Verbickas,etal.,“SqueezeMap：FastPedestrianDetectiononaLow-PowerAutomotiveProcessorUsingEfficientConvolutionalNeuralNetworks,”IEEEConf.onComputerVisionandPatternRecognitionWorkshops（CVPRW）,pp.463-471,2017.

[7]W.-C.Lai,etal.,“MillimetreWaveReceiverofRadarDetectionwithDeepLearningforADASEdgeComputingVision,”The15thIMPACT-EMAP,Oct.2020.

[8]W.-C.Lai,etal.,“ImplementationofMillimetreWaveReceiverforRadarDetectionandImageFusiononEmbeddedVehicle,”13thGlobalSymposiumonMillimeter-Waves&Terahertz（GSMM）,May2021.

[9]HuJie,etal.,“SqueezeandExcitationNetworks,”IEEE/CVFConf.onComputerVisionandPatternRecognition,p.p.7132-7141,May2019.

[10]C.-L.Su,etal.,“DesignandImplementationofEdgeComputingforDetectiononEmbeddedElectromobility,”4thInt’lConf.onArtificialIntelligenceforIndustries,Sept.2021.

一种基于矩阵分析的互联网流量识别方案

杨琨琨　陈倩雯　杨慰民

摘　要：网络流量的分析是市场运营、网络规划和网络优化的重要手段，当前互联网业务繁荣，提供的内容形式多样从早期的文字为主，到现在的图片、视频和直播类，以及后续 AR、VR、物联网的业务快速增长，网络流量呈现业务多样化，终端多样化，高带宽和低延时，数据加密，流路径更加复杂，本文的识别方案，可识别 IDC、CDN 类型和流量流向，并洞察 IDC、CDN 流量内承载的应用组成，提供多维度应用级流量可视化，支撑后端优化业务质量，支撑前端引入业务流量，提高业务收入。

关键词：流量；业务；CDN；IDC

1 引言

当前，视频和直播类、AR、VR和物联网的业务快速增长，省级内容网络内大量VIP客户均为CDN的服务提供模式，CDN资源分布和流量调度更加复杂多样，如何快速、全面、准确地分析业务资源分布，并提供详细应用流量、域名和流量关联关系数据，给运营团队带来了重大的挑战。

前端业务部门主要关注流量商机及业务谈判细节，后端网络质量管理部门主要关注针对业务的资源与质量的相关性，加强资源就近分布，有利于提升用户体验，针对前后端部门对于流量分析的不同需求，我们需要从用户维度和IDC维度两大主线进行详细分析，至上而下，从宏观到微观的分析思路，要求不仅能分析出业务特征和趋势，还能给出详细的数据进行佐证。

然而，互联网流量的可视化分析是业务运营和网络运维的一个难点，传统办法主要借助Netflow、DNS、DPI等这几种工具系统分别开展分析，但这几种工具系统各有一定缺陷，DPI系统可分析常见的业务应用大类，但无法识别Https加密的流量，另外底层规则库对所属公司的识别关联能力有限，无法直接支撑商务谈判；DNS系统能实现IP地址与域名、公司的关联分析，但无法实现IP地址、域名与应用的关联分析，在分析维度上也仅限于点击量；现有的Netflow分析系统基于网络的3/4层，可以知道各IDC、CDN客户的总体流量情况，但是无法识别IDC、CDN内的承载的应用类型。

基于眼下的需求及痛点，本团队进行分析研究，并得出一种基于矩阵分析的互联网流量识别方案，本方案可识别IDC、CDN类型和流量流向，并洞察IDC、CDN流量内承载的应用组成，提供多维度应用级流量可视化，无需硬件探针/DPI、解耦、高效、可扩展的纯软件分析系统，很好地解决了传统分析技术需要部署大量的硬件探针、购买专用硬件带来的高额成本投入，以及流量应用识别率低的问题，同时本成果可实时提供多种维度的查询输入、丰富的图形报表呈现和便捷的结果输出，对于市场前端部门、网络规划部门和网络运维部门提供灵活、多样的数据支撑。

作者简介：

杨琨琨：硕士，长期从事网络大数据研究，现任职于中国移动福建公司网络部。

陈倩雯：学士，长期从事网络大数据研究，现任职于中国移动福建公司网络部。

杨慰民：博士，中国移动集团级首席专家，福建公司网管中心副总经理，教授级高工，享受国务院政府特殊津贴专家，中央企业劳动模范。

2 矩阵式流量分析系统体系

2.1 模型建设

通过对前后端不同需求的综合分析，内容网络运维团队设立的课题目标是基于互联网应用特征，研究互联网流量分析方案，并且在流量分析系统上落地实施，可识别 IDC、CDN 类型和流量流向，并洞察 IDC、CDN 流量内承载的应用组成。

1、流量多维矩阵：提供多维度应用级流量可视化，为市场运营、网络规划和网络优化提供了多维度应用分析数据。

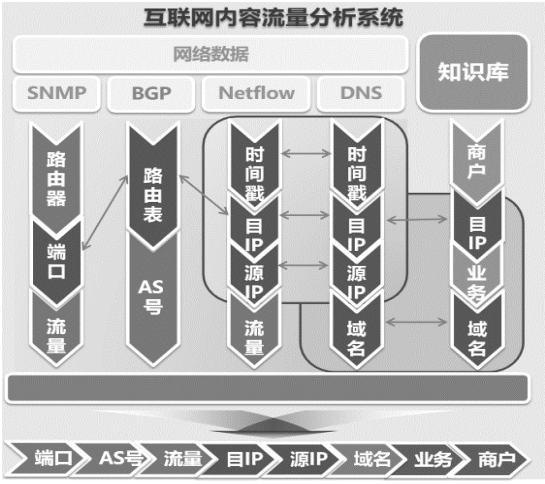


图 1 多维数据交叉关联逻辑示意图

2、知识库关联：建立智能化视频资源库、长尾网站智能识别分析、域名和流量关联关系分析、建立流量全景地图和 ISP 资源透视图、全面分析全省 IDC 商户组成、业务组成；

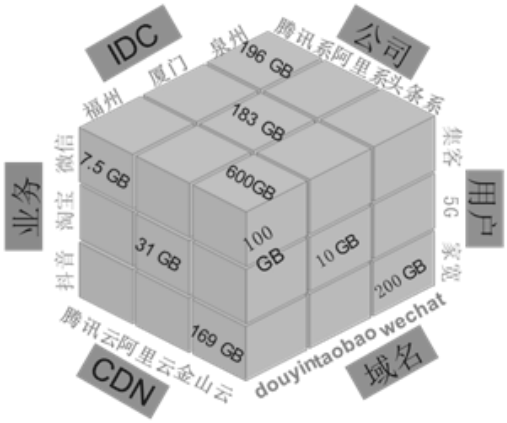


图 2“数据魔方”式多维度分析和挖掘示意图

3、个性化需求模型：根据前端业务部门提出的业务特性分析需求，定制相应的个性化数据分析模型，满足前端部门对于集团 TOP55 违规转售、城域网黑带宽的分析需求支撑能力，以及业务运维角度自动检测发现业务侧异常流量并出发实时报警反馈，全方位监控互联网流量的异常情况。

2.2 解决方案

系统采用智能爬虫、机器学习、AI 识别等先进的大数据分析技术，通过采集现网路由器、交换机、Netflow、DNSflow 相关数据，在大数据分析平台与 AI 知识库进行关联匹配，可识别 IDC、CDN 类型和流量流向，并洞察 IDC、CDN 流量内承载的应用组成，提供多维度应用级流量可视化。

互联网内容运营分析系统的整体架构，主要由网络数据采集、数据处理和数据呈现三大模块组成，具体说明如下：

1、网络数据采集模块：实时流采集和处理架构，IT 可视化配置，无缝对接数据源设备。

2、数据处理模块：云应用基因库+大数据分析平台，提供应用级、实时大数据分析，数据处理模块是本方案的主要技术点，重点为“AI 知识库”智能关联技术，采用智能爬虫、机器学习和 AI 知识库关联技术，基于互联网特征而非 DPI 模式分析，可以识别所有主流的“互联网应用”、CDN 服务商、IPv4/v6 流量、HTTPS 流量。

3、数据呈现模块：WEBUI 交互界面，丰富的数据报表视图，RESTAPI 标准化接口设计，支持第三方系统集成，主要技术点包含“N 维数据魔方“式数据呈现，即高效的大数据分析查询引擎，灵活地跨维度交叉查询（如路由器+资源位置+ICP 商户+应用+家宽/手机用户等不同维度），满足市场、规划和运维部门不同视角的分析需求；

4、衍生支撑能力：针对三大模块衍生出用户画像绘制能力，通过实时分析家庭宽带、IDC 客户和手机用户的流量，提供应用级的流量流向数据，可与 RADIUS、质量拨测等系统协同，绘制更立体的“用户画像”。

3 系统应用与实践

实现自动化的数据报表生成和互联网流量视图展示对接支撑，快速满足业务部门、网络运维部门和管理层对于数据视图展示的时效性要求，以及完善互联网内容运营支撑系统，对于提供实时、灵活和可扩展的综合报表分析的模块的功能。

在现有的流量分析系统基础上，将政支服务月报和互联网流量视图所需的数据，进行综合分析，提炼出各数据维度所需的数据字段、各字段的计算公式；并在内容运营分析系统内建立相应的查询，系统通过API扩展的方式与综合分析报表模块进行数据交互，报表系统自动完成所需报表的查询和计算，生成完整的报表数据文件，并与互联网流量视图系统进行对接。

内容运营分析系统的自动化报表模块，对于服务月报和互联网流量视图的对接、支撑的成果展示如下：

3.1 服务月报数据支撑

服务月报数据主要体现了CDN流量、应用流量、省内已入驻商户，三大维度的分析，三大维度可根据需求进行交叉矩阵汇聚分析，分析内容包括用户需求总流量（峰值/均值）、省内资源流量（峰值/均值）、外省服务本省流量(峰值/均值)、流量本省率、服务本省率（商户维度特有）、我省服务外省流量、外省流入TOP3省份及占比、我省服务外省TOP3省份及占比等，经典表示例如下：

CDN流量排名分析表，主要支撑业务部门进行流量谈判大方向评估：

表 1CDN 流量排名分析示例表

备案信息	用户需求总流量（峰值 Gbps）	用户需求总流量（均值 Gbps）	省内资源流量（峰值 Gbps）	省内资源流量（均值 Gbps）	外省服务本省流量（峰值 Gbps）	我省服务外省流量（峰值 Gbps）	流量本省率（%）	是否入驻	是否达到引入标准
阿*云	1152.73	666.82	970.37	561.33	182.36	378.80	84.18	是	是
华*云	326.95	194.04	121.77	72.27	205.18	7.53	37.24	是	否
金*云	356.36	209.14	180.61	105.99	175.76	186.30	50.68	是	否

应用流量排名表，主要支撑网络部门分析头部业务需求，并传递业务部门针对性谈判引入：

表 2 应用流量排名分析示例表

资源名称	备案信息	归属 CDN	用户需求总流量（峰值 Gbps）	用户需求总流量（均值 Gbps）	省内资源流量（峰值 Gbps）	省内资源流量（均值 Gbps）	外省服务本省流量（均值 Gbps）	外省服务本省流量（峰值 Gbps）	我省服务外省流量（均值 Gbps）	我省服务外省流量（峰值 Gbps）	流量本省率（%）	是否入驻	是否达到引入标准
抖*网	北京微*有限公司	字*云	583.27	181.40	425.23	132.25	49.15	158.04	6.84	23.60	72.9	是	否
		阿*云	491.11	153.93	481.57	150.94	2.99	9.54	0.63	1.78	98.06	是	是
		网*云	307.46	143.28	295.18	137.55	5.72	12.28	28.88	81.09	96	是	是
		总流量	2908.15	1051.36	2489.72	900.09	151.27	418.42	151.80	151.80	85.61	是	是

商户资源分布表，用于支撑业务部门对已入驻商户的分发管理，针对服务本省率低，且业务本省率“双低”商户协助进行流量调度优化：

表 3 商户资源分布分析

商户名称	业务	服务流量峰值 Gbps	服务流量均值 Gbps	服务省内流量峰值 Gbps	服务省内流量均值 Gbps	服务本省率（%）	用户总流量均值 Gbps	贡献率（%）	流量本省率（%）	服务外省流量分布情况（均值 Gbps）			
福*IDC-阿*云-福**机房	抖*网	43.7	19.37	43.7	19.37	100	838.27	2.31	81.89	广*省（0.0%）	广*省（0.0%）	浙*省（0.0%）	其他省约（0.0%）
	快*	36.39	20.35	36.39	20.35	100	183.2	11.11	95.14	山*省（0.0%）	广*省（0.0%）	四*省（0.0%）	其他省约（0.0%）
	苏*购	6.54	2.98	6.54	2.98	100	3.04	97.85	99.27	江*省（0.0%）	其他省约（0.0%）		
	今*条	5.78	2.72	5.78	2.72	100	72.95	3.72	71.59	河*省（0.0%）	陕*省（0.0%）	广*省（0.0%）	其他省约（0.0%）
	小*机	5.68	0.98	5.68	0.97	100	18.97	5.14	99.67	河*省（0.03%）	山*省（0.0%）	广*省（0.0%）	其他省约（0.0%）
	西*频	5.12	2.26	5.12	2.26	100	36.68	6.17	97.83	山*省（0.0%）	江*省（0.0%）	安*省（0.0%）	其他省约（0.0%）
	火*频	3.85	0.65	3.85	0.65	100	17.52	3.72	99.99	广*省（0.0%）	天*省（0.0%）	山*省（0.0%）	其他省约（0.0%）
	汇总	144.39	54.21	136.95	51.42	95	–	–	–	广*省（1.12%）	江*省（1.05%）	浙*省（0.63%）	其他省约（1.45%）

3.2 互联网流量视图支撑

支撑互联网流量视图的展示，通过内容运营分析系统的报表模块，自动生成互联网流量视图所需的基础数据报表，实现自动化生成和对接，自动化视图呈现的能力，视图呈现主要包含四大类的视图：“多维度流量总览”、“TOPN业务分析”、“流量商机分析”和“福厦泉IDC分析”，支撑内容运维人员直观了解流量趋势。

多维度流量总览图，支撑内容满足情况-外省流量TOP3、重要业务流量商机-四大系、IDC商户流量多个指标集合的总览视图展示：

图 3 多维度流量总览

TOPN业务分析图，支撑热门TOP10业务、外省移动流量组成、IDCTOP5业务和CDNTOP5业务对应的流量组成、流量比例的视图展示：

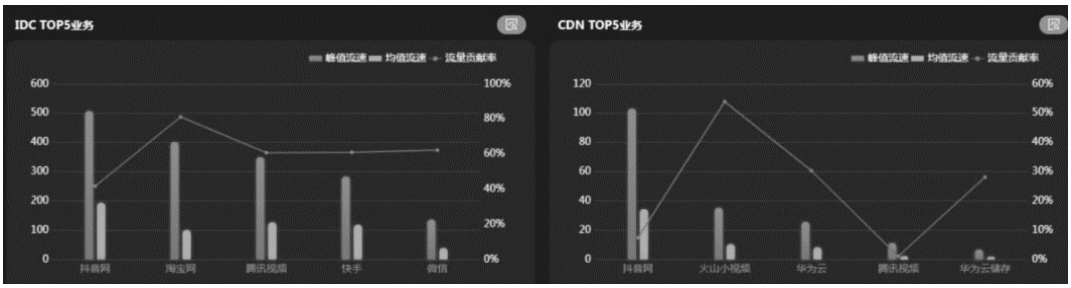


图 4 TOPN 业务分析

流量商机分析图，支撑互联网内容流量商机和大商户流量商机分析，对于峰值流速、流量商机和未引入情况分析视图的展示：

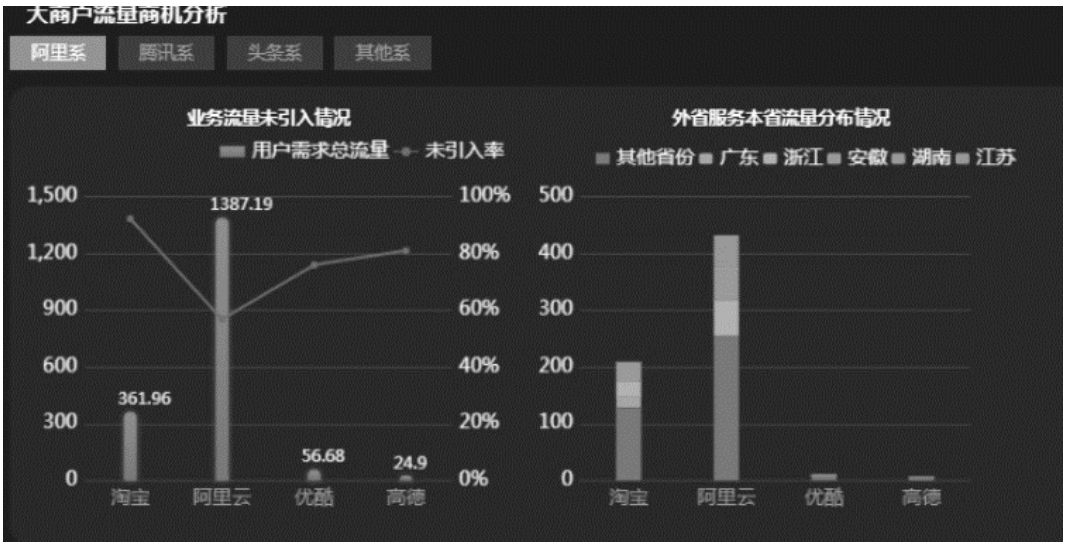


图 5 流量商机分析

已入驻省内IDC商户分析图，支撑省内IDC分析，对于各IDC内商户总流量、服务本省率、分商户的自有业务、非自有业务的TOP3的视图展示：

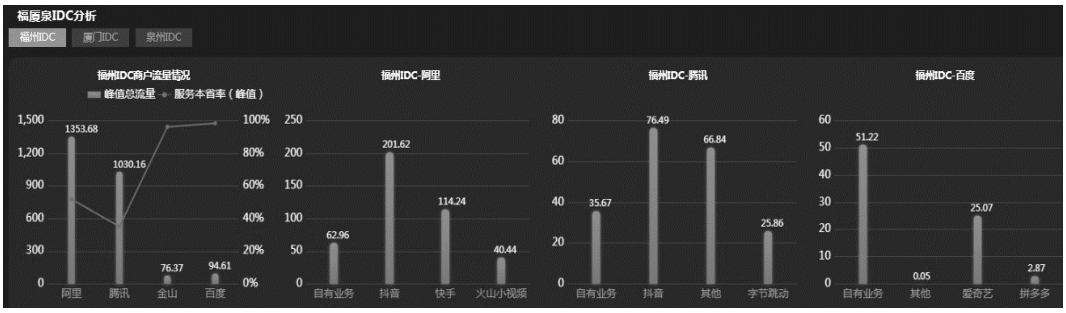


图 6 已入驻省内 IDC 分析

综合以上，通过自动化生成业务、CDN、商户、IDC维度和用户维度的详细分析数据报表，有效支撑了前后端的日常工作。

4 应用价值

本系统的落地应用，切实解决了前端业务部门对于流量精细化分析的需求，以及后端业务维护部门对于业务质量的提升分析需求，同时，良好的交互体验，开放的矩阵解耦分析，为后续个性化的需求，提供便捷的组合能力。

4.1 商业价值

互联网内容运营分析系统，实现了源IP（用户）-目的IP（服务器）-域名-应用-归属公司-归属CDN（IDC）的应用级综合流量流向分析。可根据市场前端的支撑要求，灵活选择应用、CDN、IP等维度的关联分析，并可通过API的方式，实时提供定制的分析数据，为市场前端、运营支撑等需求部门提供直观、准确和高效的应用级分析数据支撑，有效解决了数据整合效率低、应用识别率低、结果输出时间长等问题。

在市场经营方面，为了保证IDC价值最大化，防止低价竞争，精准谈判，前端业务部门提出业务全量流量分析、IDC/CDN客户承载内容分析等数据支撑需求，互联网内容分析系统多维度的业务和IDC/CDN客户画像数据，能够很好地支撑前端业务部分精确分析的需求，是IDC价值提升的有力臂助。

4.2 网络价值

在网络运维方面，可以详细分析各类业务的资源分布情况和质量情况、热门应用的流量流向情况，支撑网络部门的流量、质量分析需求，是网络波动、网络短板发现的好工具，并实现有的放矢的提出业务引入需求，开展业务优化。

4.3 用户价值

1、互联网内容运营分析系统是硬件解耦的纯软件方案，部署在 x86 通用服务器或者云资源池内，需要采集的路由器/交换机上，只需要做流采集发送配置即可，大大降低了系统的部署周期和复杂度；采集流量增长后，只需要根据流量情况，增加相应的服务器能力即可。

2、使用便捷，用户界面简洁明了，图形化界面，简单的查看使用说明，可轻松上手使用该系统，可根据需要查询的维度和报表类型，实时输出结果；系统提供了 API 的接口，外部系统可通过 API 接口实时调用定制的查询结果，大大降低了使用难度。

5 结束语

矩阵流量分析方案，适用于前端的政企部、网络运维部门和管理层对于IDC业务的价值运营，提供便捷、快速的数据报表支撑服务；可通过自动化报表模块一键获取业务应用、CDN、大集团、商户资源和IDC资源，“五大维度”的详细数据报表；以及通过报表系统对接的互联网流量视图内的“十大视图”，管理层可直观地掌握业务情况，明确工作重点；运维团队可快速进行业务质量评估、直观查看IDC情况，为质量提升保障提供依据；政企部门通过多维度流量视图，快速发掘潜在流量商机，作为引入工作的依据。

本成果已经在福建移动现网部署，依托于现有的内容运营分析系统的应用分析查询报表，采用JAVA开发的基于Web的UI交互设计，部署在x86通用服务器上；对于需要查询和下载报表数据，只需要在内部网络通过浏览器即可快速访问，大大降低了报表系统使用的复杂度，且系统部署简单，易于推广。

参考文献：

[1]杨慰民.基于大数据的移动互联网主动运维理论和实践进展[J],大数据 2016,2（6）

[2]严蔚敏、李冬梅、吴伟民.数据结构（C 语言版）[M].人民邮电出版社.2011

使用深度学习之都会区信道传播路径损失模型

林丁丙　庄嵘腾　林信标　萧荣修

摘　要：本论文应用深度学习技术来建构信道传播路径损失模型，此模型考虑都会环境中基地台与接收机之间的路径剖面特征，来估算路径传播损失。在 3.5GHz 频带的仿真结果显示，所提出的模型之路径损失估测准确度高于传统的方法。为了进一步了解所提出之深度学习模型的内部运作机制，本论文使用八个具有高影响度的特征参数，并以线性回归技术建构一个线性信道传播路径损失模型，用以推测所提出之深度学习模型的内部运作机制，仿真结果显示所提出之深度学习模型的解释性可达 72%。

关键词：路径损失模型、路径剖面、深度学习

1 INTRODUCTION

第五代行动通讯系统将为人们带来全新的应用与使用者经验[1]，但是在部署5G通讯系统的技术挑战中，准确的信道传播路径损失模型是迫切需要的。在文献中，已经存在很多对于无线通信系统的信道传播路径损失模型研究，举例来说，文献[2]比较了alpha－beta－gamma（ABG）信道模型与close−in（CI）信道模型。近年来，使用大数据的机器学习方法也被应用于各类研究中[3]，例如文献[4]−[5]使用深度学习来建构路径损失模型，其中模第五代行动通讯系统将为人们带来全新的应用与使用者经验[1]，但是在部署5G通讯系统的技术挑战中，准确的信道传播路径损失模型是迫切需要的。在文献中，已经存在很多对于无线通信系统的信道传播路径损失模型研究，举例来说，文献[2]比较了alpha－beta－gamma（ABG）信道模型与close−in（CI）信道模型。近年来，使用大数据的机器学习方法也被应用于各类研究中[3]，例如文献[4]−[5]使用深度学习来建构路径损失模型，其中模型输入为卫星影像、输出为接收讯号强度。

虽然深度学习技术具有强大的能力可以解决预测或是分类的问题，但是深度学习技术通常欠缺透明性[6]，因此，本论文提出应用深度学习技术之路径损失模型建模方法，同时使用一种线性路径损失模型来近似所提出之深度学习模型，用以解释深度学习模型之内部运作机制。以下章节编排如下：第2节回顾传统的路径损失模型；第3节说明所提出之路径损失模型；第4节呈现数值模拟结果；第5节说明所提出之深度学习模型的可解释性；第6节呈现测试验证结果；最后第7节总结本论文提出之观点与建议。

2. 传统的路径损失模型

2.1 Walfisch−Ikegmi 模型

Walfisch−Ikegami 模型同时考虑直视波和非直视波条件来计算路径损失，其模型可表示如下：

$$PLWI=LFS+Lrts+Lmsd \quad (1)$$

其中 LFS 是自由空间路径损失，$Lrts$ 是屋顶到街道的绕射和散射损失，$Lmsd$ 是多屏幕绕射损失。这些损失项都是载波频率的函数。此外，它们也和几何参数有关，例如，LFS 与发射器和接收器之间的距离有关；$Lrts$ 与平均街道宽度、道路方位角、平均建筑高度相关；$Lmsd$ 与平均建筑物间距、从平均建筑物高度到发射机天线的高度以及与绕射损失相关的因素有关。值得注意的是，Walfisch−Ikegami 模型的工作频率范围为 800 MHz 至 2 GHz，此频率范围超出大多数 5G 频段的范围。

2.2 ABG 模型

ABG 模型是第三代合作伙伴计划（3GPP）中使用的 alpha−beta （AB） 模型的简单扩展，它添加了一个与频率相关的参数。它也是标准的 3 GPP 模型之一，目前广泛用于 5G 应用，其模型可以表示为：

$PL^{ABG}=10\alpha\log_{10}d+\beta+10\gamma\log_{10}fc$（2）

其中 α 是与传输距离 d 相关的路径损失指数，β 是偏移项，r 表示路径损失对载波频率 fc 的对数的依赖性。最佳模型参数通常通过对测量数据执行线性回归来实现。

2.3 CI 模型

参考距离为 1 公尺的 CI 自由空间参考距离模型可表示为：

$PLCI=LFS(fc,d0)+10\alpha\log10(rd0/)$（3）

其中 $d0$ 是近距离自由空间参考距离，$LFS(fc,d0)$ 是载频 fc 和传输距离为 $d0$ 下的自由空间路径损失，以分贝为单位。最佳模型参数通常通过对测量数据执行线性回归来估计。

3. 所提出之路径损失模型

在都会环境中，无线电发射机与接收器之间的直接联机很可能被建筑物阻挡，如图1显示了发射机与接收机之间的概念概览、以及沿直接联机的路径剖面，其中 hTx 是发射机的高度，D 是水平距离。除了自由空间传播之外，建筑物的阻碍会导致过度的路径损失，因此，本论文在路径损失建模中加入了路径剖面参数。

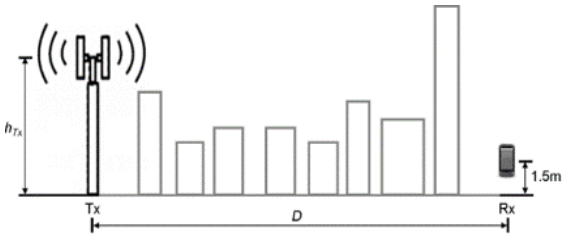


图 1、发射机与接收机之间的路径剖面示意图。

本论文所提出的路径损失模型结合了直视波与非直视波的传播场景。对于直视波传播情况而言，来自发射机的电磁讯号不会被建筑物阻挡，可使用对数距离（log−distance）模型来估测路径损失。对于非直视波传播的路径损失，本论文假设除了自由空间传播之外，建筑物的阻碍会引起过度的路径损失。图2显示了所提出的基于深度学习的路径损失模型，其中输入参数包括发射机高度、发射机与接收机之间的距离和路径剖面。假设基地站台讯号覆盖范围半径为 Q 公尺，以每公尺进行取样，则路径剖面可表示为长度为 Q 的向量，剖面向量中的数值代表沿着路径的建筑物高度，因此，所提出之深度学习网络的输入层长度为 $Q+2$，而输出层只需要一个神经元，用于预测路径损失，在输入和输出层之间，本论文使用了三个隐藏层，即 $L1$、$L2$ 和 $L3$，用于萃取导致路径损失的重要特征。表1列出所提出的路径损失建模中深度神经网络的超参数。

本论文所提出的路径损失模型结合了直视波与非直视波的传播场景。对于直视波传播情况而言，来自发射机的电磁讯号不会被建筑物阻挡，可使用对数距离（log−distance）模型来估测路径损失。对于非直视波传播的路径损失，本论文假设除了自由空间传播之外，建筑物的阻碍会引起过度的路径损失。图2显示了所提出的基于深度学习的路径损失模型，其中输入参数包括发射机高度、发射机与接收机之间的距离和路径剖面。假设基地站台讯号覆盖范围半径为 Q 公尺，以每公尺进行取样，则路径剖面可表示为长度为 Q 的向量，剖面向量中的数值代表沿着路径的建筑物高度，因此，所提出之深度学习网络的输入层长度为 $Q+2$，而输出层只需要一个神经元，用于预测路径损失，在输入和输出层之间，本论文使用了三个隐藏层，即 $L1$、$L2$ 和 $L3$，用于萃取导致路径损失的重要特征。表1列出所提出的路径损失建模中深度神经网络的超参数。

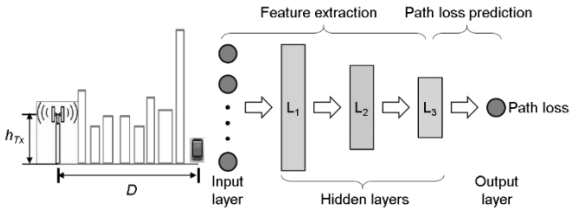


图 2、所提出之深度学习路径损失估测网络架构。

表 1、所提出的路径损失建模中深度神经网络的超参数。

Category	Value
Inputlength	502
Outputlength	1
Numberofhiddenlayers	3
Numberofhiddenneurons	502,128,8
Dropoutrate	0.18
Batchsize	128
Optimizer	Adam
Lossfunction	MSE
Activationfunctionforfeatureextraction（φ_i）	ReLU
Activationfunctionforpathlossregression（ϕ）	Sigmoid

为了探索所提出的深度学习路径损失模型的内部行为，本论文将一些选定的输入参数馈送到深度学习网络中，并观察输入特征和输出路径损失之间的关系。具体而言，本论文考虑了八个相关特征参数，如下所示：1）建筑物高度的平均值；2）建筑物高度的标准偏差；3）建筑物距离的归一化平均值；4）建筑物距离的归一化标准偏差；5）建筑密度；6） 平均建筑物宽度；7） 从接收机到最近建筑物的距离；8） 离接收机最近的建筑物高度。这些选定的特征参数可用于线性回归方法对路径损失进行建模。因此，第 k 个发射机与接收机对的路径损失可以表示为：

PLk=10αlog10Rk+β+$\Sigma uizi,k$8i=1+$\Sigma vizi,k$28 i=1 （4）

其中zi,k，1≤i≤8，表示上述提到的八个特征参数， α 、β、ui、vi 为需要优化的模型参数。

4. 模拟结果

本论文使用商用无线电讯号仿真软件进行路径损失估测实验，所使用的软件为EDX Wireless, Inc.公司开发之SignalPro®。在本论文将台北市区的三维地图导入无线电讯号仿真软件中。图3为模拟环境的俯视图，其覆盖面积为 900×900 m2，图中的多边形代表不同高度的建筑物，模拟环境中部署了七个具有全向天线的基地站，并在图中用带圆圈的十字标记。

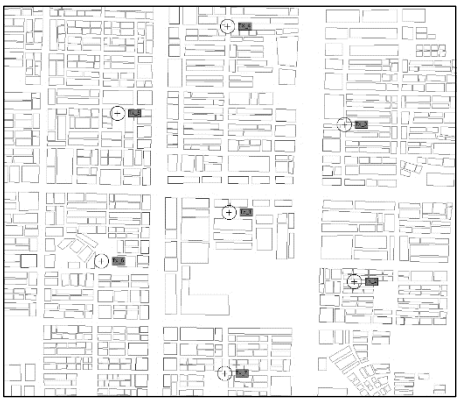


图 3、数值模拟环境。

在仿真中，基地站台的辐射功率与高度分别设置为 50 dBm和30公尺，接收机高度为 1.5 公尺且分布于道路上，使用射线光踪模型计算3.5 GHz 频段的路径损失，结果，并且记录了所有接收机位置的接收功率。

本论文使用射线追踪模型的仿真结果作为路径损失预测的标准值，所有的仿真数据都被划分为80%训练数据集和20%测试数据集。图4显示使用测试数据集时，所提出的路径损失模型和传统模型（即ABG模型和CI模型）的预测性能，图中的黑点是真实值，而红点是使用提出的模型的预测值，传统模型对于路径损失的平均值估测效能良好，但是实际预测值与真实值之间的误差值变异很大。

先将预测误差定义为预测值与真实值之间的差异，在平均误差方面，所有模型都表现出良好的性能，只有轻微的差异，然而，就标准偏差而言，所提出的模型优于 ABG模型和CI模型，分别降低了约4.71 dB 和4.84 dB。

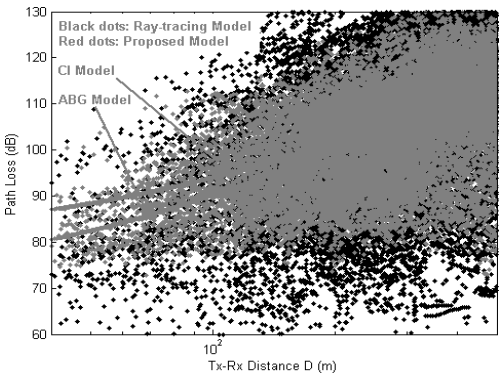


图 4、所提出的路径损失模型的仿真性能。

5. 所提出模型的可解释性

为了深入了解所提出的基于深度学习的路径损失模型的内部机制，本论文选择了特定的输入来探索深度神经网络的行为。具体而言，考虑了八个相关特征，如下所示：

5.1 建筑物高度的平均值：

建筑物的遮挡会导致传播损失，因此，本特征是沿剖面的建筑物高度的算术平均值。选定三个具有低、中和高特征值路径剖面，将这些路径剖面输入到模型中，观察输出值可以发现，虽然路径剖面可能不足以得出与路径损失的确切关系，例如线性、三次、二次等，但它们足以验证特征与路径损失之间具有相关性。

5.2 建筑高度标准偏差：

本特征是指建筑高度沿剖面的标准偏差。选定三个具有低、中和高特征值路径剖面，将这些路径剖面输入到模型中，观察输出值可以发现本特征与预测的路径损失之间存在正向线性相关性。

5.3 建筑距离的归一化平均值：

类似于前面提到的两个特征取纵轴统计，本特征和后面的特征取横轴统计。该特征是沿剖面从发射机到建筑物的距离的算术平均值。选定三个具有低、中和高特征值路径剖面，将这些路径剖面输入到模型中，观察输出值可以发现本特征与预测路径损失之间有非线性的关系。

5.4 建筑物距离的标准化标准偏差：

该特征是指Tx 到建筑物沿剖面的距离的标准偏差。选定三个具有低、中和高特征值路径剖面，将这些路径剖面输入到模型中，观察输出值可以发现本特征与预测路径损失之间有非线性的关系。

5.5 建筑物密度：

除上述两个横轴统计外，该特征描述建筑物沿剖面的百分比。选定三个具有低、中和高特征值路径剖面，将这些路径剖面输入到模型中，观察输出值可以发现本特征与预测的路径损失具有正相关系，可以近似为线性形式。

5.6 平均建筑宽度：

本特征是指沿路径剖面的算术平均建筑宽度，亦即平均街道宽度。选定三个具有低、中和高特征值路径剖面，将这些路径剖面输入到模型中，观察输出值可以发现本特征与预测路径损失之间有非线性的关系。

5.7 接收机到最近建筑物的距离：

一般来说，当高层建筑物靠近接收机时，路径损失往往较高，因此，本特征是指从接收机沿剖面最近的建筑物的距离。选定三个具有低、中和高特征值路径剖面，将这些路径剖面输入到模型中，观察输出值可以发现本特征与路径损失预测有关联。

5.8 距离接收机最近的建筑物的高度：

此特征是距离接收机沿剖面最近的建筑物的高度。选定三个具有低、中和高特征值路径剖面，将这些路径剖面输入到模型中，观察输出值可以发现本特征与预测的路径损失之间存在正线性相关性。

选定上述提到的八个特征参数后，即可以（4）的线性模型来评估深度学习模型的可解释性。本论文将解释模型的准确度定义为线性模型和提出的深度学习模型之间的相关系数，仿真结果显示准确率达到了72%。

6. 使用 5G NR 测量数据验证性能

本论文将所提出的基于深度学习的路径损失模型进一步应用于台北市环境中的真实非独立5G NR系统，测量环境位于北纬25.044773°、东经121.539456°，面积为 1×1平方公里，其中包含 9 个在 2.1 GHz 频段工作的基站，测量设备被放置在选定路线行驶的车辆中，测量报告包括参考符号接收功率（RSRP）、E-UTRAN小区标识（ECI）和车辆的GNSS坐标，然后，根据链路预算计算 发射机与接收机之间的路径损失。

在测量任务期间收集了16,359笔记录，图 5 显示所提出的路径损失模型和传统模型的预测性能，其中黑点是测量值，而红点是使用建议模型预测的值，蓝色和绿色曲线分别代表使用ABG模型和CI模型的预测结果。表 2显示了测量结果的

预测误差统计，传统模型和提出的模型在平均预测误差方面表现出良好的匹配，然而，就标准偏差而言，所提出的模型优于ABG模型和CI模型，分别降低了约3.41 dB和5.99 dB。此外，将线性模型（4）用于评估所提出的深度学习模型在现实 5G 环境中的可解释性，量测数据显示准确度可达到63%。

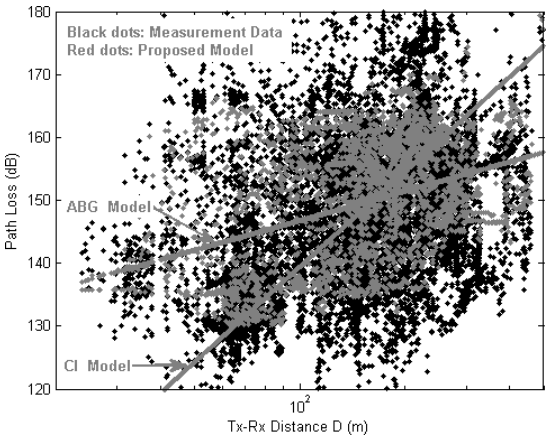


图 5、所提出的路径损失模型的测量性能。

表 2、测量中的路径损失预测误差。

	MeanError（dB）	StandardDeviation（dB）
ABGmodel	0.00	11.11
CImodel	−0.84	13.69
Proposedmodel	0.42	7.70
Improvementovertheabgmodel	−	3.41（30%）
Improvementovertheci model	−	5.99（43%）

7. 结论与建议

本文应用深度学习方法、提出了一种路径损失模型，该模型基于沿城市环境中发射机与接收机之间的直接传播路径的剖面，可用于5G蜂窝通信系统。所提出模型的神经网络萃取重要输入特征，然后根据它们来预测路径损失。仿真结果显示所提出的模型优于传统模型，与传统模型相比，预测误差的标准偏差降低了34%。除了追求深度学习方法的非线性映像所赋予的预测性能外，本文还探索了神经网络的内部机制。基于线性回归方法，本论文测试了八个可解释的特征并用于预测路径损失。仿真结果显示可解释模型的准确率达到了72%。此外，所提出的深度学习模型还在台北市区的非独立5G NR网络中进行了评估，测量结果显示与传统模型相比，预测误差的标准偏差降低了30−43%，在现实5G网络中，解释模型的准确率达到了63%。

致谢

本项研究由台湾大哥大公司资助。

参考文献

[1]Vannithamby,R.;Talwar,S.Towards5G：Applications,RequirementsandCandidateTechnologies;Wiley：Hoboken,NJ,USA,2017.

[2] Sun,S.;Rappaport,T.S.;Thomas,T.A.;Ghosh,A.;Nguyen,H.C.;Kov á cs,I.Z.;Rodriguez,I.;Koymen,O.;Partyka,A.InvestigationofPredictionAccuracy,Sensitivity,andParameterStabilityofLarge−ScalePropagationPathLossModelsfor5GWirelessCommunications.IEEETrans.Veh.Technol.2016,65,2843 – 2860.

[3] Zhang,Y.;Wen,J.;Yang,G.;He,Z.;Wang,J.PathLossPredictionBasedonMachineLearning：Principle,Method,andDataExpansion.Appl.Sci.2019,9,1908.

[4] Thrane,J.;Zibar,D.;Christiansen,H.L.Model−AidedDeepLearningMethodforPathLossPredictioninMobileCommunicationSystemsat2.6GHz.IEEEAccess2020,8,7925 – 7936.

[5] Ates,H.F.;Hashir,S.M.;Baykas,T.;Gunturk,B.K.PathLossExponentandShadowingFactorPredictionfromSatelliteImagesusingDeepLearning.IEEEAccess2019,7,101366 – 101375.

[6] Adadi,A.;Berrada,M.PeekingInsidetheBlack−Box：ASurveyonExplainableArtificialIntelligence（XAI）.IEEEAccess2018,6,52138 – 52160.

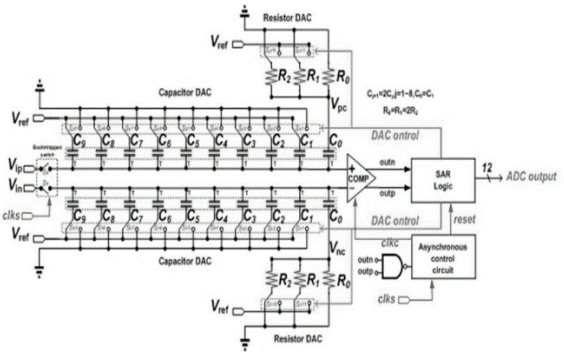
光学传感器之控制芯片设计应用于元宇宙虚拟与增强实境

赖文政　张胜良

摘　要：本文提出3D深度感测相机中的光学传感器内逐次逼近寄存器(SAR)模拟数字转换器(ADC)与锁相回路(PLL)，应用于虚拟现实(VR)与增强实境(AR)技术，其设计tsmc0.18-umCMOS制程中实现于元宇宙应用，通过应用基于Vcm的开关方法来降低数字模拟转换器(DAC)的开关功率，所提出的具有锁相环设计的SARADC在DAC数组中，使用更少的电容器，所提出的锁相回路(PLL)具有互补交叉耦合LC槽压控振荡器(VCO)以及分频器中电流模式逻辑(CML)和实际单相时钟(TSPC)逻辑的混合设计。

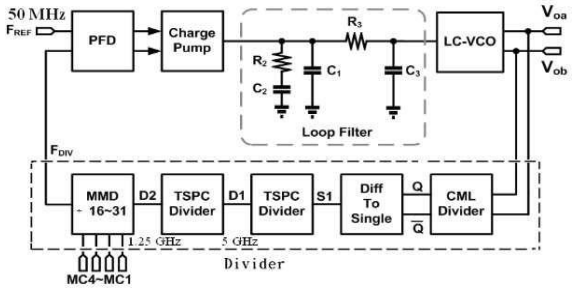
一、本文简介

近年来元宇宙(Metaverse)议题发酵，虚拟现实(VR)与增强实境(AR)技术的关键设计在3D深度感测相机中的光学传感器，本文提出光学传感器中逐次逼近寄存模拟数字转换器(Successive-approximationADC)架构[1]如图二所示，控制回馈部分，以锁相回路(PhaseLockedLoop,PLL)架构为主，主要由前馈路径中的相位/频率检测器(PhaseFrequencyDetector,PFD)、电荷泵(ChargePump,CP)、三阶环路滤波器与压控振荡器(VCO)[2]-[6]，以及前馈路径中的分频器组成反馈路径，如图二所示，本文介绍了12位5MS/s逐次逼近寄存器模拟数字转换器(Successive-approximationregisterADC)，其设计采用TSMC0.18-um CMOS制程实现，为了减少数字模拟转换器(DAC)开关数量与芯片面积，应用了混合电阻电容DAC，为了节省供给电源，使用了异步控制逻辑来驱动模拟数字转换器，构建基于前置放大器的比较器电路，以减少来自动态锁存器设计的反噪声，在1.8V供给电源电压与5.0MHz取样率下，测量结果分别达到DNL(微分非线性)的-0.55/0.72LSB(最低有效位)，与积分非线性(INL)的-0.78/0.92LSB，以及10.76位的有效位1MHz输频率下的位数(ENOB)，此逐次逼近寄存器(SAR)模拟数字转换器(AnalogtoDigitalConverter,ADC)芯片面积为0.83mm^{2}其功率消耗为490μW。



图一：本文提出的逐次逼近寄存模拟数字转换器(SARADC)架构。

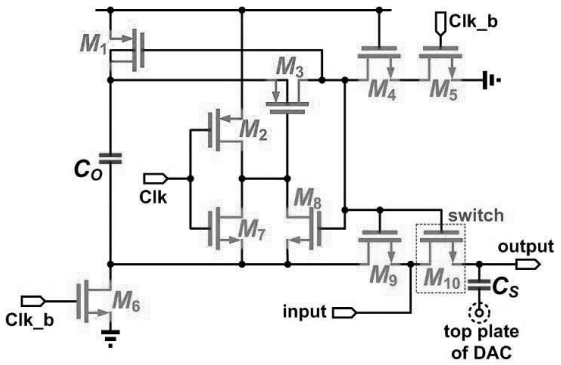
作者简介：
赖文政：台湾中国无线电协进会常务理事，国立云林科技大学物理教授。
张胜良：国立台湾科技大学电子工程系教授。



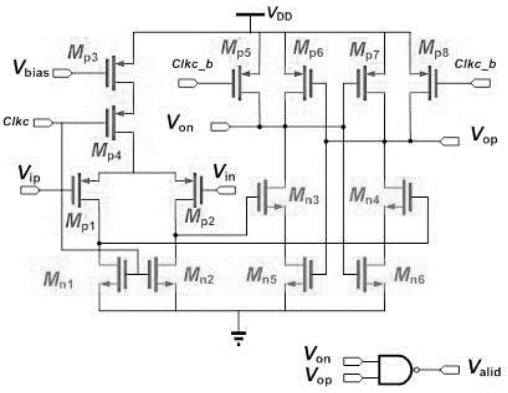
图二：本文提出的锁相回路（PLL）架构。

二、逐次逼近寄存模拟数字转换器（SARADC）之电路实现

本文提出光学传感器中逐次逼近寄存模拟数字转换器（SARADC）架构，其电路设计包含追踪保持电路（Trackandholdcircuit,T/Hcircuit），如图三（a）所示，且提出图三（b）具有前置放大器与锁存器的比较器电路，图四提出异步SAR控制器架构，使用输出缓存器组设计，如图五所示。

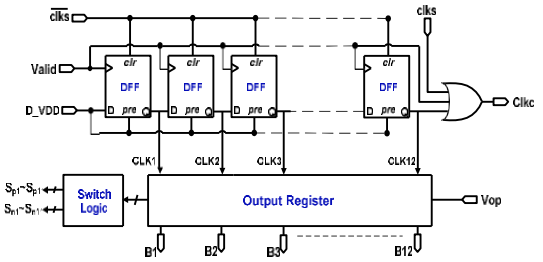


（a）

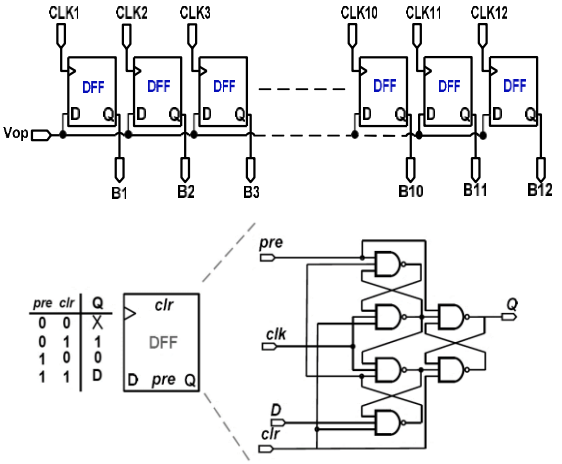


（b）

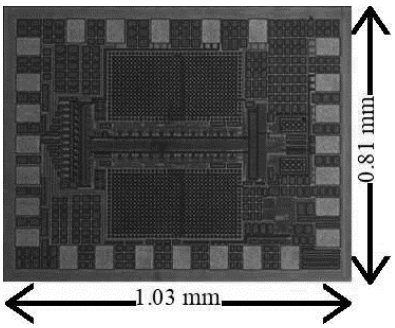
图三：本文提出的（a）追踪保持电路（b）具有前置放大器与锁存器的比较器电路。



图四：本文提出的异步 SAR 控制器架构。



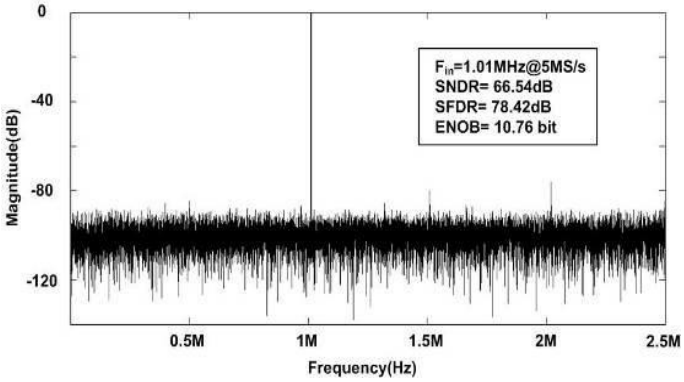
图五：本文提出的输出缓存器组。



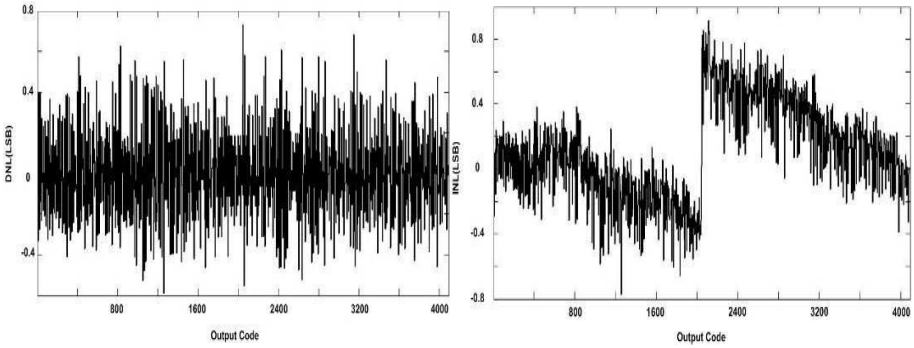
图六：SARADC 集成电路设计与布局图。

集成电路设计与布局总面积为1.03x0.81mm^2，其逐次逼近暂存模拟数字转换器（SAR ADC）芯片照片如图六所示，在供给1.8V电源电压、1MHz输入频率、1.2V峰对值幅度与5MS/s取样率下，量测频谱（FastFourierTransform,FFT），如图七所示，其模拟数字转换器测量DNL与INL于图八所示，它们分别为-0.55/0.72LSB与-0.78/0.92LSB，DNL与INL受数字模拟转换器（DAC）电容器数组布局的显著影响，测量的SNDR与SFDR之5MS/s取样频率的输入频率与采样频率的关系分别如图九（a）与图图九（b）所示，由于转换时间不足，性能迅速下降，量测的SNDR

与SFDR分别为66.54dB与78.42dB。

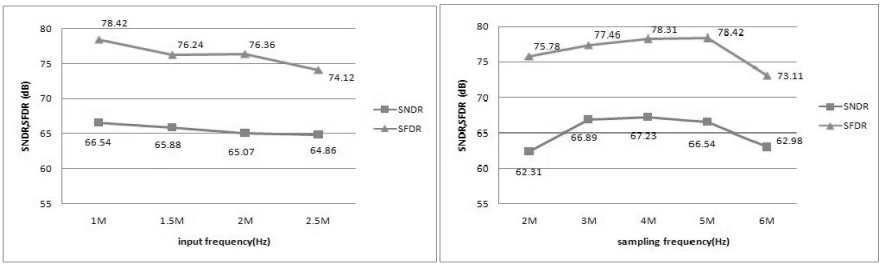


图七：电源 1.8V 与 5MS/s 取样率下，输入频率为 1MHz 所量测 FFT 频谱图。



（a）　　（b）

图八：在 1MHz 输入频率、电源 1.8-V 与 5-MS/s 取样率下量测（a）DNL（b）INL 图。

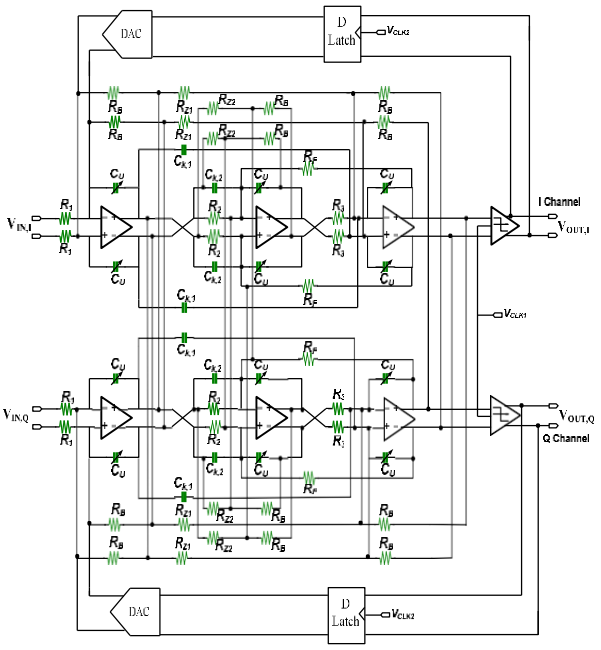


（a）　　（b）

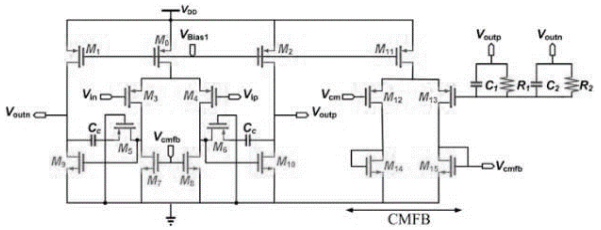
图九：量测 SNDR 与 SFDR（a）输入频率（b）取样频率。

三、锁相回路（PLL）之电路实现

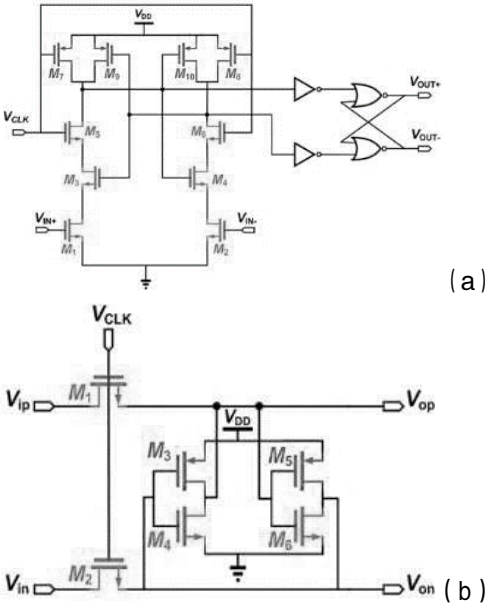
本文提出光学传感器中连续时间正交带通调制器（Continuous-timebandpassigma-deltaModulator,CTΣΔ）中推广了具有积分器炼和电容前馈求和（CICFF）组织的低通环路滤波器，图十显示了三阶连续时间正交带通调制器[7]-[9]，其中运算跨导放大器（Operationaltransconductanceamplifier,OTA）与有源频率补偿原理图，如图十一所示，其中动态比较器与设置复位（S.R.）锁存器选择降低功耗，如图十二（a）所示，提升的比较器与提升的D-latch，都使用频率频率对齐，来提升比较器的分配，与足够的再生时间，图十二（b）中显示的提升的D-latch，由于八分之一循环频率环路而延迟，大大的减小了谐波失真。



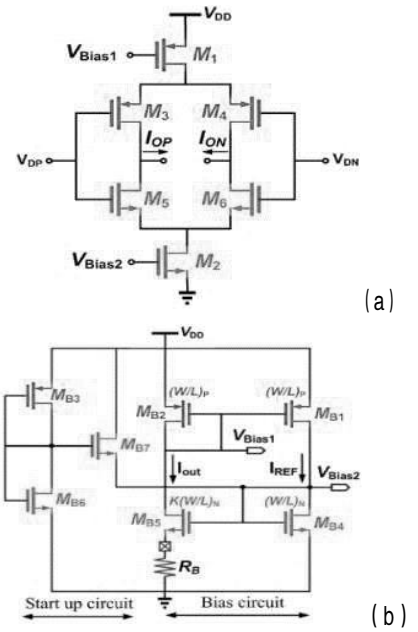
图十：连续时间正交带通调制器。



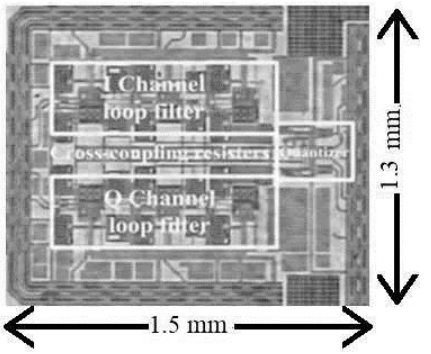
图十一：运算跨导放大器（OTA）原理图。



图十二：（a）具有 SR 锁存器的动态比较器示意图（b）D-锁存器示意图。



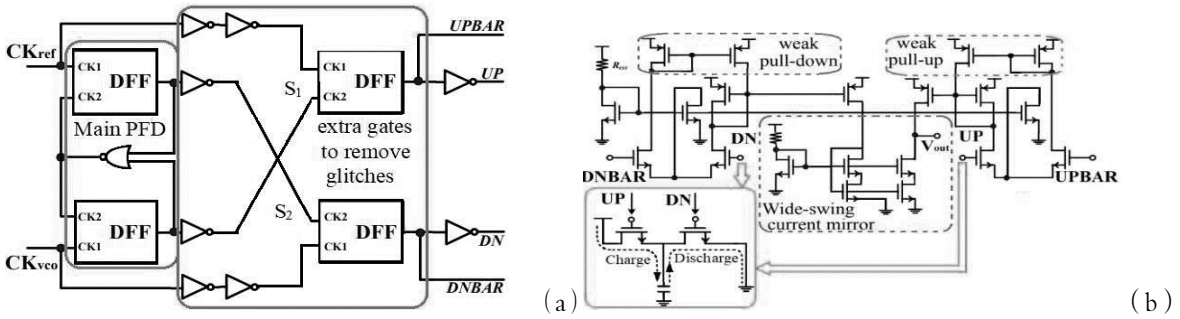
图十三：（a）数字模拟转换器（DAC）（b）具有启动元素的偏置。



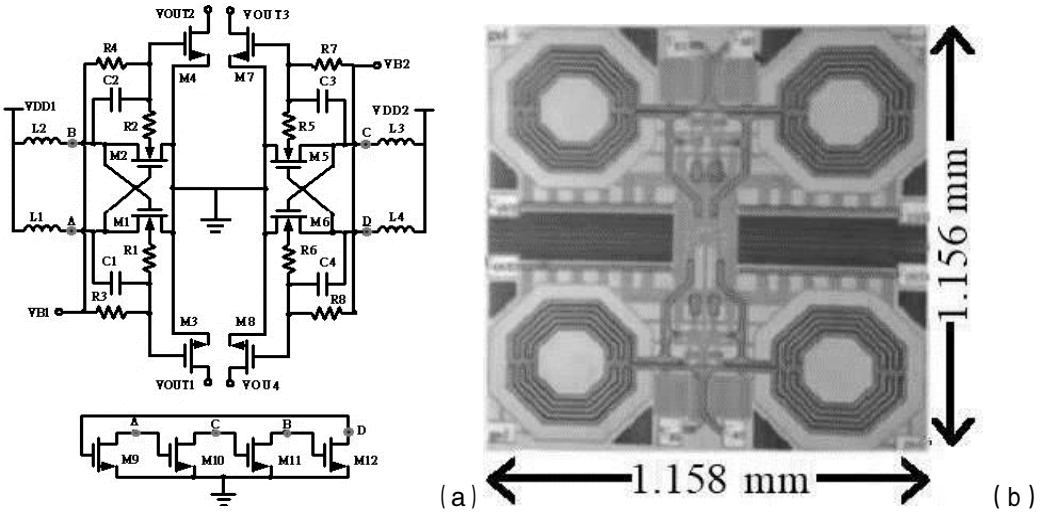
图十四：连续时间正交带通调制器之集成电路设计与布局图。

四、压控振荡器（VCO）与除频器之电路实现

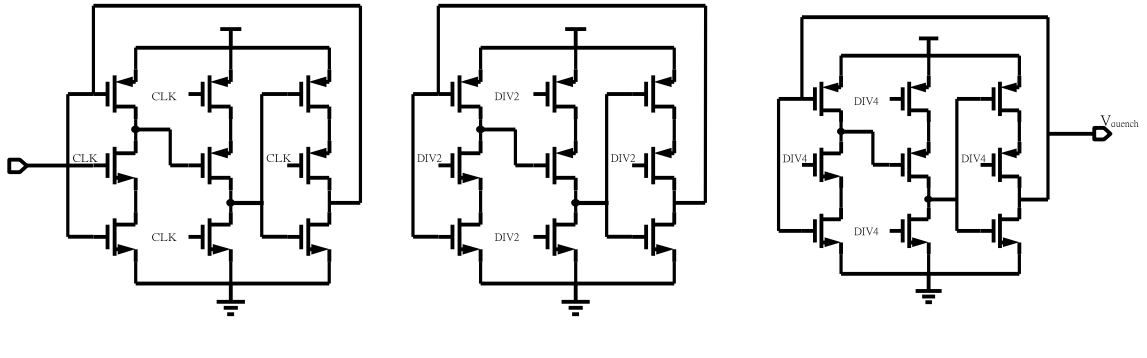
本文提出光学传感器中相位频率检测器（PFD）电路，如图十五（a）所示，带通滤波器[10]的电荷泵（chargepump）电路，如图十五（b）所示，本设计加入正交压控振荡器（QVCO）电路，该振荡器具有降低的功耗与相位噪声，如图十六（a）所示，其正交压控振荡器之集成电路设计与布局图，如图十六（b）所示，在TSMCCMOS制程中实现尺寸为1.158×1.156mm^2，除频器[11]-[14]使用除八Quench，如图十七所示。

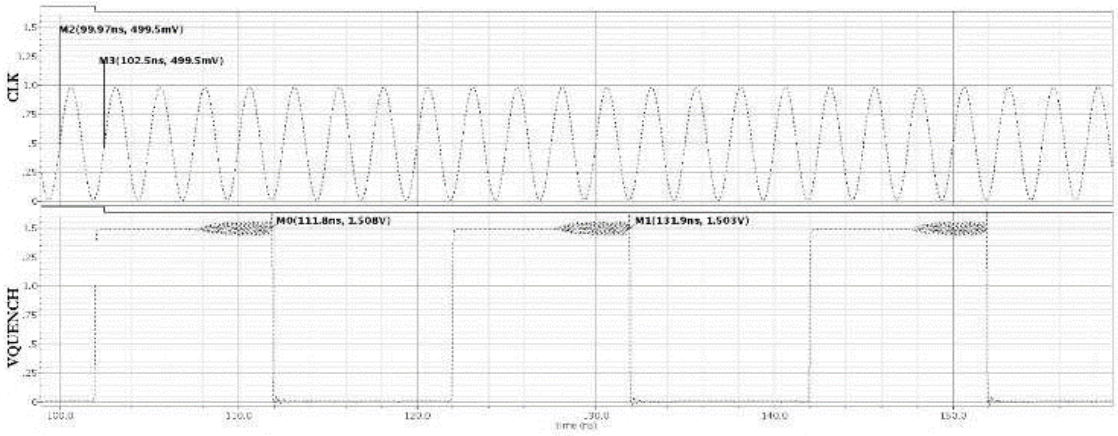


图十五:(a)频率检测器(PhaseFrequencyDetector)extragatestoremoveglitches(b)带通滤波器的电荷泵(chargepump)电路。



图十六:(a)正交压控振荡器电路设计(b)其集成电路设计与布局图。



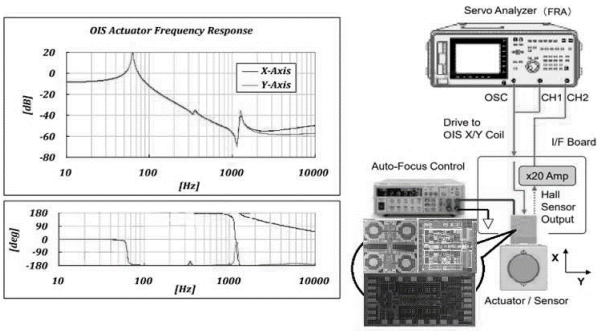


(b)

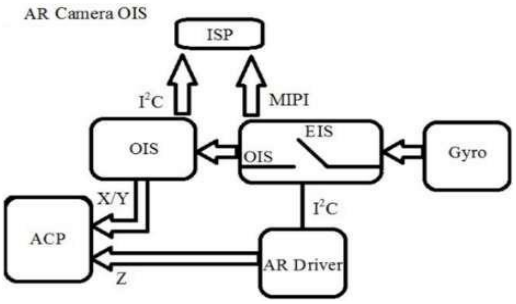
图十七：(a)在 50MHz 时 TSPCQuench 除 8 除频器(b)TSPC 除 8 除频器输出(V_{Quench})与输入频率之关系 @ 400MHz。

五、量测验证结果

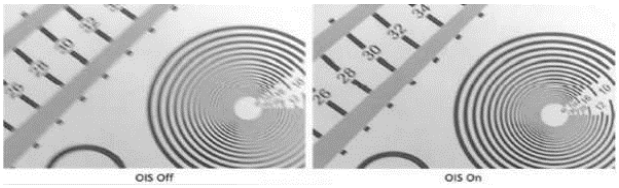
下图十八所示为量测3D深度感测相机中的光学传感器，导入本文提出芯片设计之逐次逼近寄存器(SAR)模拟数字转换器(ADC)与锁相回路(PLL)集成电路设计，在光学传感器中光学防手震(OIS)功能分析其交流特性，图十九(a)所示为于虚拟现实(VR)与增强实境(AR)技术，3D深度感测相机中OIS控制器，OIS传感器的性能测量了OIS场景开/关切换，测试环以15MHz振动的符号用于图像采集，如图十九(b)所示，具有摄影机图像传感器的OIS控制器提供，深度感测，以使用3D深度感测相机中的光学传感器，延空量测对象距离与体积，测量距离(z)，如图二十(a)中提到的设备周围的物理对象的深度，使虚拟现实(VR)与增强实境(AR)检测与跟踪，物理表面并覆盖虚拟内容，图二十(b)采用动作跟踪检测装置移动时，在三个维度(x-y-z)上的动作，动作游戏使用该装置作为OIS的控制器，并使用用于增强现实应用程序，实践元宇宙(Metaverse)构建动态游戏，如图二十一所示。



图十八：量测验证 3D 深度感测相机中的光学传感器。



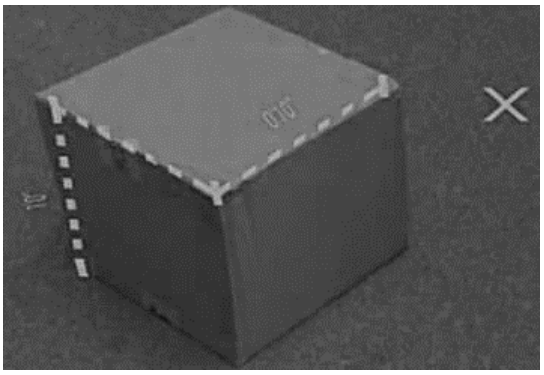
(a)



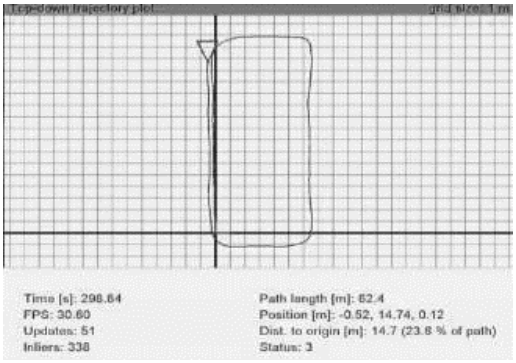
(b)

图十九：(a)用于增强现实(AR)相机的高精度光学防手震(OIS)控制与电子防手震(EIS)(b)

OIS场景开/关切换，测试环在15MHz振动下，进行图像取集量测。

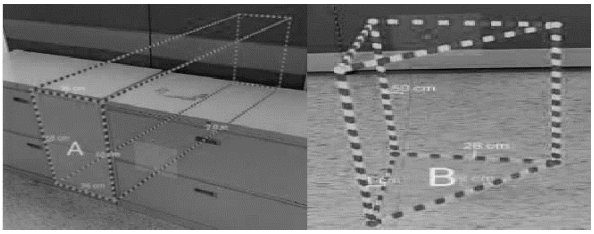


（a）



（b）

图二十：（a）x-y-z 测量的增强现实（AR）深度相机（DepthCamera）（b）动作跟踪相机之性能。



（a）

（b）

图二十一：（a）三个维度（x–y–z）的量测动作（b）提出的用于虚拟现实和增强现实应用的深度相机设计。

六、结论

本文提出了在TSMC0.18μmCMOS处理中实现，具有逐次逼近寄存器(SAR)模拟数字转换器（ADC）与锁相回路（PLL）集成电路设计现，在光学传感器中OIS控制功能用于影像传感器和增强精度相机以及增强现实（AR）应用的架构与设置，在近距离特征中，增强现实将寻路技术提升为准确、快速的室内定位和厘米级精度的导航，设备能够识别它以前去过的地方以进行区域学习，从深度精度和动作跟踪的角度来看，深度学习的人工智能算法推动的元宇宙（Metaverse）应用非常重要。

参考文献

[1]J.-F.Huang,etal.,“A10-bit100MS/sSuccessiveApproximationRegisterAnalog-To-DigitalConverterDesign,”IEICETrans.onElectron,vol.E97-C,no.08,pp.833-836,Aug.2014.

[2]W.-C.LaiandS.-L.Jang,“AnX-BandGaNHEMTOscillatorwithFour-PathInductors,”AppliedComputationalElectromagneticsSocietyJournal,vol.35,no.9,Sep.2020.

[3]J.-F.Huang,etal.,“A5.6-GHz1-VLowPowerBalancedColpittsVCOin0.18-umCMOSProcess,”IEICETrans.onElectron,vol.E96-C,no.6,pp.942-945,Jun.2013.

[4]S.-L.Jang,etal.,“AClass-CQuadratureVCOUsingtheVaractorCouplingTechnique,”Microw.andOpt.Techn.Lett.,vol.58,no.8,pp.1961-1964,May2016.

[5]W.-C.Lai,etal.,“ATriple-BandVoltage-ControlledOscillatorUsingTwoShuntRight-Handed4th-OrderResonators,”JournalofSemiconductorTechn.&Sci.,vol.16,no.4,pp.1961-1964,Aug.2016.

[6]J.-F.Huang,etal.,“Afullyintegrated5.6GHzlow-phasenoisecolpittsVCO/QVCOusingprogrammableswitchedcodes,”Microw.andOpticalTechn.Lett.vol.55,no.7,pp.1490–1493,Apr.2013.

[7]J.-F.Huang,etal.,“ChipDesignofa5.8GHzFractional-NFrequencySynthesizerwithaTunableGm-CLoopFilter,”ChinesePhysics.B,vol.21,no.084210,Aug.2

012.

[8]W.-C.Lai,“ChipDesignofanAll-DigitalFrequencySynthesizerwithReferenceSpurReductionTechniqueforRadarSensing”Sensor,22（7）,2570,Mar.2022.

[9]J.-F.Huang,etal.,“A2.4-GHZFrequencySynthesizerwithADiscrete-TimeSample-Hold-ResetLoopsFilter,”Microw.andOpticalTech.Lett.,vol.56,no11,pp.2591-2598,Aug.2014.

[10]J.-F.Huang,etal.,“The12MHzSwitchedCapacitorLow-PassFilterChipDesignforWiMAXApplications,”IEICETrans.onElectron,vol.E95-Cno.5.pp.972-975,May2012.

[11]S.-L.Jang,etal.,“Divide-by-2Injection-LockedFrequencyDividersUsingtheElectric-FieldCouplingDual-ResonanceResonator,”IEEETrans.onMicrow.TheoryTechn.,vol.68（3）,p.p.844-853,Mar.2020.

[12]S.-L.Jang,etal.,“HighEven-ModulusInjection-LockedFrequencyDividers,”IEEETrans.onMicrow.TheoryTechn.,vol.67,issue：12,p.p.5069-5079,Dec.2019.

[13]S.-L.Jang,etal.,“WideLockingRangeRLC-TankBalanced-InjectionDivide-by-5Injection-LockedFrequencyDividersBasedonHarmonicMixing,”IEEETrans.onMicrow.TheoryTechn.,vol.68,issue3,p.p.894-903,Mar.2020.

[14]S.-L.Jang,etal.,“Injection-LockedFrequencyDividerwithaResistivelyDistributedResonator forWideLockingRangePerformance,”IEEETrans.onMicrow.TheoryTechn.,vol.67,issue：2,p.p.505-517,Feb.2019.

浅析元宇宙在教育领域的应用与发展

涂蓝方

摘　要：基于虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）等技术构建的元宇宙，实现现实和虚拟的深度融合，追求沉浸式体验，比虚拟现实更具极致性。在元宇宙的概念下，融合虚拟与现实世界，让其应用拓展教与学的时空边界，拓展教育价值。元宇宙在教育领域具有广阔的应用前景。提供高度沉浸、自然交互的虚实融合教学环境，推进学习者思维的表象化。

关键词：元宇宙、区块链、虚拟现实、教育应用

1.元宇宙概述

元宇宙仅从字面翻译的意义上是“超越宇宙”，整合了 3D 图形、屏幕或者虚拟现实。从本质上分析，是指脱胎于现实世界且独立于现实世界的虚拟空间，是反映出现实世界的沉浸式虚拟在线世界。

元宇宙集成网络和算力技术、人工智能、电子游戏技术、显示技术，区块链技术等先进技术，且具有高速率、高带宽、低时延的特点。基于区块链的去中心化经济系统能够为参与者提供更加公平、良性的激励约束机制，并借助比特币、NFT 打造更加繁荣的数字经济系统。通过连接进行共创、共享、共治，人们可以在元宇宙中集展示、创造、娱乐社交、交易等等于一体。虽然当前元宇宙主要应用在游戏方面，在市场需求的促进下，资本必将投入更多元的元宇宙产品研发。在元宇宙的概念下，融合虚拟与现实世界，让其应用延至教育等领域，拓展教育价值。

2. 技术底座

2.1 5G

5G 为网络环境实现超高速率，超大连接，超低时延，使 VR/AR/MR 成像或全息影像时延降小于 20 毫秒，保障元宇宙中虚拟学习场景运转的流畅性。结合 5G 网络、双千兆专网和 5G 基站，部署元宇宙的 5G 云网融合服务网关，支持路由、旁路、桥接等多种模式，依据设备配备情况进行灵活部署，使得多用户元宇宙网络交互成为可能。破解智能技术融合赋能的通信屏障，为元宇宙提供强大支撑。

2.2 人工智能、云计算

人工智能、云计算为数据处理提供强大支撑。人工智能使得人和技术系统交互更具人性化，让人们将进入虚实融合、资源丰富、生动立体的智能世界。借助资源云、数据云与服务云，实现学习元宇宙里数据上通下达的无缝式衔接和转化，生成元宇宙新的体系结构、逻辑框架和服务模式。人工智能、云计算支撑元宇宙庞大的算力需求，从而促进元宇宙系统的硬件智能虚拟化与软件智慧服务化的改造升级，形成各子系统智能深度整合的新样态，产生多元、虚实融合的学习活动形式。

2.3 区块链

区块链在元宇宙的认证机制发挥至关重要的作用。该技术主要由哈希算法与时间戳技术、数

作者简介：

涂蓝方：福建省邮电规划设计院有限公司咨询师，毕业于重庆邮电大学-数字媒体技术专业，长期从事信息化咨询领域的研究、设计工作。

据传播与验证机制、分布式存储、智能合约以及分布账本等组成，区块链技术主要包括点对点传输、数字加密技术、分布式存储、共识机制和智能合约等。利用密码学按时间序列把数据区块顺次相连，构成了链式数据结构。实现数据信息的公开透明、全程可追溯、不可伪造和集体维护等功能。借助区块链去中心化的技术优势，元宇宙里的参与者一起进行内容创造、成果分享、参与治理。

2.4 人工智能、数字孪生

人工智能、数字孪生为内容生产打下基础。建立虚拟世界与现实世界的双向连接需要人工智能技术的支撑，是万物智慧的根本技术，这将推动人工智能技术在多模态人机交互、三维计算机视觉等领域的运用，提高优化仿真与自然交互能力。数字孪生充分利用传感器更新、物理模型与运行历史等数据，集成多学科、多尺度与多概率的仿真过程，在虚拟世界里完成映射，进而反映相应的实体装备的全生命过程周期。元宇宙能够充分体现涉身性、情境性与体验性，借由数字孪生技术搭建能让用户全身心投入空间。

3.元宇宙+教育

元宇宙中可以更为真实地呈现参与者化身与虚拟人物的基本特征和心理情绪等，其交互关系非常真实，因此，元宇宙能通过场景赋能提高教育学习过程的沉浸感、互动性及获得感，对各类学科的学习带来极大的帮助。

3.1 教学场景

我国有专家提出元宇宙极其适合应用于沉浸式学习，元宇宙在教学中具有天然的、不可代替的重要价值，能彻底解决时空局限、资源失衡以及社交受阻等问题，实现高质量的教育教学。学习资源失真、时空局限、学习空间分散等问题导致课堂教学与课前学习是割裂的，而基于 VR／AR／MR 技术打造虚实联通的新型教学场景，具有真实感、智能性的多虚拟化身，以情景化教学为主，能为学生创造更具身临其境的学习环境。学生可在沉浸式体验里展开深层次学习活动，主动建构知识，教学场景将借助新技术变得个性化与生动化。强调学生在真实场景中进行自主探究，如在语文、历史教学中，元宇宙技术下的课件将不被拘泥于书本和幻灯片，学生可以自行穿梭在古代的街头，见证当时的社会风俗，亲身感受盛唐与富宋，与名家当面交流。在数学、物理教学中，可以借助丰富的资源向学生展示空间几何的构建、宇宙大爆炸的过程，甚至可以跨越百年与牛顿共同探讨万有引力；如在化学教学中，元宇宙能尽可能地降低实验损耗，节约教学成本，而在高危险系数的实验中，能起到保护师生安全的作用。根据学生学习的需求指定不同的场景，在相应的场景里进行实时互动、多人协作等个性化学习体验。实现可验证的实验环境、无障碍远程协作探索、跨区域的深度参与学习、自由创造的群体创造空间等。不断强化对知识的理解，提高知识迁移和应用能力，促进有意义的知识建构。

客观上游戏是最接近虚拟世界想象的产业领域，属于市场自然的选择。在“数智赋能”时代，学习元宇宙能够将沉浸式游戏体验和学习过程融合，游戏化学习也是元宇宙支持的场景。借助 VR／AR／MR、脑机接口等终端，教育元宇宙支持的游戏化学习具有更多的学习自主性，可以自行选择自己喜欢的角色、不同风格的场景、不同难度的游戏主题、不同类型的游戏主线，在不破坏游戏框架和学习目的的情况下，创造性地完成任务，享受创造游戏角色、续写游戏主线等超级权限，主动构建知识系统，恢复游戏的教育意义。

3.2 交互方式

基于脑机接口与传感技术打造的多通道深度感知交互，能够突破现实世界的客观局限，学生能够随心所欲地同虚拟对象或真实物体进行互动，感受三维立体的交互，在教育元宇宙中自由创作、打造属于自己的虚拟空间。以模拟真实空间的虚拟资源为主，师生都可以与虚拟资源进行交互。师生可以在不同地点同时进入到元宇宙中，实现多人异地协同学习。由于元宇宙实现了现实与虚拟的融合，所以教师能将某一知识点和理论相关的虚拟图像和视频直接展示在元宇宙中，加深学生认知与理解，提升教学的效果与质量。这样的

学习过程更具互动化、仿真化。元宇宙中的教学，可以从视、听、嗅、味、触觉等多种方式强化学生的学习认知。

学生既是学习资源的使用者，又是重要的创造者，能够促进学习资源保持动态更新。其交互方式的灵活性促使了数据来源更丰富、评价方式更多元、评价精度更高。教师可根据学生的学习兴趣、发展特点及需求，根据学习进度自主选择个性化教学方式，学生也可以对自己感兴趣的内容进行学习，与其他学习者和场景元素交互，应用相关信息、知识分析和解决问题，完成自评和他评且获得即时反馈，从而促进知识建构和素养提升。

而对教师而言，通过与学生在元宇宙中的互动，可以不断反思与调整和学生的互动，提高教学质量，促进教师的专业发展，助于辅助教学与研训。其研训成本低，可常态化进行。在虚拟课堂中，教师能够准确地获取学生的实时反应，由此判断其学习状态，进而动态地调整自己的教学进度，使其获得更好的学习效果。提供更加智能的教学服务与体验，展现交互性、真实性、沉浸性、创造性、多样性等特征与趋势。

3.3 校园建设

将校园的整体空间布局还原进元宇宙，如教学楼、操场、体育馆、园林、道路等，师生能在元宇宙里举行教学及其他重要公共活动，包含迎新、竞赛、晚会、文体活动、典礼、学术会议等。纵使是因疫情、天气、灾害等因素导致活动难以如期举办或线下参加，也能在元宇宙中线上进行。自 2020 年以来，全球新冠疫情迫使部分学校在线举行线上教学、畅游虚拟校园、“云迎新”、“云毕业典礼”等活动，让广大学生感受到“初级元宇宙”的快乐。元宇宙逼真的互动性与高度沉浸感，让师生体验了难忘的元宇宙化校园之行。在可预见的未来，元宇宙校园会得到更多人的认可。随着无数师生与领导了解元宇宙，以及校外互联网科技公司的宣传与合作推广，势必将教学楼、操场、体育馆、图书馆、校史馆等放入元宇宙，并展开一系列丰富多彩的活动。

元宇宙在沉浸式图书馆建设中具有强烈优势，打造沉浸式阅读环境、数字资源管理、个性化学习支持，推进图书馆数字资源从静态平面化资源向动态立体化资源转型。突破图书馆的时间与空间局限句仙你，复原稀缺珍贵的书籍，完善学习资源的获取方式，体验沉浸式阅读场景。

4.国内外高校实践

美国斯坦福大学开设了全球高等教育历史上的“第一门元宇宙课程”。该课程在 2003 年就已创立，当时仅靠文字及视频的形式进行教学，而如今斯坦福为了教学效果，给每位学生配备头显与双手柄，不受空间限制学习课程。让学生进行大型团体实地考察、小组讨论、表演现场音乐和短剧，可单独或共同建立属于自己的斯坦福元宇宙。

2021 年 9 月，泰国著名公立大学孔敬大学启动了“元宇宙体验”学习项目。同年 10 月 18 日，新加坡新跃社科大学包容性金融技术节点宣布成立“元宇宙实验室”，旨在研究物理与虚拟世界，去中心化网络的结合，展现了共享、关注、贡献和平台经济。

中国部分高校也已积极拥抱“元宇宙+教育”。2021 年 6 月，中国传媒大学动画与数字学院为了不让疫情影响学生的毕业典礼，于全球著名电子游戏《我的世界》中打造了一场在线虚拟毕业典礼。其讨论度高达 797 万，传播速度飞快。该项目也进一步细化校园内部情景，推出“云上红毯”活动，作为全校毕业典礼的互动环节之一向全校同学开放。2022 年 2 月，中国人民大学交叉科学研究院表示已成立了元宇宙研究中心，旨在通过对元宇宙这一国际创新领域的探索，整合统筹校内外科研力量，推进学科交叉、交叉学科学术交流与人才培养。

5.挑战与机遇

尼葛洛庞蒂（2017）曾预言，“计算不再只和计算机有关，它决定我们的生存”。元宇宙作为一个去中心化、极其复杂且开放的系统，应具备巨大的算力、先进的硬件设备和严苛的现实条件，还需全社会的共同参与，面临着技术、内容、标准

和法律等方面的难题。

5.1 挑战

1、技术瓶颈

元宇宙将各类新兴技术集合，具有极高的技术要求。各个行业的数字化与虚拟化尚处于初级阶段，还存在一定的技术瓶颈。纵观实际情况，技术局限性仍然是制约元宇宙发展的最大因素。在硬件方面，VR，AR 设备的专业性强、通用性差，其内容的数据格式复杂，不同平台之间的兼容性较差，给内容推广带来很大困难。同时虚拟现实设备的眩晕感仍未缓解，头戴设备不够舒适，相关内容的开发成本巨大。非同质代币（NFT）也暴露出缺乏健全的定价机制和交易规则等问题，同时底层技术难以满足相关应用落地的实际需求，实现超低延迟任重道远。

2、行业标准

目前元宇宙尚未建立行业标准。互联网的大范围普及和大规模发展皆建立在一系列标准与协议的基础上，但目前在元宇宙领域并未建立行业标准。技术发展、师生需求、学习资源供给以及教与学目标变化等决定了教育元宇宙体系框架必须具有可拓展、可连接和可发展等特征。由于缺乏统一的行业应用标准体系，用户体验难以控制，导致 VR 技术难以快速应用、快速复制。同时存在个人隐私泄露的风险，对数据采集及处理标准应严格遵守，高度重视隐私保护。

3、信任机制

教育元宇宙中的虚实融合、虚实联动，导致其信息体量大，种类多样且来源复杂，师生难以辨识信息的真伪，建立一套可追溯、可验证的信任机制迫在眉睫。师生在元宇宙中的行为会对真实世界产生影响，反之亦然。信任机制可防止师生受诈骗、虚假等不良信息的侵害，保障开展正面互动，在虚拟世界中获得满足感、自豪感，并将其带入现实生活中，推动真实世界向善发展。同时在元宇宙发展的过程中，还应警惕因学生过度沉迷而带来的各类负面影响等。

5.2 机遇

在人类需求与技术演进的共同促进下，元宇宙多元场景的实现与产业的成熟仅是时间问题。作为现实世界的延伸，元宇宙未来能带来的巨大机遇是令人期待的。

发展经济新动能，加快元宇宙的技术创新，精准布局核心技术，推动新一轮科技变革。元宇宙是大数据、人工智能、云计算、区块链和虚拟现实等技术的集大成者。加大基础信息技术研发投入，各类先进技术的融合和升级将为传统经济带来颠覆性的洗牌，鼓励和支持相关企业加强基础研究，增强技术创新能力。通过攻关关键核心技术，带动产业协同发展，产业转型迎来新升级指日可待。培育壮大大数据、人工智能、区块链、VR、AR、MR 等新兴数字产业，提升通信设备等领域产业实力。融合基础研究和应用创新，形成元宇宙落地闭环。

对我国而言则需立足国情，根据元宇宙发展规律，兼顾目标导向和需求导向，加强顶层设计，完善路径规划。就元宇宙可能为我国经济、文化、社会带来的远期影响进行深度分析，明确元宇宙发展定位。研究其发展的可行路径，分阶段制定战略规划。

推进元宇宙创造实际价值，助力传统产业转型，提高民生福祉。可从政府服务入手，分步推进元宇宙在实体产业中落地，如教育产业转型，提高服务质量，优化师生体验等。引导元宇宙向好向善发展，提升人民幸福感。鼓励行业自律，强化社会责任披露，引导运营商主动承担社会责任。

汇聚法治共识，建设元宇宙发展保障机制，积极探索元宇宙治理的专属方案。健全元宇宙建设的行业规范和激励约束机制，让科技创新不断增进民生福祉。建立完备标准与监管法规，防范资本的行业垄断与无序扩张。同时应完善数据安全与知识产权保护的法律，切实保护使用者的隐私、财产与信息安全。元宇宙涉及到多个主体，需要多方协同治理，为世界范围内的元宇宙治理提供中国方案。我们应未雨绸缪，以法律规约，弘扬正确的网络价值观，布局元宇宙治理规范，构建多方协同的良性治理模式。

5.结束语

教育工作者要关注元宇宙带来的变化，主动了解元宇宙新技术及其应用。另一方面，元宇宙将进一步拓展在线教育的深度和广度，通过多方互动，为包括师生、家长等在内的所有参与者提供更好的线上教育环境。虽然国内外的互联网巨头都在大力布局元宇宙，但是元宇宙仍处于早期探索阶段，支撑元宇宙快速发展的支撑要素尚未完备，元宇宙可能需要 10 至 15 年的时间才能开花结果。元宇宙不是架空的世界，而应是立足于现实生活并可以促进实体经济发展的世界。虚对待元宇宙，我们应科学研判其可能带来的机遇和潜在的风险，提早谋篇布局，鼓励积极探索，抢占未来发展制高点。

参考文献

[1]PAGEC，GEHLBACHH.HowanArtificiallyIntelligentVirtualAssistantHelpsStudentsNavigatetheRoadtoCollege[J].SocialScienceElectronicPublishing，2017，3（4）：1-12.

[2]华子荀,付道明(2022).学习元宇宙之内涵、机理、架构与应用研究——兼及虚拟化身的学习促进效果［J］.远程教育杂志，40（1）：26-36.

[3]方凌智.技术和文明的变迁：元宇宙的概念研究[J].产业经济评论，2022（01）：5-19.

[4]孙冰.元宇宙虚实[J].中国经济周刊,2021,（5）：92-93.

[5]刘革平,王星,高楠,等.从虚拟现实到元宇宙：在线教育的新方向[J].2021,33（6）：12-22.

双谱耦合中的相位特点分析

吴文兵　袁晓建　熊金泉

摘　要：双谱已经在包括故障检测、雷达信号处理和天文学等各个领域得到了广泛的应用，这些应用的方法都是通过分析各种信号双谱谱峰分布的特点，从而得出不同的结论。但到目前为止，双谱谱峰代表的意义尚无明确界定，为了解决这一问题，基于傅里叶变换理论，本文通过对于符合相位耦合条件的余弦信号的双谱谱峰分析，得出了比较详细的结果，即对于信号双谱中的每一个谱峰，都赋予了明确的物理意义，从而为双谱的应用提供理论支持。同时对于零均值和非零均值信号的双谱分析，指出了非零均值信号可以在不影响双谱分布特点的前提下，通过将其转化为零均值信号，从而降低非零均值信号的运算复杂度。对于信号中的相位耦合现象进行了理论分析与计算，指出了产生这种现象的必然性。并提出了一种改变双谱谱峰数量的新方法。最后通过模拟信号和语音信号的实验，验证了这些理论分析的正确性。

关键词：双谱，谱峰分布，耦合信号，零均值与非零均值信号

1 引言

随机过程可用它的各阶矩来完整描述。与矩一样，可用累积量从时域来描述随机过程的统计特性；亦可用高阶谱从频域来描述随机过程的统计特性。由于三阶矩与三阶累积量相同，故三阶谱（也称双谱）定义为三阶矩函数的二重傅里叶变换。

双谱目前已经在很多领域获得了广泛应用，如故障诊断、雷达信号处理和天文学方面等等，这些应用又进一步促进了双谱理论的丰富与发展[1-6]。

高阶谱与功率谱比较具有很多优点：主要是①可用来检查过程的高斯性。因为高斯过程的三阶谱及二阶以上累积量谱恒等于零，所以高阶谱可用来检查过程的高斯性，另外，三阶谱及四阶累积量谱能滤去信号中混入的零均值高斯噪声的影响，即对噪声不敏感。②可检测系统非线性。正弦信号的三阶谱等于零，线性系统在正弦信号的激励下，稳态响应仍为同频正弦信号，所以其三阶谱等于零。而非线性系统输入正弦信号的响应包含有高次谐波，其三阶谱不等于零。对于零均值白噪声激励、线性系统的响应不含有高阶传递函数的贡献，即响应与输入相互独立，其高阶传递函数恒等于零。对非线性系统，由于非线性影响，其响应含有高阶传递函数的贡献，所以累积量谱不等于零。③可估计非高斯过程的相位。在远距离通信和地球物理学等方面，人们需要解决反射波和地震子波等的非最小相位估计，这不得不借助于高阶谱。

高阶谱中的三阶谱（亦称双谱），阶数最低，处理方法也最简单，含有功率谱中所没有的相位信息，是高阶谱研究中的“热点”。相对来说，对三阶谱理论和方法的研究比较深入，应用也比较广泛；对于比三阶更高的高阶谱，其理论和方法的研究还不够成熟，亦未发现它们的特殊用途。因此常用的是三阶谱。高阶谱可以解决功率谱所不能解决的问题。

高阶谱提供如非最小相位、非高斯和非线性等功率谱所不能提供的信息；它对高斯噪声不敏

作者简介：
吴文兵：毕业院校：厦门大学；　专业：电路与系统；学位：博士；现就职于福州外语外贸学院，教授。

感和在抑制高斯噪声方面所具有的明显效果，提高了信号处理的能力。当然还有许多有意义的问题待进一步研究，如非线性维纳模型参数估计方法的研究，模型结构判断的研究，以及将高阶谱应用于各种信号处理中去，提出和设计各种新型的信号处理设备将是更有意义和实用价值的课题[8]。

任何高斯过程的高阶累积量均为零这一事实使得高阶累积量作为数学工具在理论上可以完全抑制高斯有色噪声的影响。但是，高阶矩却无此优点，因为高斯过程的高阶矩并不恒为零。因此，在实际工程应用中，通常使用高阶累积量和高阶累积量谱（简称高阶谱）作为分析非高斯随机过程的主要分析工具。

文献[9-15]对于三阶累积量和双谱的耦合性质进行了详细的理论分析，明确指出了各种复数高阶累积量的不同定义形式的耦合特征。

高阶谱的物理意义不明确是其没有功率谱应用广泛的重要原因之一。功率谱表征信号功率随频率的分布，而双谱、三谱却没有清晰的物理意义。

为了进一步明确双谱的含义，本文对于发生了相位耦合现象的信号双谱进行了详尽的理论分析，指出了双谱中每一个谱峰产生的原因。傅立叶变换理论指出，满足一定条件的某个函数可以表示成三角函数（正弦和/或余弦函数）或者它们的积分的线性组合。依据傅立叶变换方法，通过分析实际采集的语音信号中这种相位耦合的现象是否会发生，以及如何发生也进行了详细的讨论，并依据实验结果给出了相应的结论。这些分析结果既明确了双谱图中每一个谱峰产生的原因及其代表的含义，也解决了本文分析过程中所采用方法的普适性问题。本文的结论对于进一步推广双谱的应用具有一定的意义。

2 傅里叶变换与高阶累积量

一个以 T 为周期的函数 $f(t)$，在 $[-\frac{T}{2},\frac{T}{2}]$ 上满足狄里克莱条件：1° $f(t)$ 连续或只有有限个第一类间断点；2° 只有有限个极值点。那么 $f(t)$ 在 $[-\frac{T}{2},\frac{T}{2}]$ 上就可以展成傅里叶级数。在连续点处

$$f(t)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}(a_n\cos n\omega t+b_n\sin n\omega t)\text{，}\quad(1)$$

其中　$\omega=\frac{2\pi}{T}$，

$$a_n=\frac{2}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}}f(t)\cos n\omega t dt,\quad(n=0,1,2,\cdots)\text{，}\quad(2)$$

$$b_n=\frac{2}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}}f(t)\sin n\omega t dt,\quad(n=1,2,3,\cdots)\text{，}\quad(3)$$

根据欧拉（Euler）公式：

$$e^{j\theta}=\cos\theta+j\sin\theta\quad(4)$$

式（1）化为

$$f(t)=c_0+\sum_{n=1}^{\infty}c_n\cos(n\omega_1 t+\varphi_n)\quad(5)$$

其中

$$c_0=a_0\quad(6)$$

$$c_n^{\ 2}=a_n^{\ 2}+b_n^{\ 2}\quad(7)$$

$$\varphi_n=\arctan(-\frac{b_n}{a_n})\quad(8)$$

设 $\{x(n)\}$ 为零均值 k 阶平稳随机过程，则该过程二阶和三阶累积量分别为

$$c_{2,x}(k)=E[x(n)x(n+k)]\quad(9)$$

$$c_{3,x}(k,l)=E[x(n)x(n+k)x(n+l)]\quad(10)$$

设随机变量 x 的 k 阶矩定义为

$$m_k=E[x^k]=\int_{-\infty}^{\infty}x^k p(x)dx\quad(11)$$

显然 $m_0=1$，$m_1=\eta=E[x]$。

k 阶累积量与 k 阶矩的关系如下：

$$c_1=m_1=E[x]=\eta\quad(12)$$

$$c_2=m_2-m_1^2=E[x^2]-(E[x])^2\quad(13)$$

$$c_3 = m_3 - 3m_1m_2 + 2m_1^3 \quad (14)$$

$$c_4 = m_4 - 3m_2^2 - 4m_1m_3 + 12m_1^2m_2 - 6m_1^4 \quad (15)$$

若 $E[x] = \eta = 0$，则

$$c_1 = m_1 = 0 \quad (16)$$

$$c_2 = m_2 = E[x^2] \quad (17)$$

$$c_3 = m_3 = E[x^3] \quad (18)$$

$$c_4 = m_4 - 3m_2^2 = E[x^4] - 3(E[x^2]) \quad (19)$$

由上可见，当随机变量 x 的均值为零时，其前三阶累积量与前三阶矩相同，而四阶累积量与相应的高阶矩不相同。

3 零均值耦合信号的双谱分析

令 $x(n)$ 为谐波信号：

$$x(n) = \sum_{i=1}^{3} A_i \cos(\omega_{oi} n + \varphi_{oi}) \quad (20)$$

其中 $\omega_{02} > \omega_{01} > 0$，$\varphi_{03} = \varphi_{01} + \varphi_{02}$，$\varphi_{01}$，$\varphi_{02}$，$\varphi_{03}$ 是 $(0, 2\pi)$ 上均匀分布的独立随机变量，则称 ω_{01}，ω_{02}，ω_{03} 为发生了二次相位耦合的谐波分量。

如果 $\{x(n)\}$ 为零均值 k 阶平稳随机过程，则该过程的三阶累积量如式(10)所示，将式(20)代入式(10)，可以看出：

$x(n)x(n+k)x(n+l)$ 其相乘项由三列构成，每一列有 3 项，相乘结果共有 27 项。本文中，第一列的 A_i, ω_i, φ_i 用 $A_i^f, \omega_i^f, \varphi_i^f$ 表示，第二列用 $A_i^s, \omega_i^s, \varphi_i^s$ 表示，第三列用 $A_i^t, \omega_i^t, \varphi_i^t$ 表示，则其乘积通项为：

$$A_i^f A_i^s A_i^t \cos[\omega_i^f n + \varphi_i^f] * \cos[\omega_i^s (n+k) + \varphi_i^s] * \cos[\omega_i^t (n+l) + \varphi_i^t]$$

展开后得到：

$$\begin{aligned}&\frac{1}{4} A_i^f A_i^s A_i^t \{\cos[\omega_i^f n + \omega_i^s (n+k) + \omega_i^t (n+l) + \varphi_i^f + \varphi_i^s + \varphi_i^t] \\ &+ \cos[\omega_i^f n + \omega_i^s (n+k) - \omega_i^t (n+l) + \varphi_i^f + \varphi_i^s - \varphi_i^t] \\ &+ \cos[\omega_i^f n - \omega_i^s (n+k) + \omega_i^t (n+l) + \varphi_i^f - \varphi_i^s + \varphi_i^t] \\ &+ \cos[\omega_i^f n - \omega_i^s (n+k) - \omega_i^t (n+l) + \varphi_i^f - \varphi_i^s - \varphi_i^t]\}\end{aligned} \quad (21)$$

令 $\varphi_i^f = \varphi_1, \varphi_i^s = \varphi_2, \varphi_i^t = \varphi_3$，考察式(21)中的任意一个余弦项，比如：

$$\cos[\omega_i^f n + \omega_i^s (n+k) - \omega_i^t (n+l) + \varphi_i^f + \varphi_i^s - \varphi_i^t]$$

φ_i^f，φ_i^s，φ_i^t

因为是 $(0, 2\pi)$ 上均匀分布的独立随机变量，欲使得：

$$E\{\cos[\omega_i^f n + \omega_i^s (n+k) - \omega_i^t (n+l) + \varphi_i^f + \varphi_i^s - \varphi_i^t]\} \neq 0 \quad (22)$$

则必须：

$$\varphi_i^f + \varphi_i^s - \varphi_i^t = 0 \quad (23)$$

式(22)中，$\varphi_i^f = \varphi_{01}, \varphi_i^s = \varphi_{02}, \varphi_i^t = \varphi_{03}$ 当时，有

$$E\{\cos[\omega_i^f n + \omega_i^s (n+k) - \omega_i^t (n+l) + \varphi_i^f + \varphi_i^s - \varphi_i^t]\} = \cos(\omega_{02} k - \omega_{03} l) \quad (24)$$

同理，当 $\varphi_i^f = \varphi_2, \varphi_i^s = \varphi_1, \varphi_i^t = \varphi_3$ 时，有

$$E\{\cos[\omega_i^f n + \omega_i^s (n+k) - \omega_i^t (n+l) + \varphi_i^f + \varphi_i^s - \varphi_i^t]\} = \cos(\omega_{01} k - \omega_{03} l) \quad (25)$$

按照上述方法，可以得到：

$$\begin{aligned}c(k,l) = \frac{A_1 A_2 A_3}{4} [& \\ &\cos(\omega_{02} k + \omega_{01} l) + \cos(\omega_{03} k - \omega_{01} l) \\ &+ \cos(\omega_{01} k + \omega_{02} l) + \cos(\omega_{03} k - \omega_{02} l) \\ &+ \cos(\omega_{01} k - \omega_{03} l) + \cos(\omega_{02} k - \omega_{03} l)]\end{aligned} \quad (26)$$

对于形如式(26)中的项 $\cos(\omega_{01} k + \omega_{02} l)$，考察其双谱谱峰的分布问题，将其代入如下双谱表达式：

$$S_{3,x}(\omega_1,\omega_2)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}\sum_{l=-\infty}^{\infty}c_{3,x}(k,l)\exp[-j(\omega_1 k+\omega_2 l)] \tag{27}$$

再根据余弦函数的傅里叶变换结果，可以推理得出运算结果的双谱中包含如下乘积项：

$$[\delta(\omega_1+\omega_{01})+\delta(\omega_1-\omega_{01})]*[\delta(\omega_2+\omega_{02})+\delta(\omega_2-\omega_{02})]$$

由上式可见，对于形如$\cos(\omega_{01}k+\omega_{02}l)$的余弦项，其双谱中的非零点（谱峰）包括：

$$[(-\omega_{01},-\omega_{02}),(-\omega_{01},\ \omega_{02}),(\omega_{01},-\omega_{02}),(\omega_{01},\ \omega_{02})]$$

由以上分析可以看出，只有当满足类似式（20）的相位耦合关系的谐波分量，才能在式（26）中保留下来。而双谱是三阶累积量的二维傅里叶变换，也就是说，在双谱中出现的谱峰，必须是满足相位耦合关系的谐波分量。因此，双谱能够识别式（20）中的相位耦合关系。

由此可见，只有发生了相位耦合的谐波才能在双谱图中产生谱峰，式（26）表明，双谱谱峰出现处正是在发生了相位耦合的这两个谐波的频率的交点上。从式（26）还可以看出，$\omega_{03}=\omega_{01}+\omega_{02}$并非式（20）中的谐波产生双谱谱峰的必要条件，也就是说，三个不同的谐波之间只要满足相位间的和差关系，而不一定要满足频率间的和差关系，就可以在双谱图中产生谱峰。

4 非零均值耦合信号的双谱分析

令 $x(n)$ 为谐波信号：

$$x(n)=z+\sum_{i=1}^{3}A_i\cos(\omega_{oi}n+\varphi_{oi}) \tag{28}$$

将其代入式（10），得到：

$$A_i^f A_i^s A_i^t\{z+\cos(\omega_i^f n+\varphi_i^f)\}*\{z+\cos[\omega_i^s(n+k)+\varphi_i^s]\}*\{z+\cos[\omega_i^t(n+l)+\varphi_i^t]\}$$

展开后，除了得到与零均值类似的项

$$\cos[\omega_i^f n+\varphi_i^f]\cos[\omega_i^s(n+k)+\varphi_i^s]\cos[\omega_i^t(n+l)+\varphi_i^t]$$

之外，还产生以下的项：

z^3，

$z^2\cos[\omega_i^t(n+l)+\varphi_i^t]$，

$z^2\cos(\omega_i^f n+\varphi_i^f)$，

$z^2\cos[\omega_i^s(n+k)+\varphi_i^s]$，

$z\cos[\omega_i^s(n+k)+\varphi_i^s]\cos[\omega_i^t(n+l)+\varphi_i^t]$ 以及

$z\cos(\omega_i^f n+\varphi_i^f)\cos[\omega_i^s(n+k)+\varphi_i^s]$

选择其中任意一项展开：

$$z\cos(\omega_i^f n+\varphi_i^f)\cos[\omega_i^s(n+k)+\varphi_i^s]$$
$$=z/2\{\cos[(\omega_i^t+\omega_i^s)n+\varphi_i^f+\varphi_i^s]$$
$$+\cos[(\omega_i^f-\omega_i^s)n-\omega_i^s k+\varphi_i^f-\varphi_i^s]$$

由上式可以看出，由于余弦项中的相位为 $\varphi_i^f+\varphi_i^s\neq 0$ 且 $\varphi_i^f-\varphi_i^s\neq 0$，所以上式的均值为 0。对于其它项可以进行相同的分析，可以看出，非零均值的其它项，除了 z^3 项会对频谱图的原点产生影响之外，均不会影响到原信号的双谱谱峰的分布。

5 模拟耦合信号的双谱分析

按照式（20）中的 $x(n)$ 产生如下随机信号：

y=cos（100πx+a1）+cos（200πx+a2）+cos（300πx+a3）　（29）

其中 a1=π/5，a2=π/6，a3=a1+a2.得到其双谱图如 1 所

示。从图 1 可以看出，在频率为（50，100）和（100，50）的地方都出现了明显的谱峰。这说明，在符合相位耦合条件下的双谱谱峰分布的前述分析是正确的。

再令 a1=π/5，a2=π/6，a3=π/3，此时 a3≠a1+a2，即不满足相位耦合条件，再求出其双谱如图 2 所示，与图 1 对比，两者几乎一样，其原因应该是 a1 与 a2 之和为 11π/30，与 π/3 很接近，由于谱估计算法以及计算中产生的误差，所以导致这样的结果。再令 a3=2π/3，得出的双谱如图 3 所示。图

1 和图 3 两者的误差就很明显，特别是振幅，图 3 降低到了图 1 的 1%。再令 a3=π，得出的双谱振幅进一步下降到了 0.25，如图 4 所示。上述 a1，a2，a3 相位的假设只是为了计算上的方便，其实它们的取值可以是任意的。这也进一步说明了上述理论的正确性。

再验证非零均值的情况。将 y 信号更改为：

1+cos（100πx+a1）+cos（200πx+a2）+cos（300πx+a3）;得出其双谱如图 5 所示，与图 1 几乎完全一样,说明 一个信号的非零均值不会对该信号的双谱分布产生什么影响。

接着将 y 信号更改为：

cos（100πx+a1）+cos（150πx+a2）+cos（300πx+a3），其中 a1=π/5，a2=π/6，a3=a1+a2，此时的 y 信号不满足 $\omega_{03}=\omega_{01}+\omega_{02}$ 的频率和差关系，但仍然满足相位耦合关系。得出的双谱如图 6 所示。从图中可以看出，在频率为（150，50）（50，150）和（100，50）等地方出现了较小的谱峰，而在（75，100）（100，75）和（75，150）等地方则出现了较大的谱峰。这个结果说明，一个信号只要符合相位耦合条件，即使不符合频率耦合的条件，同样会在双谱图中产生谱峰。

6 语音信号验证

1952 年贝尔实验室的 Davis 等人研制成功了能识别十个英文数字发音的 Audry 系统，标志着语音识别技术研究工作开始。20 世纪 70 年代，语音识别领域取得了突破，实现了基于线性预测倒谱和 DTW 技术的特定人孤立语音识别系统。我国对语音识别的研究开始于 20 世纪 80 年代，近年来发展迅速，并取得了一系列的成果。随着计算机技术、模式识别等技术的发展，适应不同场合的语音识别系统相继被开发出来，语音特征识别及处理技术已经越来越突现出其强大的技术优势。

每个人发出的语音中都包含有各自的语音信号特征，语音信号也具有和其它信号共有的一些特征参数，比如周期，频率，能量等,也需要使用它们来分析。语音信号处理的好坏对整个系统的识别结果有直接影响,本文利用双谱分析进行语音信息的处理与研究，语音信息特征可以在双谱图上得以体现，对于语音信息特征的研究来说更加直观，这对于语音的辨识研究是一个突破，具有重要意义。

本次试验使用录音程序作为主要工具，Windows 附件的娱乐中有个录音机程序，通过它可以驱动声片采集、播放和简单处理语音信号。

本实验中的语音录音在相对安静的环境中进行，不掺杂外来噪音，实验人员均在语速和缓、心情平稳下录制语音。为了清晰的阐明对语音信号进行频谱分析，首先实验对象中的每个人使用 Windows 的录音机功能可以用麦克风直接录制一段语音“中国共产党是中国工人阶级的先锋队，同时是中国人民和中华民族的先锋队，是中国特色社会主义事业的领导核心，代表中国先进生产力的发展要求，代表中国先进文化的前进方向，代表中国最广大人民的根本利益。党的最高理想和最终目标是实现共产主义。”，并保存为 WAV 格式文件，供 MATLAB 相关函数直接读取、写入或播放。最后使用 MATLAB 读取出录制的语音文件的数据进行处理、加工。

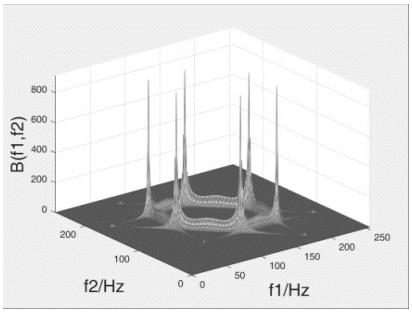


图 1 零均值模拟耦合信号双谱

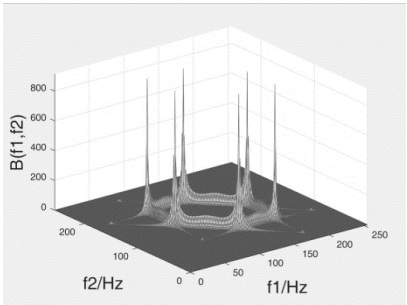


图 2　a3=2π/3 时信号双谱

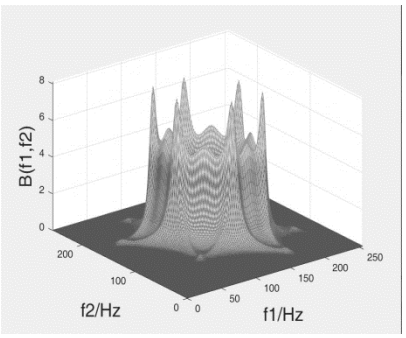


图 3　a3=2π/3 时信号双谱

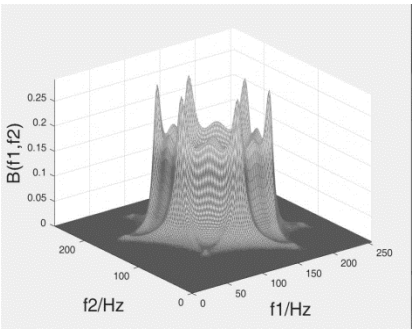


图 4　a3=π 时信号双谱

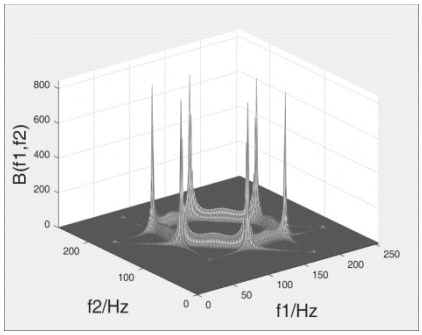


图 5　非零均值模拟耦合信号双谱

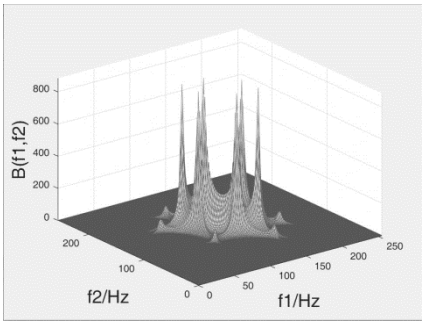


图 6　频率非和差关系信号双谱

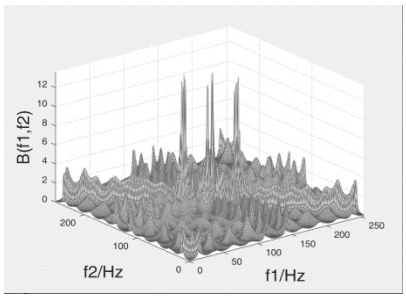


图 7　零均值语音信号双谱

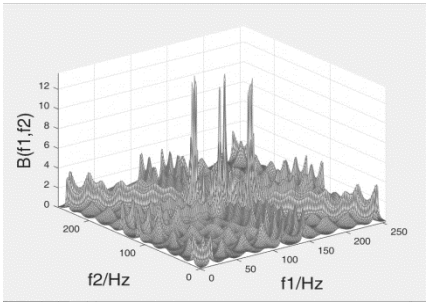


图 8　非零均值语音信号双谱

7 相位耦合对于信号分析的影响

7.1 相位耦合的计算

按照式（20）中的定义，三个发生了耦合现象的相位即满足条件：

$$\varphi_k = \varphi_i + \varphi_j$$

再按照式（8）的计算方法，即满足：

$$\arctan(-\frac{b_k}{a_k}) = \arctan(-\frac{b_i}{a_i}) + \arctan(-\frac{b_j}{a_j}) \tag{30}$$

按照方程（30），先计算出式（2）和式（3）中的系数 a_n 和 b_n 再由此计算出相应的 φ_n 相位，得出相应的一个相位数组，然后在这个数组中按照方程（30）的要求，寻找满足相位耦合关系 $\varphi_k = \varphi_i + \varphi_j$ 的数组元素，并记录下它们相应的下标，而这些下标就是这些谐波对应的频率。

采用前述采集的语音振动数据中的一组，得出的符合相位耦合条件的谐波频率为【2　86　298，32　216　428，65　179　222，65　292　335，74　87　144，74　370　427，74　454　466，86　216　482，87　370　440，179　292　449，261　300　453，283　483　489，287　299　485，296　357　0】，一共十四组。

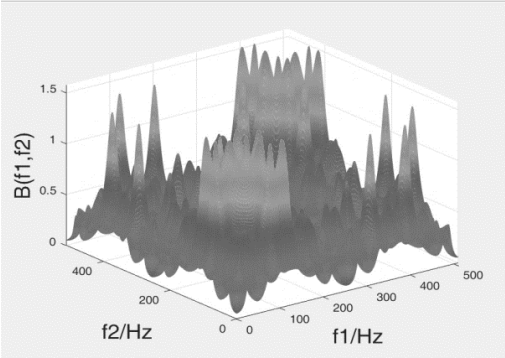


图 9　非零均值语音信号双谱

再按照式（27）得出这组数据的双谱，如图 9 所示。从图 9 可以看出，不考虑双谱的对称性，这组数据的双谱谱峰大概 13 个，与前面计算出的符合相位耦合条件的谐波数 14 个大致相同，说明本文前面的分析是正确的。

从得出的结果来看，只要符合 $\varphi_k = \varphi_i + \varphi_j$

这样的相位耦合条件，就可以在双谱图中产生谱峰，而不管相应谐波的频率是否 $\omega_k = \omega_i + \omega_j$ 满足这样的和差关系。从结果数组的结果来看，同一频率的谐波也可以同时和不同频率的谐波构成相位耦合关系，比如频率为 74 的谐波，就和（87　144），（370　427），（454　466）这三组不同频率的谐波构成了相位耦合关系，这种现象在双谱图中就体现为某一条直线上存在多个谱峰。

在实验过程中，当对于方程（30）的计算精度确定在小数点后 2 位的时候，其符合相位耦合条件的谐波频率的组数几乎无穷多；当确定在小数点后 3 位的时候，组数在几百组近一千组；当确定在小数点后 4 位的时候，组数在几十组近一百组；当确定在小数点后 5 位的时候，组数即前述的十四组；当进一步确定在小数点后 6 位的时候，则没有答案。这种情况说明方程（30）的解与计算精度有关，但引出了一个问题，即方程（30）理论上解的情况是怎样的呢？从方程（30）可以看出，该方程是一个欠定方程，即一个方程含有 3 个未知数，理论上应该存在无穷多的解。

7.2 双谱谱峰数量的控制方法

如果要抑制双谱谱峰数量，就必须破坏谐波的相位耦合 $\varphi_{03} = \varphi_{01} + \varphi_{02}$ 这个条件。

考虑对于频率为 ω_{01}，ω_{02} 的谐波进行如下运算：

$$\cos((\omega_{01}n + \phi_{01}) + \cos(\omega_{01}n + \varphi_{01})) = 2\cos(\omega_{01}n + (\phi_{01} + \varphi_{01})/2)\cos((\phi_{01} - \varphi_{01})/2) \tag{31}$$

$$\cos((\omega_{02}n + \phi_{02}) + \cos(\omega_{02}n + \varphi_{02})) = 2\cos(\omega_{02}n + (\phi_{02} + \varphi_{02})/2)\cos((\phi_{02} - \varphi_{02})/2) \tag{32}$$

其中 ϕ_{01}，ϕ_{02} 可以是区间 $[0,2\pi]$ 中的任意值，$\cos(\omega_{01}n + \phi_{01})$，$\cos(\omega_{02}n + \phi_{02})$ 是人为添加的信号分量。

运算以后，可以得出结论，如果谐波分量 $\cos(\omega_{03}n + \varphi_{03})$ 是不依赖于谐波而独立存在的，则 $\varphi_{03} = \varphi_{01} + \varphi_{02}$ 将改变为 $\varphi_{03} \neq (\phi_{01} + \varphi_{01} + \phi_{02} + \varphi_{02})/2$，即原来的相位耦合条件被破坏了。

与前一节类似，也在正常状态和故障状态各取一组数据，其双谱如图 10 和图 11 所示。为了确定添加信号的频率，采取如下算法：

确定添加信号频率的算法：

1：计算得出待添加信号的双谱。

2：在得出的双谱结果中从大到小确定若干个谱峰值，同时记录下每个谱峰值的频率坐标。

3：以确定的频率坐标值作为添加的余弦信号的频率，信号的相位可以随机产生。

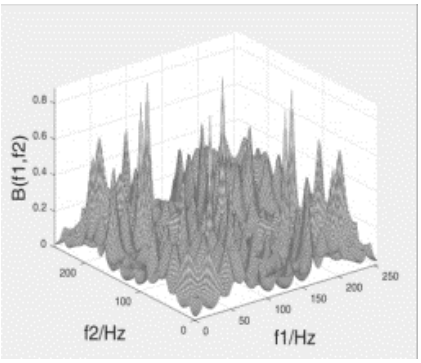


图 10

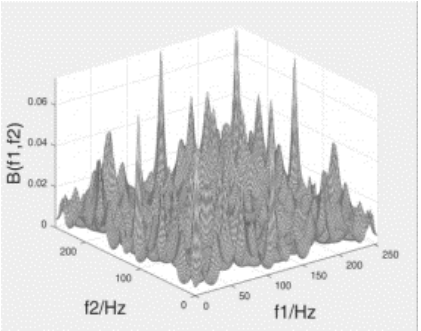


图 11

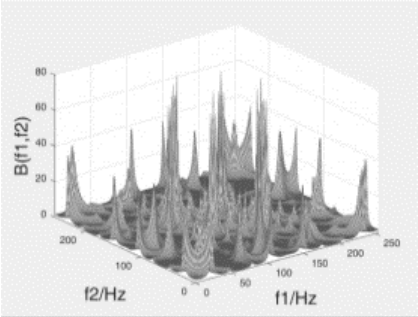


图 12

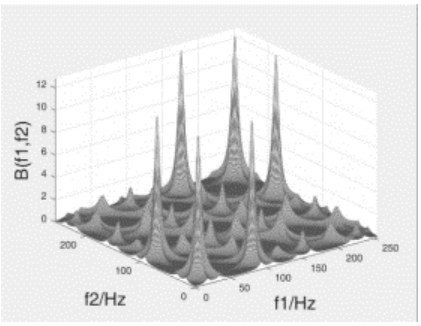


图 13

按照上述算法，实验中按照谱峰值的大小从大到小取 5 个值，然后构造出相应的余弦信号，添加到图 10 和图 11 的原始信号中，得出其相应的双谱，如图 12 和图 13 所示。与图 10 和图 11 相比，图 12 和图 13 的谱峰均明显减少。从图 12 和图 13 还可以看出，尽管图 10 和图 11 难以区分，但是在采取上述抑制谱峰的措施以后，图 12 的谱峰构成明显要比图 13 更复杂，图 13 的谱峰相对更集中。这说明故障状态信号的构成成分可能要比正常状态的信号要更复杂一些。同时，通过采取上述方法能够成功减少信号的双谱谱峰，这也说明，谐波分量可以不依赖于其构成成分独立存在，否则，这种减少双谱谱峰的方法不可能成功。

由上面的分析可以得出结论，双谱的谱峰由于相位耦合现象而产生，而这种相位耦合又是一种真实存在的现象，因此双谱是可以客观体现出现实信号的这种相位耦合性质的一种有效的分析方法。

8 总结

信号的傅里叶频谱图中，每一个频谱都有着明确的意义，即其代表的是具有某个频率的谐波的振幅。同样，信号的双谱图中，每一个谱峰也应该有着明确的含义。通过分析，双谱图中的谱峰产生的原因是因为信号中存在满足二次相位耦合条件的谐波，每个双谱的谱峰正是以发生相位耦合的两个谐波的频率为坐标，谱峰的大小与这两个谐波的振幅相关联。一个信号只要满足相位耦合条件，但不必同时满足频率耦合的条件，也就是说，一个信号只要满足了相位耦合条件，而不管其是否满足频率耦合条件，都会在双谱图中出现谱峰。通过傅里叶分析发现，现实信号中的相位耦合现象是真实存在的，正是这种现象的发生，才使得双谱分析的方法得以在信号分析中产生重要作用。信号相位耦合现象发生的密集程度，将体现在信号双谱图中的谱峰多少，也就是双谱图的分布可以成为信号分析的理论基础。同时提出了一种改变双谱谱峰数量的方法。本文对于上述结论给予了理论上的证明，同时也通过实际采集的语音振动信号进行了验证。上述结论对于双谱分析存在着一定的理论意义和实用价值。

参考文献

[1] Sohaib M , Kim J .Fault Diagnosis of Rotary Machine Bearings Under Inconsistent Working Conditions[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2019, PP（99）:1-1

[2] Zhang M , Yang J , Zhang Z . Locomotive Gear Fault Diagnosis Based on Wavelet Bispectrum of Motor Current[J]. Shock and Vibration, 2021, 2021（23）:1-12.

[3] Hu Y , Wan T . Efficient Wideband MRCS Simulation for Radar HRRP Target Recognition Based on MSIB and PCA[J]. Applied Computational Electromagnetics Society journal, 2019, 34（12）:1804-1813.

[4] Xie D , Chen K S , Yang X . Effect of Bispectrum on Radar Backscattering From Non-Gaussian Sea Surface[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2019, PP（99）:1-12.

[5] Maartens R , Jolicoeur S , Umeh O , et al. Detecting the relativistic galaxy bispectrum[J]. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 2020, 2020（03）:065.

[6] 高显. Primordial perturbations and non-gaussianities in Horava-Lifshitz gravity[J]. 中国物理 C:英文版, 2019（7）:118-126.

[7] 张贤达. 现代信号处理.2 版[M]. 清华大学出版社, 2002.

[8] 张贤达. 矩阵分析与应用[M]. 清华大学出版张社, 2013.

[9] C.L. Nikias, J.M. Mendel. Signal processing with higer-order spectra[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1993, 10（07）:7-11.

[10] Papoulis A. Signal Analysis. New York: McGraw-Hill, 1977.

[11] Raghuveer M.R. Time-domain approaches to quadratic phase coupling estimation [J]. IEEE Transaction on Automatic Control, 1990,35（01）:48-56.

[12]张严, 王树勋. 非线性相位耦合的切片谱分析方法[J]. 电子学报, 1998, 21（010）:231-235.

[13]张严, 王树勋, 李生红. 二次相位耦合的 11/2 维谱分析[J]. 电子学报,1996.

[14]李生红, 王树勋, 张严,等. 利用希尔伯特变换进行谐波恢复[J]. 电子学报, 1997（01）:98-101.

[15] Rubira H , R Voivodic. The Effective Field Theory and Perturbative Analysis for Log-Density Fields[J]. 2020.

5GEPSFallback 语音回落时延分段定界定位方案设计

郑银云　杨慰民

摘　要：本文根据 5G 语音 EPSFallback 的信令特点，结合 DPI 的跨域关联数据，针对 5GEPSFALLBACK 语音中关注的重要阶段，按照切换测量阶段时延、切换准备阶段时延、切换执行阶段时延、TAU 时延、专载建立时延、寻呼时延设计了 5+1 的 EPSFallback 时延分段模型。根据模型利用 DPI 跨域数据按照地市、网格、网元、小区对、无线厂家等各维度进行统计，设计灵活的门限，分门限区间进行聚类，实现分段即定界的效果，达到精准定界时延短板问题和快速优化的目的。

关键词：5GEPSFALLBACK 语音；时延分段；定界定位

1 引言

随着 5GSA 网络的建设和大规模商用，现阶段采用 EPSFALLBACK 方式实现用户在 5GSA 网络下的语音业务。EPSFALLBACK 方案基于 5G 网络和 VoLTE 来实现，通过 5G 网络发起语音呼叫，回落到 4G 后对 IMS 实现语音控制，语音回落到 4G 后全部承载于 4G 网络之上，EPSFALLBACK 语音通话与原有的 VoLTE 相比，增加了语音回落阶段，EPSFALLBACK 语音的接续时延明显增长，给用户感知保障带来巨大挑战，如何做好 EPSFALLBACK 语音时延优化是当前 5G 工作的重点。5G 发展初期提高语音业务体验和运维效率，支撑工具尤为欠缺，本文提出的思路和实现的时延分段定界定位方案，很好的弥补了这个问题，对于助力 EPSFallback 业务感知提升，促进 5G 业务转化发展大有裨益。

2 5GEPSFALLBACK 语音时延分段定界定位方法的优势

本文基于大数据 DPI 结合 5GEPSFALLBACK 语音信令流程的特点，构建了 5+1EPSFALLBACK 时延分段系统，具备先进性与创新性。5GEPSFALLBACK 语音比起 VOLTE 语音在接续过程中增加了回落阶段，使整个语音过程更加长，用户体验下降。本系统利用 5G\4G\IMS 三域关联的数据构建 EPSFALLBACK 语音的跨域单据，将目前语音感知最大的矛盾“时延问题”的优化进一步细化。从目前系统运行和使用情况看，该系统具有更先进、更科学、准确、高效的特点。具体如下：

更先进：首次提出 5G\4G\IMS 进行三域关联，通过关联能够获取更加准确的 4/5G 互操作数据，其次，该系统根据 EPSFALLBACK 语音业务特点创新性提出了 5+1 时延分段模型，能够以最小的代价获得最需要解决的时延问题；

更科学：根据 EPSFALLBACK 语音信令特点，科学分段，实现在分段的同时就能定界的功能，定界问题可以更明确，能够精准施策解决问题，实现网络短板可发现、可定界、可优化、可闭环。

更准确：利用 5G\4G\IMS 三域关联的数据构建 EPSFALLBACK 语音的跨域单据，能更准确的展示 EPSFALLBACK 的 4/5 互操作阶段，能更准

作者简介：

郑银云：硕士，长期从事网络大数据研究，任职于中国移动福建公司网络部。

杨慰民：博士，中国移动集团级首席专家，福建公司网管中心副总经理，教授级高工，享受国务院政府特殊津贴专家，中央企业劳动模范。

确清楚的看出 EPSFALLBACK 语音的多个阶段的情况，便于精确诊断时延根因，精准施策解决问题；

更高效：算法设计上实现了分段及定界的功能，并按照灵活门限，实现时延分段模型中的分区间时延展示，快速掌握不同时延区间的分布情况，界面呈现上首次采用了模块分段串接并结合信令流程展示，自动化展示应用功能，让使用者更加便利和直观发现问题。大大减轻人工计算的工作量和重复工作，提升了工作效率。

3 基于 5GEPSFALLBACK 语音时延分段定界定位方案设计的实现

3.1 总体思路

为了更好的提升用户感知，本文从 ESPFB 语音的 4/5G 互操作的重要阶段入手，设计了时延分段定界定位应用对目前的时延大问题进行优化，创新性的提出按照 5G\4G\IMS 进行三域关联，并针对 5GEPSFALLBACK 语音中关注的重要阶段，按照 EPSFALLBACK 的切换测量阶段时延、切换准备阶段时延、切换执行阶段时延、TAU 时延、专载建立时延、寻呼时延设计了 5+1 的 EPSFALLBACK 时延分段模型，同时利用模型，将三域关联的单据按照地市、网格、网元、小区对、无线厂家等各维度进行统计，并设计灵活的门限，分区间次数和占比、聚类法、比较法等多种统计算法精准分析定界时延短板问题，并快速定界和更精准优化，对 EPSFALLBACK 语音的网络优化中起到了重要作用。

3.2 详细实现思路

3.2.1 数据源

利用 DPI 分光技术实现 5G 的 N1N2、N26 信令面数据，4GLTE 的 S1MME 信令面数据。本文采用的数据源主要信息如下：

(1)采集接口：

▪5G 的 N1N2（终端/5G 基站与 AMF 之间的信令面）

▪5G 的 N26（5GAMF 与 4GMME 之间的信令面）

▪4GLTE 的 S1MME(LTEeNodeB 与 MME 信令面）

(2)主要数据包括：

▪N1/N2：会话管理信令 PDUSessionResourceModify、移动性管理信令 HandoverOut、paging

▪N26：5GAMF 与 4GMME 间的信令 ForwardRelocationCompleteNotification

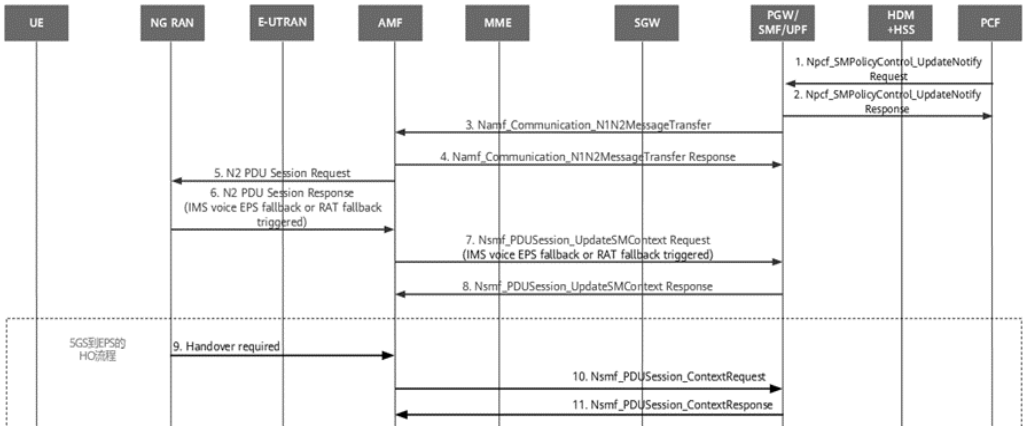
▪S1MME：连接管理信令 TAU 路由去更新信令和会话管理信令 Dedicatedbeareractivation

3.2.2 实现 5+1 的 EPSFALLBACK 时延分段模型

按照 EPSFALLBACK 的切换测量阶段时延、切换准备阶段时延、切换执行阶段时延、TAU 时延、专载建立时延、寻呼时延设计了 5+1 的 EPSFALLBACK 时延分段模型。

阶段一：EPSFALLBACK 切换测量阶段

图 1 基于切换的 EPS FB 流程

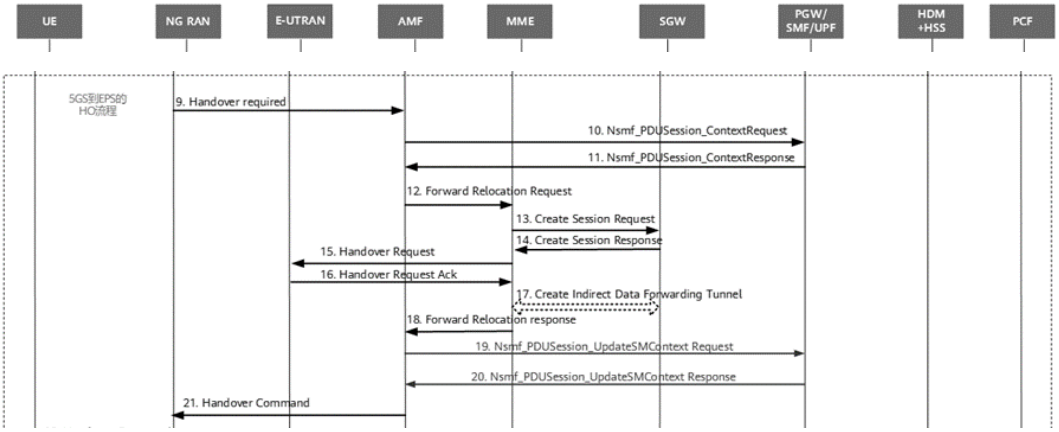


异常定界：无线
门限：600~800ms
信令流起点：消息 6N2PDUSessionResponse
信令流终点：消息 9Handoverrequired

时延作用：查看基于测量 EPSFB 切换无线侧空口测量阶段的时延，辅助空口优化。正常情况下一般 600~800ms。

阶段二：EPSFALLBACK 切换准备阶段

图 1 基于切换的 EPS FB 流程

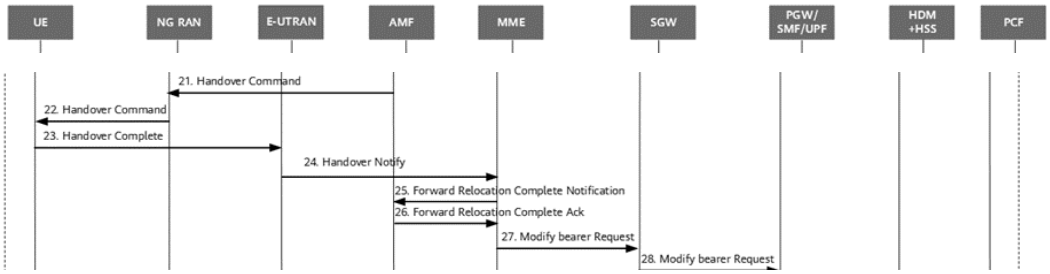


异常定界：无线、核心网
门限：130~250ms
信令流起点：消息 9Handoverrequired
信令流终点：消息 21HandoverCommand

时延作用：查看基于测量 EPSFB 切换准备阶段的时延，可以发现切换目标资源准备过程是否异常，与网元组网结构（路由选择、是否上云等）以及目标 4G 基站资源可用情况有关。

阶段三：EPSFALLBACK 切换执行阶段

图 1 基于切换的 EPS FB 流程

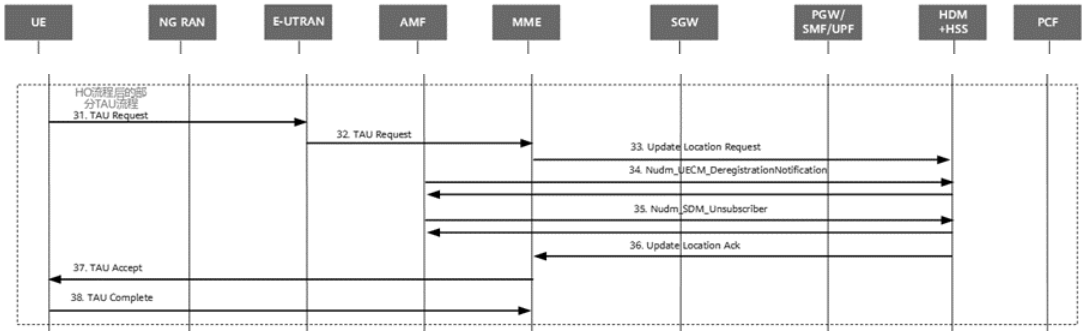


异常定界：无线
门限：100~200ms
信令流起点：消息 21HandoverCommand
信令流终点：消息 25ForwardRelocationCompleteNotification

时延作用：查看基于测量 EPSFB 切换执行阶段的时延，可以发现终端在目标 4G 基站空口接入过程是否异常，辅助空口优化。

阶段四：EPSFALLBACKTAU 阶段

图 1 基于切换的 EPS FB 流程



异常定界：核心网、无线

门限：200~400ms

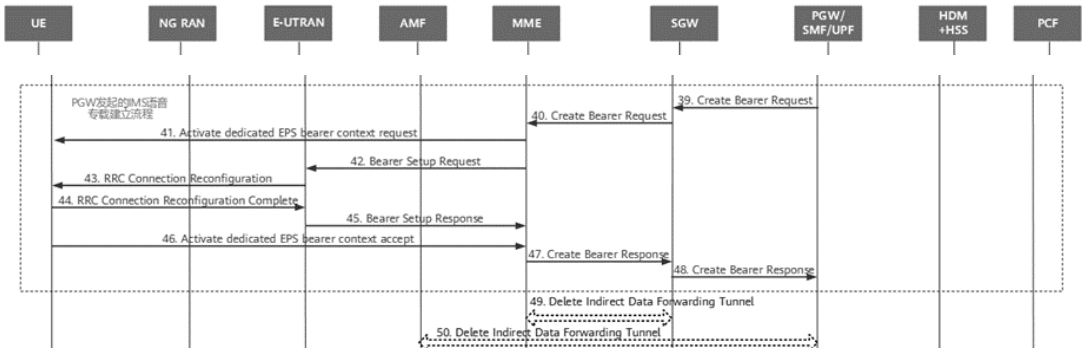
信令流起点：消息 32TAURequest

信令流终点：消息 37TAUAccept

时延作用：监测 TAU 流程时延波动，区分不同 MME 资源池对应的 TAU 时延。

阶段五：EPSFALLBACK 专载建立阶段

图 1 基于切换的 EPS FB 流程



异常定界：无线

门限：150ms

信令流起点：消息 41ActivatededicatedEPSbearercontextrequest

信令流终点：消息 46ActivatededicatedEPSbearercontextaccept

时延作用：监测专载流程时延波动，反映不同小区建立专载时长。

阶段六：EPSFALLBACK 寻呼阶段

1、寻呼机制说明：

（1）5G 语音：目前采用 4 次寻呼，寻呼间隔为 2s|2s|2s，2 秒内为一次寻呼，2−4 秒的为二次寻呼，4−6 秒的为三次寻呼，6−8 秒为四次寻呼，大于 9 秒超时。

（2）5G 数据：目前采用 4 次寻呼，寻呼间隔为 3s|6s|6s|6s，3 秒内为一次寻呼，3−9 秒的为二次寻呼，9−15 秒的为 3 次寻呼，15−21 为 4 次寻呼，大于 21 秒超时。

2、寻呼暂不区分 5G 语音和 5G 数据

N2 口暂无法直接判断是 5G 语音还是 5G 数据的寻呼。需重点关注非一次寻呼次数占比。

异常定界：无线

门限：0~3s

算法：信令的 ServiceRequest 开始时间减去 Paging 开始时间

时延作用：通过分区间的时长可以查看寻呼的时间，用于辅助判断无线覆盖情况。

4 基于 5GEPSFALLBACK 语音时延分段定界定位的应用开发和落地

根据 5+15GEPSFALLBACK 语音时延分段模型，把握 6 个关键时延阶段，部署 5GEPSFALLBACK 语音回落时延分段功能模块，通过分段即定界功能快速精准定界时延问题，实现网络短板可发现、可定界、可优化、可闭环。该系统能够在地市、网元、网格、小区对、无线厂家等维度给予维护人员精确诊断时延根因，精准施策解决问题的能力。

4.1.1 根据分段模型实现便利直观的应用界面

应用界面采用特色的 WEB 开发框架，根据分段即定界功能的特点，首次采用了模块分段串接结合信令流程的展示方式，提供更加便利和直观的体验感知。

4.1.2 根据分段模型实现各个阶段多维分区间分析

根据分段模型，按照灵活门限，实现时延分段中的分区间时延展示。

1、地市主界面

✓可统计地市级次数和平均时延，并可按照日期查询。

✓可下钻网格、小区对、网元、厂家多个维度精准聚焦定位短板，精准施策。

日期：20210429　查询

地市	切换测量总次数	切换测量平均时延(ms)	切换测量时延(0,600]次数	切换测量时延(600,800]次数	切换测量时延(800,1000]次数	切换测量时延(1000,++)次数	切换测量时延(0,600]占比(%)	切换测量时延(600,800]占比(%)	切换测量时延(800,1000]占比(%)	切换测量时延(1000,++)占比(%)	操作
全省	6518789	521.45	5056688	988468	230225	243408	77.57	15.16	3.53	3.73	网格 小区对 网元 厂家
福州	1606443	543.52	1220005	258746	60395	67297	75.94	16.11	3.76	4.19	网格 小区对 网元 厂家
厦门	1252640	533.77	951917	169223	52123	79377	75.99	13.51	4.16	6.34	网格 小区对 网元 厂家
宁德	509385	553.72	335284	106755	34278	33068	65.82	20.96	6.73	6.49	网格 小区对 网元 厂家
莆田	364064	509.53	301791	48670	8020	5583	82.9	13.37	2.2	1.53	网格 小区对 网元 厂家
泉州	1420064	521.95	1135449	211783	39691	33141	79.96	14.91	2.8	2.33	网格 小区对 网元 厂家
漳州	429068	436.93	359828	51922	10660	6658	83.86	12.1	2.48	1.55	网格 小区对 网元 厂家
龙岩	357131	534.82	261881	73835	11693	9722	73.33	20.67	3.27	2.72	网格 小区对 网元 厂家
三明	305681	439.96	271100	26673	5596	2312	88.69	8.73	1.83	0.76	网格 小区对 网元 厂家
南平	264100	491.44	211923	39539	7212	5426	80.24	14.97	2.73	2.05	网格 小区对 网元 厂家

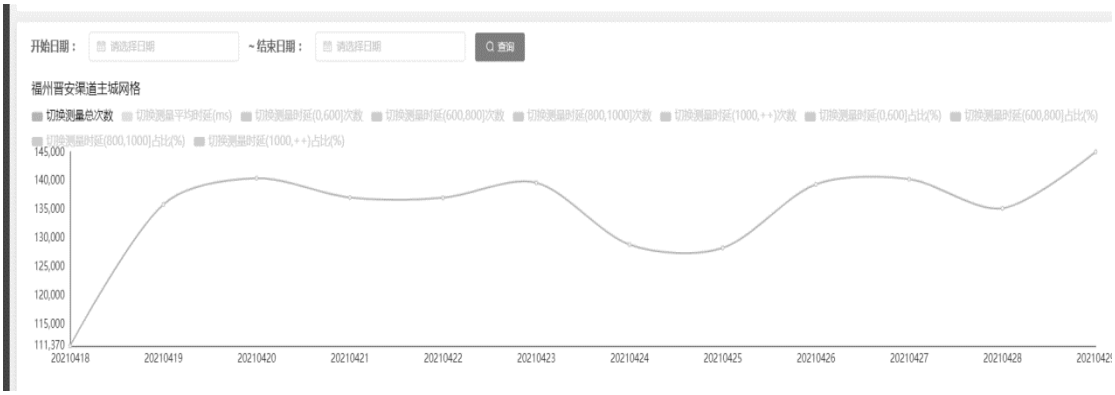
2、网格化下钻

✓可按地市统计网格，实现网格时延问题精准定位施策。

日期：20210429　地市：请输入或从列表　查询

地市	网格	切换测量总次数	切换测量平均时延(ms)	切换测量时延(0,600]次数	切换测量时延(600,800]次数	切换测量时延(800,1000]次数	切换测量时延(1000,++)次数	切换测量时延(0,600]占比(%)	切换测量时延(600,800]占比(%)	切换测量时延(800,1000]占比(%)	切换测量时延(1000,++)占比(%)	操作
福州	福州晋安闽溪主城网格	145129	551.61	106811	25617	5795	6906	73.6	17.65	3.99	4.76	趋势
福州	福州马尾农村网格	772	609.23	392	244	66	70	50.78	31.61	8.55	9.07	趋势
福州	福州台江东主城网格	54807	557.12	39867	9100	3178	2662	72.74	16.6	5.8	4.86	趋势
福州	福州闽清农村网格	11	647.55	6	3	1	1	54.55	27.27	9.09	9.09	趋势
福州	福州马尾闽溪主城网格	52512	544.06	39854	7862	1830	2966	75.9	14.97	3.48	5.65	趋势
福州	福州罗源县城网格	17850	642.22	5760	9921	1695	474	32.27	55.58	9.5	2.66	趋势
福州	福州福清县城网格	112770	527.22	92369	14084	3227	3090	81.91	12.49	2.86	2.74	趋势
福州	福州长乐农村网格	24756	559.9	17234	4626	1541	1355	69.62	18.69	6.22	5.47	趋势
福州	福州连江县城网格	53763	580.96	38379	7968	2403	5013	71.39	14.82	4.47	9.32	趋势
福州	福州晋安新店主城网格	77628	564.09	52974	18090	2987	3577	68.24	23.3	3.85	4.61	趋势

✓可查询网格趋势评估时延情况



3、小区对下钻

✓可筛查小区对 ECI 和小区名情况，可模糊查询相关地市、小区 ECI 和小区名

日期	5G小区	5G ECI	LTE小区	LTE ECI	切换测量总次数	切换测量平均时延(ms)	切换测量时延(0,600]次数	切换测量时延(600,800]次数	切换测量时延(800,1000]次数	切换测量时延(1000,++)次数	切换测量时延(0,600]占比(%)	切换测量时延(600,800]占比(%)	切换测量时延(800,1000]占比(%)	切换测量时延(1000,++)占比(%)
20210429	福州鼓楼-福大研北二号	8628101122	-	4294967295	0	-	0	0	0	0	-	-	-	-
20210429	三明梅列-徐碧B-ZRHH-	8615702529	-	4294967295	4	396.75	4	0	0	0	100	0	0	0
20210429	龙岩永定-档案馆B-ZRH	8614457347	-	4294967295	4	755.5	3	0	0	1	75	0	0	25
20210429	漳州芗城-劳动大厦B-ZR	8613265411	-	4294967295	2	434	2	0	0	0	100	0	0	0
20210429	泉州鲤城-鲤城工南晚美	8660398083	-	4294967295	1	402	1	0	0	0	100	0	0	0
20210429	莆田涵江-梧塘镇正府B-Z	8690925570	-	4294967295	9	514.11	7	1	0	1	77.78	11.11	0	11.11
20210429	福州闽侯-南屿两园乌龙	8627580930	-	4294967295	3	808.67	2	0	0	1	66.67	0	0	33.33
20210429	泉州晋江-晋江龙湖兴亮	8666988800	-	4294967295	0	-	0	0	0	0	-	-	-	-
20210429	泉州晋江-晋江玉埭新省	8666677252	-	4294967295	2	416	2	0	0	0	100	0	0	0
20210429	福州晋安-紫阳酒西B-HR	8626376706	-	4294967295	1	472	1	0	0	0	100	0	0	0

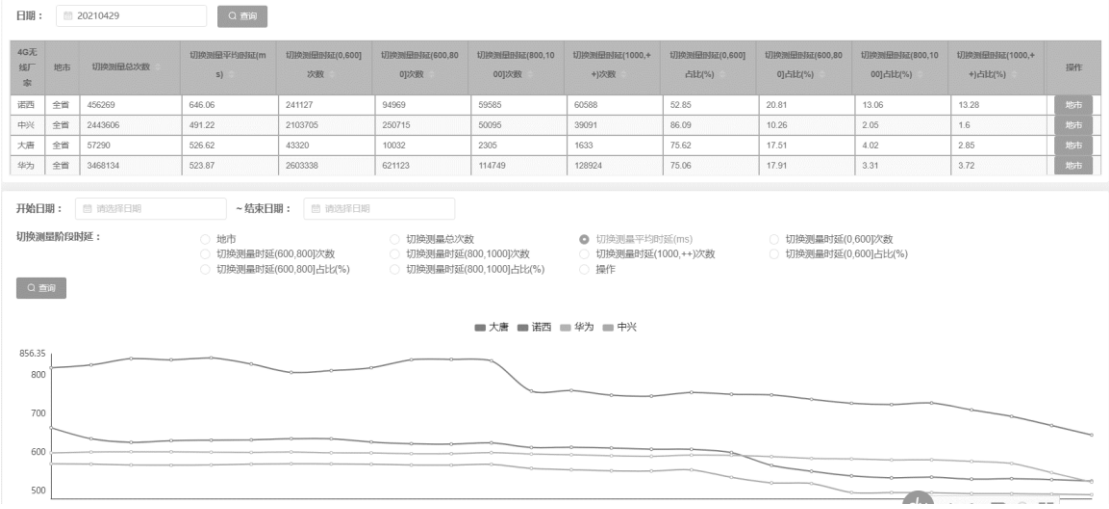
4、网元下钻

✓可统计各核心网网元时延情况，可查看时延趋势

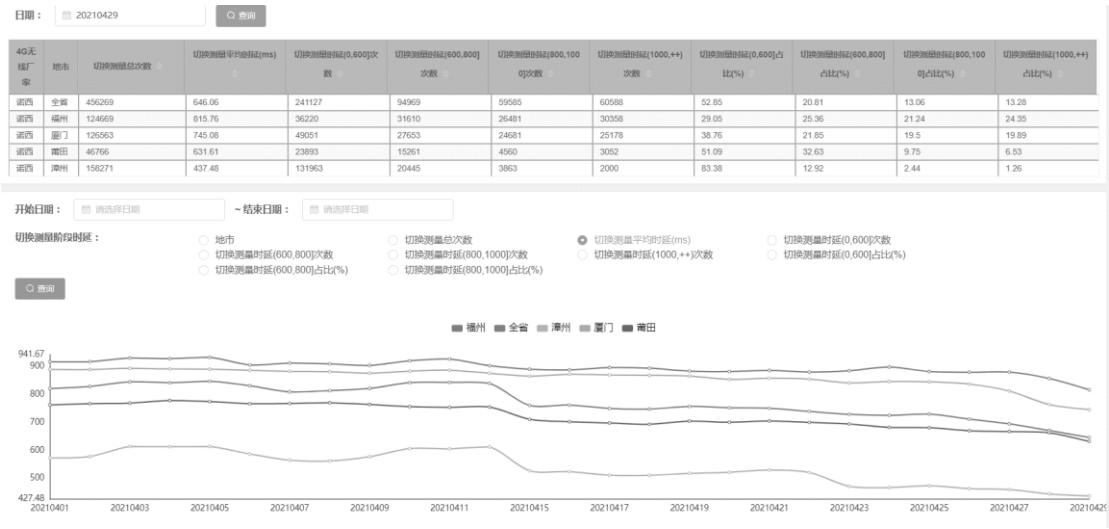
地市	MME网元名称	切换测量总次数	切换测量平均时延(ms)	切换测量时延(0,600]次数	切换测量时延(600,800]次数	切换测量时延(800,1000]次数	切换测量时延(1000,++)次数	切换测量时延(0,600]占比(%)	切换测量时延(600,800]占比(%)	切换测量时延(800,1000]占比(%)	切换测量时延(1000,++)占比(%)	操作
全省	FZMME14BHW	264800	541.68	201572	42623	9914	10691	76.12	16.1	3.74	4.04	趋势
全省	QZHMME53BHW	235543	521.16	188466	35134	6513	5430	80.01	14.92	2.77	2.31	趋势
全省	XIMMME24BNK	277	566.88	188	28	27	34	67.87	10.11	9.75	12.27	趋势
全省	XIMMME0CBNK	44495	534.46	32604	9273	1465	1153	73.28	20.84	3.29	2.59	趋势
全省	XIMMME27BNK	406571	530.85	309969	55236	16901	24465	76.24	13.59	4.16	6.02	趋势
全省	FZMME09BNK	44416	533.76	32606	9170	1448	1192	73.41	20.65	3.26	2.68	趋势
全省	FZMME15BHW	264341	541.41	201217	42539	9996	10589	76.12	16.09	3.78	4.01	趋势
全省	QZHMME54BHW	234395	521.8	187463	35078	6458	5396	79.98	14.97	2.76	2.3	趋势
全省	FZMME13BHW	264497	541.78	201412	42525	9930	10630	76.15	16.08	3.75	4.02	趋势
全省	FZMME0BBNK	44444	535.45	32424	9369	1491	1160	72.95	21.08	3.35	2.61	趋势

5、厂家下钻

✓按照省内各无线厂家下钻，分析不同无线基站时延表现情况



✓按照地市下钻，可查询同一无线厂家在各地市时延情况，进行横向比较，分析同厂家的问题



5 结论

本文设计的5GEPSFALLBACK语音时延分段功能，对EPSFALLBACK语音时延优化起到良好的系统支撑，目前已经在全省推广使用，各地市、省公司维护部门根据自身维护维度作为切入点，根据本应用工具提供的支撑，借助本应用分段即定界的特点，给EPSFALLBACK语音时延的优化带来极好的成效，通过该成果提供的时延分段定界功能，E2E时延从5.53s压降至3.8s。

参考文献

[1]杨慰民.基于大数据的移动互联网主动运维理论和实践进展[J],大数据 2016,2（6）

[2]黄智瀛,白锡添,杜安静.5GSA 语音端到端信令面分析与优化方法[J],通信技术,2021年第4期：878−884

[3]熊英,王江汉,李东.基于 5G 基站EPSFallback 语音测试技术的研究[J],数码设计,2021年第2期56−57

[4]覃思旺,雷梦丹,赵志民.基于 5G 初期语音业务方案与优化策略[J],广西通信技术,2019年第3期25−28

[5]赵云峰,魏芹,戴寒怡.5G 语音解决方案EPSFallback 研究,江苏通信,2021 年第 1 期 21−24

6G 通信网络与元宇宙发展

李　杰

摘　要：元宇宙（Metaverse）是利用科技手段进行链接与创造的，与现实世界映射与交互的虚拟世界，具备新型社会体系的数字生活空间。元宇宙本质上是对现实世界的虚拟化、数字化过程，需要对内容生产、经济系统、用户体验以及实体世界内容等进行大量改造。但元宇宙的发展是循序渐进的，是在共享的基础设施、标准及协议的支撑下，由众多工具、平台不断融合、进化而最终成形。业内普遍认为元宇宙的发展离不开 6G 通信网络的支持，6G 时代下，信息交互由 AR/VR 进一步发展为高保真扩展现实交互，甚至是全息通信。XR 充分调动视觉、触觉、听觉、嗅觉等感官随时随地享受诸如虚拟运动、虚拟旅游、虚拟游戏等完全沉浸式的全息体验。本文通过初步分析 6G 网络的愿景、性能指标、网络架构及元宇宙的相关概念，简析 6G 通信网络与元宇宙发展。

1 6G 网络及其愿景

随着各类通信业务的快速发展以及应用需求的不断提升，用户应用对网络覆盖、数据传输速率及端到端时延提出更高要求，实现蜂窝通信系统在提升传输性能的同时实现与其他各类通信系统的深度融合进而支持空天地海的广域全覆盖成为亟待解决的问题。此外随着人工智能（Artificial IntelligenceAI）技术的快速发展，基于 AI 实现无线网络高度智能化成为网络发展的重要趋势。

第六代（SixthGeneration6G）移动通信系统将满足完全连接智能数字世界需求，实现网络全覆盖、高度智能化及网络安全性的全面提升。与前几代移动通信技术相比，6G 将具有从“连接的事物”到“连接的智能”的彻底变革，即超越个性化通信实现人与人、人与设备以及各类资源的智能连接。

目前，6G 相关研究已受到国内外广泛关注，多个国家及组织已经正式开启 6G 相关研究。芬兰于 2018 年 5 月率先启动 6G 旗舰项目，欧盟已于 2020 年初发布 6G 创新计划，美国已于 2018 年启动了 95GHz～3THz 频率的太赫兹频谱新服务研究工作。中国工业和信息化部已将原有的 5G 研究组 IMT-2020 推进组扩展为 IMT-2030 推进组，推进组主要开展 6G 需求、愿景、关键技术与全球统一标准的可行性研究工作。国际电信联盟无线电通信部门（InternationalTelecommunicationUnion-radioCommunicationSector,ITU-R）的 WP5D 工作组计划在 2023 年底讨论 6G 频谱需求，2027 年底完成 6G 频谱分配。面向 2028—2029 年 ITU 6G 标准评估窗口，3GPP 预计在 2023 年正式启动 6G 标准需求、结构与空口技术的可行性研究工作，于 2026—2027 年完成 6G 空口标准技术规范制定工作。

关于 6G 的愿景目前尚有较多研讨，业界及学术界达成普遍共识的 6G 愿景主要包括以下几点：

①空天地海一体化融合网络；②基于内生 AI 的网络智能化；③复杂多样、差异化的业务类型及应用场景；④网络内生安全。以下对上述特性分别进行简述。

1.1 空天地海一体化融合网络

作者简介：

李杰：男，工程师，工学学士，毕业于重庆邮电大学物联网工程专业，现就职于福建省邮电规划设计院有限公司，主要从事无线网络规划咨询等工作。

6G 将实现陆地网络、空基网络、天基网络以及海基网络的空间三维融合，形成空、天、地、海全维度一体化融合网络，其中，陆地网络（TerrestrialNetwork，TN）包括陆地蜂窝及非蜂窝网络设施；空基网络由无人机、飞艇、热气球等通信设施为用户提供接入服务；天基网络也即卫星通信系统，由多颗位于不同轨道、具有不同种类及性能的卫星形成星座覆盖全球，通过星间、星地链路为地面、海上、空中和深空中的用户、飞行器以及各种通信平台提供信息交互服务。为支持用户与蜂窝通信系统核心网的交互，卫星接入网可采用透明弯管转发无线接入网架构以及星上信号再生无线接入网架构，在透明弯管转发架构中，卫星为无线链路中继节点，实现用户与蜂窝基站的连接。在星上信号再生架构中，卫星类似于蜂窝网络基站，为用户提供网络连接服务；海基网络则是信息通信（InformationCommunicationTechnology,ICT）技术在海洋领域的应用和外延，通过采用海洋水下无线通信技术以及近海沿岸无线通信技术为远洋船只、悬浮岛屿等各类用户设备提供信息服务。

目前，陆地网络服务的人口覆盖率约为 80%，但是受制于经济成本、技术等因素，仅覆盖了约 20%的陆地面积，小于 6%的地表面积。采用卫星通信系统、无人机通信等天基、空基及海洋通信技术等非陆地网络（Non-TerrestrialNetwork,NTN）可以有效解决海洋、森林、沙漠等偏远地区船舶、飞机、科考的宽带通信问题，成为 TN 的有益补充。此外，在陆地网络卸载、应急通信、信令分流等方面，NTN 也具有广阔的应用前景。

1.2 基于内生 AI 的网络智能化

未来 6G 网络将充分利用 AI 技术优势，支持 AI 赋能信息收集、传输及处理，在网络云化、虚拟化、软化的基础上全面实现基于内生 AI 的网络智能化。6G 网络将通过内生的 AI 功能、协议和信令流程，实现 AI 能力的全面渗透，驱动智慧网络不断升级。6G 网络可应用 AI 技术对无线及有线网络环境、用户业务请求及移动模式等数据的收集和分析实现自我演进，具有可扩展、自组织和自适应特性，从而提供具有端到端服务质量（QualityofService，QoS）保障的业务，并充分利用各类网络的互补特性实现无线网络技术的有机融合，用户能够在三维异构融合网络中灵活进行垂直切换及资源接入。

1.3 复杂多样、差异化的业务类型及应用场景

根据 3GPP 标准规范，5G 将支持 3 类典型应用场景，即增强型移动宽带（EnhancedMobileBroadband,eMBB）、大规模机器类型通信（MassiveMachineTypeCommunication,mMTC）和超可靠低延迟通信（UltraReliableLowLatencyCommunication,URLLC）。其中，eMBB 旨在为移动用户提供每秒高达 1Gbit/s 的高速数据传输服务；mMTC 主要面向物联网应用需求，支持大量机器类设备的数据传输需求；RLLC 则支持车载通信和工业自动化等应用中对可靠性及延迟要求极为严苛的业务需求。

可以预见，5G 的广泛应用将显著提升用户网络体验，实现产业发展提速增效。随着 6G 传输速率、吞吐量、时延、可靠性等指标的大幅度提升以及与高性能技术的融合，6G 将以 5G 提出的三大应用场景为基础，不断提升业务性能、优化用户体验，并且进一步将服务的边界从物理世界延拓至虚拟世界，在人—机—物—境完美协作的基础上，实现对更加复杂多样、高度差异化的业务类型及应用场景的有效支持。

6G 的典型应用包括扩展现实（ExtendedReality,XR）、超能交通、智能工厂、全域应急通信、数字孪生体域网、空间通信等。以下主要对 XR、超能交通、智能工厂等应用进行介绍。6G 时代下，信息交互由 AR/VR 进一步发展为高保真扩展现实交互，甚至是全息通信。XR 充分调动视觉、触觉、听觉、嗅觉等感官随时随地享受诸如虚拟运动、虚拟旅游、虚拟游戏等完全沉浸式的全息体验。在 5G 自动驾驶基础上，6G 时代的交通更加智能化，人类所使用的交通更加多样化，实现随叫随到的点对点的智慧出行。超能交通应用涉及基于 AI 的智能决策、基于蜂窝网络、车间通信的信息交互以及交通信息、车辆信息以及环境信息

的收集处理，通过分析预测交通状况等一系列交通任务，可显著改善交通环境和减少交通事故。

基于 6G 网络，智能工厂中的智能设备可以灵活组网，利用边缘计算、AI、区块链等技术进行数据监测、交互，以及生产决策，实现生产自组织，减少人工干预。同时，智能工厂将从客户个性化需求，到工厂间协作，再到产品的物流供应链及服务交互形成端到端闭环，使管理更加智能化。

1.4 网络内生安全

未来 6G 网络首先将实现数字世界与现实世界的深度融合，人们的生活将高度依赖于网络的运行，有形资产可能会因为数字攻击而被窃取，重要的工业价值也可能因网络安全问题而受到严重威胁；其次，6G 时代物联网设备数量将显著增加，各种垂直业务的广泛应用将导致设备数据的传输和存储更易遭受攻击及篡改；最后，与 5G 网络相比，6G 网络的边缘化及软化特性更为突出，边缘网络的安全性将面临巨大挑战。

6G 安全应以内生为特点，即遵循内聚而治、自主以生的思想构建 6G 网络安全体系，在技术融合与业务融合的基础上对不同的安全协议与安全机制进行有机聚合，从而实现网络的安全管理，6G 网络的安全防护应具备自主驱动力，同步性甚至前瞻性地适应网络变化，以衍生网络内在稳健的防御力[4]。6G 网络内生安全还应实现 AI 技术与未来安全设计的有机结合，通过 AI 技术对海量数据进行分析、监控以显著提升网络安全性，还可通过 AI 技术驱动实现信息的智能共识。

2 6G 性能指标

与 5G 相比，6G 的性能指标将显著提升，大多数性能指标相比 5G 将提升 10 到 100 倍，如 6G 的峰值传输速度将达到 100Gbit/s~1Tbit/s，而 5G 仅为 10Gbit/s。时延性能方面，6G 对端到端时延、空口时延以及处理时延进行了细化，端到端时延应低于 0.1ms，是 5G 的十分之一左右，达到用户几乎无法感知的程度。6G 将具有超高可靠性，中断概率低于百万分之一，6G 中定位相关应用将更为普及，而定位精度也相应提升，室内定位精度将达到 10cm，室外达到 1m，相比 5G 提高 10 倍。6G 还将支持超高密度连接，设备连接密度可达到每立方米过百个。此外，6G 将采用太赫兹频段通信，网络容量大幅提升。另外，6G 还定义了 2 个之前蜂窝通信系统未重点考虑的性能指标，即时延抖动和比特能量。通过实现超低时延抖动，将进一步提升数据流传输体验。而对于比特能量这一指标的限定则是实现 6G 绿色通信的要求。图 1 给出了 5G 和 6G 的部分性能指标的对比。

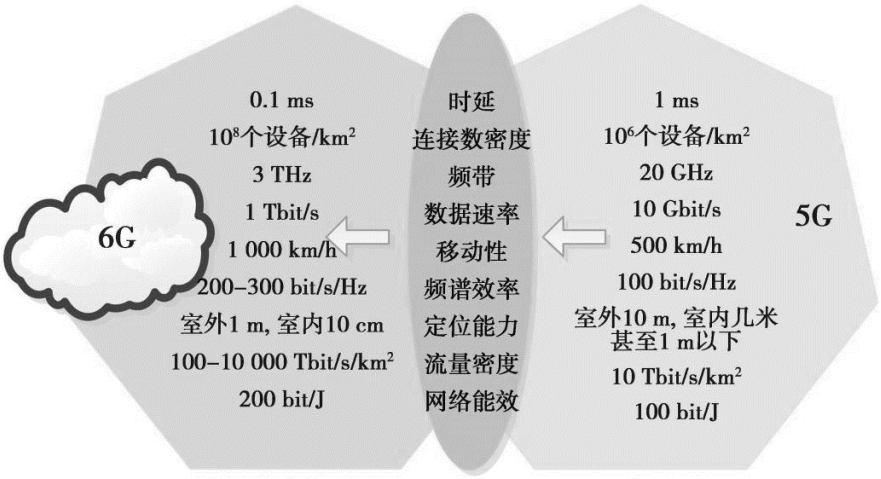


图 15G 和 6G 的部分性能指标的对比

3 6G 网络及其架构

6G 通信系统实现空天地海一体化融合组网，需支持多种异构网络的混合组网，通过融合的通信协议和接入技术，实现对核心网的统一接入，而针对卫星、无人机等高空平台的动态移动特性，还需

设计星间、星地动态组网机制。为了解决网络的可扩展性，实现新业务、新应用和新场景带来的新需求，6G 网络架构将由高度集中式向集中式与分布式相结合，并将支持智能子网的协同、分布式自治。传统蜂窝结构存在小区边缘用户干扰严重，性能较小区中心用户明显降低的问题，6G 系统可采用去小区（Cell-Free,CF）系统结构有望解决这一问题。CF 系统结构部署大量 AP 为用户服务，每个用户可以同时由多个 AP 构造出的虚拟小区提供服务。由于 AP 与用户之间路径损耗较小且多个信道相互独立，可以实现大规模衰落分集。由于 CF 系统结构未采用蜂窝结构，无明显蜂窝界限，从而可有效解决小区边缘干扰问题。

通过 AI 技术在端、边、云侧的智能渗透，可及时满足更多业务场景下的智能交互需求，实现智能资源协同调度，提高网络能效，实施更快更实时的智能决策，使网络各域自优化、自完备，在降低网络运维成本的同时显著提升网络业务提供能力。采用数字孪生技术可以对通信系统各类物理实体，包括通信系统基站、卫星及用户设备进行实时监控，对可能发生的故障进行提前干预，提升网络运行效率，通过应用基于区块链的频谱接入技术，将实现运营商频谱资源的安全、高效管理。图 2 为 6G 网络架构示意图。

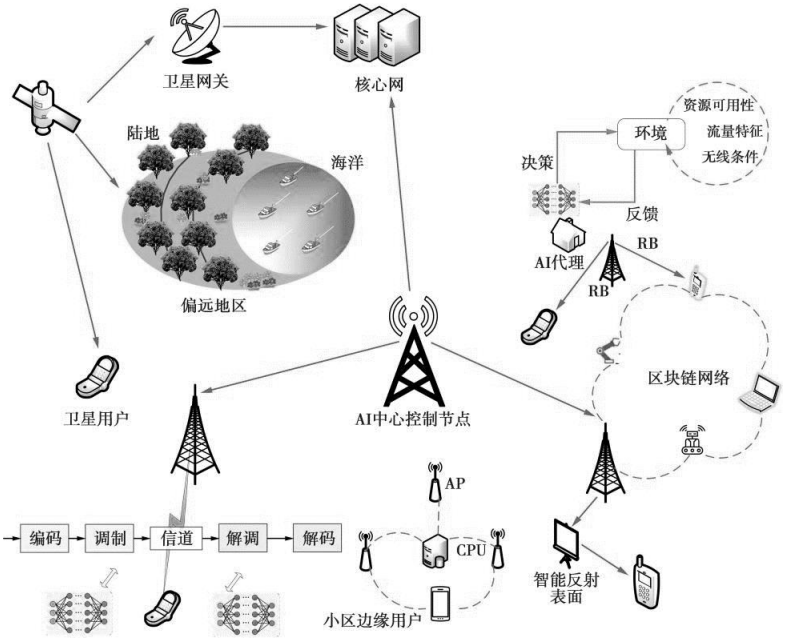


图 26G 网络架构示意图

4 元宇宙概念

元宇宙是当下科技领域最热门的话题之一，目前业界对元宇宙的定义还不明确，各类技术似乎都可以将其装进元宇宙这个“筐”里面。不过，比较明确的是，元宇宙是利用科技手段进行链接与创造的，与现实世界映射与交互的虚拟世界，具备新型社会体系的数字生活空间。

元宇宙一词诞生于1992年的科幻小说《雪崩》，小说描绘了一个庞大的虚拟现实世界，在这里，人们用数字化身来控制，并相互竞争以提高自己的地位，到如今看来，描述的还是超前的未来世界。关于“元宇宙”，比较认可的思想源头是美国数学家和计算机专家弗诺·文奇教授，在其 1981 年出版的小说《真名实姓》中，创造性地构思了一个通过脑机接口进入并获得感官体验的虚拟世界。简明扼要地说，元宇宙是由现实世界和虚拟世界组成。而虚拟世界划分为模式的虚拟世界和创新的虚拟世界。元宇宙是现实世界与虚拟世界的融合，数字孪生、数字原生和虚实共生是其基本特征。

因此，元宇宙本身不是一种技术，也不是一个理念和概念，而是可以感知，它需要整合 5G、6G、

人工智能、大数据、云计算等技术，通过 VR/AR 智能终端，最终达到强调虚实相融，虚实一体的世界。元宇宙是多项科技推动下叠加融合产物，包括人工智能、量子计算、物联网、数字孪生、云计算、6G 通讯、虚拟现实、交互技术、可穿戴设备等，这些技术缺一不可。

6G 将构建人机物智慧互联、智能体高效互通的新型网络，在大幅提升网络能力的基础上，具备智慧内生、多维感知、数字孪生、安全内生等新功能。6G 将实现物理世界人与人、人与物、物与物的高效智能互联，打造泛在精细、实时可信、有机整合的数字世界，实时精确地反映和预测物理世界的真实状态，助力人类走进人机物智慧互联、虚拟与现实深度融合的全新时代，最终实现“万物智联、数字孪生”的美好愿景。

在众多对元宇宙的概念定义中，作为“元宇宙第一股”的 Roblox 公司给出了元宇宙的八大要素被业界广泛认可，即独立身份、社交好友、沉浸感、低延迟、多元化、随时随地、经济系统、文明。不难发现，多个要素的实现需要通信技术的进步，尤其是沉浸感、低延迟、随时随地这三个要素，对于无线通信网络提出较高要求，在高性能通信网络加持下，才能提升虚拟空间中的社交、游戏、购物、办公等场景体验。具体来说，沉浸感要求虚拟世界具备对现实世界的替代性，通过 VR、AR、MR 等设备打开虚拟世界大门，并打破虚拟和现实的屏障，让人们在元宇宙中实现沉浸式体验。随时随地要求人们在未来能实现摆脱时空限制，随时随地进入元宇宙的愿景。要实现这一愿景，不仅各类元宇宙终端设备要具备随时随地携带的特点，设备还具备随时随地接入网络的特点，这也和无线通信向着空天地一体化发展的愿景吻合，给元宇宙各类应用场景提供随时随地接入的能力。

5 6G 与元宇宙的关系

元宇宙的目标是要创造一个更加真实和庞大的虚拟世界，能够容纳亿级的人在线互动。无论是当前的 VR/AR，还是未来的元宇宙，他们必须奔跑在一条康庄大道上，普通的羊肠小径或者山路十八弯是肯定配不上未来的高科技。那从网络或者通信的角度来看，其实无非就是带宽、延时和可靠性三个维度。也就是说，元宇宙需要网络或者我们的通信平台有超高的带宽、超低的时延和超高的可靠性。就目前来看，我们的 5G 仅可以实现基础的支撑，只有在 6G 的情况下才可以沉浸式的体验。对于 5G 而言，VR/AR、无线娱乐、社交网络、个人 AI 辅助等元宇宙最基础的场景都可以支撑，但涉及到沉浸式的 XR、全息影像和感官互联等高阶应用场景，就非 6G 莫属了。

在元宇宙中，实时、流畅的沉浸式体验对网络的要求非常高，这就势必要对互联网和技术进行大规模的、划时代的更新迭代，或者更新迭代已经不足以表达其颠覆性的升级变化了。所以即使目前海量数据中心和越来越快的带宽网络也不足以承载元宇宙。这个时候 6G 的意义就非比寻常了。6G 的网络与智能结合技术、安全方面的技术、确定性网络技术，以及宇宙天空地面一体化融合技术等，均是未来支撑元宇宙的关键。虽然 5G 作为目前还较新的移动通信技术，具备了一定的高速率、低延时、大规模连接的特点，但元宇宙需要的传输能力比 5G 强 10−100 倍，延时也需要到达微秒级等等。元宇宙对网络带宽、延时和可靠性的更高要求，无疑都是需要在 6G 通信网络中得到解决。

元宇宙，引爆下一代网络算力革命

林　伟

摘　要：随着信息技术的蓬勃发展以及众多互联网科技企业的大力投入，元宇宙的热度急速升温，成为炙手可热的概念与话题。元宇宙应用具有实时交互性强，计算、数字资源需求量大等典型特点，对 IP 网络和算力基础设施提出了极高的挑战。对于低时延高带宽的 IP 网络需求，无法单纯通过网络扩容等硬件升级方案解决；对于多样丰富的算力需求，单点集中式的算力资源增长趋势很难匹配需求的增长趋势。本文结合算力网络的发展阶段，总结分析了 IP 网络和算力体系相关优化问题。在第一阶段，两者仍为独立个体，IP 网络可以通过网络流量分类、网络性能建模、多目标路径规划等技术优化现有网络，加强算力流通。在第二阶段，两个体系通过算网大脑联合编排，在进行算力调度、算力选址等任务时做到端到端优化，将通信、计算、存储等流程统筹考虑。元宇宙应用对网络和算力的高需求将会不断激发算力网络的变革与创新，与此同时，算力网络的不断演进也会成为元宇宙在各领域高速发展的技术根基与保障。

关键词：元宇宙，算力网络，时延，拥塞，泛在协同，融合统一、一体共生，算网大脑，算力规划

1 背景

1.1 元宇宙趋势

随着 5G，VR/AR，云计算，AI 等技术的蓬勃发展以及以 Meta（曾用名 Facebook）为代表的头部互联网科技企业的大力投入与宣传，元宇宙在国内外的热度都急速升温，成为炙手可热的概念与话题，粗略估计，2021 年以来，国外游戏平台和我国互联网企业以元宇宙概念获得的融资额分别超过 50 亿美元和 150 亿人民币[1]。另一方面，由于 2020 年新冠疫情的突发及其在全球的大范围蔓延，使得人们对远程办公，远程教育以及新形态社交等领域产生了切实可见的需求，进一步提供了孵化元宇宙应用的土壤，促进了其在各个领域的初步探索。与此同时，数字孪生城市作为我国数字经济发展的重要载体，对模拟仿真，数据融合渲染，感知和标识以及地理信息建模等技术领域的推动也间接的为元宇宙应用提供了所需的各项技术与基础设施[1]。目前为止，元宇宙虽然仍处于萌芽期，大多数人还尚未感受到元宇宙的存在和应用，但我们不能忽略其近几年来的发展趋势以及它在未来改变我们学习，生活，工作和娱乐方式的潜力。

1.2 元宇宙应用的特点

理想形态的元宇宙是一个包含真实世界方方面面的增强虚拟世界，它几乎可以提供真实世界可以提供的一切元素[2]，但实现这个理想形态需要经历长久充分的探索发展以及多轮技术变革与创新。在当前阶段，元宇宙会首先从社交，游戏，办公，工业，健康，教育等领域有所突破，为用户带来新的体验与价值，为企业盈利，进而创造继续向下一阶段发展的必要条件。

元宇宙应用在各个领域的典型特点是实时交互性强，计算以及数字资源需求量大。作为元宇宙潜在入口的 VR 应用对时延提出了很高的要求，一般均在 20ms 以内，在例如医疗，机器人控制等特殊领域 1~10ms 才可以满足需求[3]；与此同时，20 分钟 360° 8K 分辨率的 VR 视频需要 10TB 的空间存储所需资源，这个数字对于未来的 Advanced/UltimateVR 还会增长 10~100 倍；对于计算资源，当今典型的 3A 游戏需要 TFLOPS 量级的图像处理能力，对于理想的元宇宙体验，渲染计算和感知交互等方面需要的算力可能还会上

升 1~2 个数量级[4]。当存在用户互动时，一个用户产生的高度个性化流量需要被发送到分布于网络各处的其他用户，在到达目标用户前，可能会涉及对流量进行各种计算处理与信息生成，对 CPU，GPU，FPGA 和 NPU 等异构算力资源以及功能单元提出了多样复杂的需求[5]。

1.3 元宇宙应用对网络的需求

元宇宙应用的特点决定了它对低时延高带宽的网络连接需求，以及多样性丰富算力的功能需求。在网络连接方面，元宇宙的核心特点就是实时性，因此只有足够低的端到端时延才能保障用户体验。在游戏领域，当前竞技类手机游戏的偶尔卡顿会引起用户的体验下降，在沉浸式的 VR 场景中，无法达到时延要求不仅会使游戏体验下降，还会引起用户生理上的头晕，恶心等不适。对于医疗等特殊场景，后果可能会更加严重[4]。同时，元宇宙应用需要实时获取高度分布的静态和动态内容资源以及交互用户产生的流量，具有高带宽的需求。

在算力方面，随着摩尔定律趋近于极限，单芯片算力接近顶峰，而元宇宙应用对算力的需求增长仍处于起始阶段，单点集中式算力的提升空间面临巨大挑战[5]，同时由于算力需求的多样性，合理利用不同位置的专用计算资源可以达到通过更低成本和功耗完成相同计算任务的效果，因此为了支撑元宇宙应用，网络算力的高效协同与灵活调度是当前学术界的研究方向之一。IP 网络既承载大量内容流量，又承载由调度算力产生的流量，它对用户之间，算力资源之间以及用户与算力资源之间的高效互联是使能元宇宙应用的根基，其与算力资源的的融合程度决定了可以支撑的最优用户体验质量上限。

2 当前 IP 网络以及算力体系现状

近年来云计算、分布式计算以及边缘计算发展迅速，但 IP 网络的作用仍然主要聚焦于通信，负责连接分布于网络各处的算力资源以及连接算力资源与用户，并没有对通信和计算进行端到端优化的实践。随着元宇宙应用的逐渐普及与应用，其对网络和算力的高需求以及爆炸式增长趋势势必会加速 IP 网络与算力资源两个体系的优化与融合[4]。

随着算力网络的发展，其第一个特点将是在整体呈现立体泛在的云边端（Cloud/Edge/Terminal）三级架构。对交互类 VR 应用来说，游戏场景的渲染由云平台统一负责处理，再由用户侧精简版头显负责呈现。用户与平台，用户与用户间的交互类，可以由用户侧终端或近端算力资源（比如头显、光猫或 CDN）处理。第二个特点是算网深度结合，算网资源的全局智能调度和优化（网调云、云调网），可有效促进算力的“流动”，例如对 CDN 的资源进行调度时，除了考虑 CDN 内化的云因子（存储、算力）因素外，还需要考虑网因子，确保调度的节点不仅资源最优，网络也是最优。

中国移动算力网络白皮书[5]中对算力网络的最终发展目标提出了“算力泛在，算网共生，智能编排，一体服务”的愿景，对网络与算力体系的融合方向与最终效果进行了讨论，并把算力网络的发展分类三个阶段：泛在协同，融合统一和一体共生。本文聚焦于元宇宙应用的需求特点，结合这三个阶段，总结分析了不同阶段中 IP 网络和算力体系使能元宇宙应用的部分关键优化技术方向。

3 技术演进方向

元宇宙的发展以及相应网络和算力体系的演进不是一蹴而就，直接达到理想形态的，而是在变革与创新中互相促进互相配合循序渐进的。本部分主要依照[5]中对算力网络发展阶段的定义，分析各个阶段的关键优化技术方向。

3.1 阶段一：泛在协同

在现有 IP 网络设备，算力基础设施以及拓扑的基础上通过优化配置，优化算法等措施提高网络能力，实现算力资源的高速高效互联。在此阶段，IP 网络和算力体系各自优化，仍为两个独立个体。

3.1.1 网络流量分类

网络中不是所有流量都是有低时延需求的，因此准确识别应用种类及其对应的时延需求对合理分配网络带宽资源，保证网络服务质量保障具

有重要意义。当前主流的网络流量分类方法主要有四类，分别是基于端口的分类，基于深度报文检测的分类，基于统计特征的分类以及基于深度学习的分类[7][8]。元宇宙应用产生的流量种类复杂，可能包含音频，视频，即时通信，计算流，网页浏览以及类似下载的数字资源传输等流量，并且在网络中可能会经过多次信息加工与处理。如何对元宇宙应用产生的复杂多样流量进行准确识别对网络流量分类技术提出了新的挑战。越来越多的应用流量隐藏端口或使用动态端口使得第一种分类方法使用在很大程度上受限。网络中逐渐增加的加密流量使得第二类方法适用范围大幅缩小。而对于数据驱动的后两种方法，由于元宇宙应用流量的高度复杂性，使用历史数据训练的模型可能很快就无法准确识别网络中的流量类型，需要在线训练或自适应更新，这对分类技术的自动化和智能化提出了更加迫切的需求。

3.1.2 网络性能建模

网络性能建模（时延，丢包，抖动）是网络优化的关键技术之一[9]，也是实现元宇宙应用低时延需求的重要工具。由于不同应用的流量特征不同（例如突发度，突发间隔等），即使宏观上设备接口的平均负载率并没有达到很高的程度，微突发引起的瞬时高负载也会引起拥塞甚至丢包，导致路径时延无法达到元宇宙应用的需求。

当前该领域主要包含三大类方法，分别为物理仿真，理论建模以及数据驱动方法。物理仿真通过构建网络拓扑，还原设备内调度与转发流程进行包级别的精细仿真，其特点是准确性高，但耗时很长，对于相对小型的网络，模拟消耗的时间可能会比真实时间慢 3~4 个数量级（3 天模拟 5 分钟流量）[10]，无法为优化算法提供快速反馈。理论建模主要包含网络演算和排队论两大方向：网络演算对时延上界进行估计，即网络最差的情况，提供的时延信息较为局限。排队论理论完备，可解释性强，可预测队列的排队时延分布，但由于其对流量的假设较强，在级联排队领域也暂无实践性较强的模型，在准确率上无法满足当前性能建模的需求。

数据驱动模型是近年来新兴的研究方向[11]，通过收集大量真实流量数据或仿真平台产生的数据，使用深度学习建立流量特征和时延等指标之间的映射，其特点是准确性高，推理速度快，可适应于各种网络拓扑与流量模型，但缺点是数据需求量大，学术界论文中大多使用仿真平台产生数据，为了产生大量数据，模拟的带宽都远小于 1Gbps。同时目前多云对带宽的需求大和增幅趋势明显，现有的 100G 颗粒度的端口能力，不足以满足后续业务快速发展需求，因此要实现算力互联，IP 和光网络势必会向高速（400G/800G）演进。于此同时，数据驱动模型也遇到了极大的挑战，未来的研究方向之一就是如何结合理论模型和数据驱动模型，通过引入专家知识以及领域知识来减少数据驱动模型所需的数据量，同时增加可解释性。同时，网络中复杂多样并且时变的流量也对模型的在线学习能力提出了要求。

3.1.3 设备以及路径优化

基于准确快速的网络性能建模，可以使能设备级的调度参数调优以及网络级的动态时延选路。当前设备上不仅有单层的 QoS 调度，还有多层次的 HQoS 调度，可配参数众多，目前工程上主要基于开环控制，即依据专家经验进行配置，配置后在各种流量情况下所有参数均保持不变，资源利用率不高，存在优化空间。设备级网络性能模型可作为强化学习或智能搜索算法的环境或损失函数，指导算法实时根据输入流量特征，队列配置参数以及队列系统状态等信息进行参数序列调优或最优参数搜索，进而提升单设备的性能指标。

当前在进行路径规划时，一般只考虑链路时延以及宏观的链路利用率，对排队时延的评估粒度较粗，无法满足端到端低时延路径规划的需求。网络级性能模型通过准确计算各种特征的流量在不同路径叠加下的端到端时延指标，使能线性规划等路径规划算法得到考虑动态排队时延的低时延路径。

通过设备级和网络级的配置以及路径优化，提高了现存 IP 网络的连接能力上限，为时延敏感的元宇宙应用流量提供了低时延路径，加快了算

力资源的流动，更高质量的支撑了元宇宙应用。图 1 简要对所描述技术进行了示意，基于网络级性能建模的路径规划算法以及设备级的闭环控制可以通过保证业务无绕行以及节点无拥塞构造低时延路径，为时延敏感业务提供高质量隧道；与此同时，在低时延路径上，通过设备级的流量分类算法以及相应调度算法，可以对不同等级的时延敏感业务提供相适配的带宽资源，提高资源利用率以及差异性服务能力。具体技术演进表现如下：

1）实现网络速率灵活匹配（传输能力）：现网核心层端口能力已经是 100G 起步，为满足业务小颗粒度带宽需求，需要切片技术，flexe 硬切片主要在大带宽（100G/400G/800G 以上）环境下，应用在物理层和数据链路层之间，实现灵活速率匹配（打破现有以太网固定阶梯式的带宽体系，实现 GE 细粒度带宽资源硬隔离）和时分复用的通道化能力。

2）加强网络感知能力。提升网络流量，时延，丢包，抖动等指标的全网感知能力。实现全网链路时延采集，通过 BGP-LS 动态实时上报，构建全网时延地图。呈现时延地图，以业务为中心构建路径多层时延圈，在业务布放前进行预评估，确保网络时延可满足业务诉求。进阶实现秒级自动感知网络的时延和带宽利用率的变化。

3）提升网络智能调度能力。基于网络感知能力，在网络质量和流量发生变化时，实时计算模块，自动牵引网络的业务路径进行变更。全网部署 SRv6Policy 技术，推进网络从尽力转发向确定性转发演进。

近年来学者在基于机器学习的智能路由算法研究领域进行了初步的探索，对算法原理进行了验证并取得了一定的进展，虽然距离当前真实环境下部署仍有距离，但随着未来网络的发展以及与算力体系的融合，仍有可能成为支撑元宇宙应用需求的关键技术。

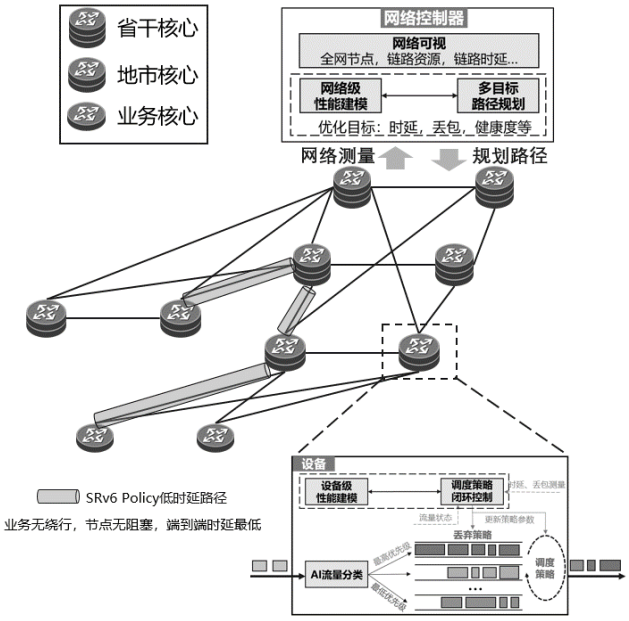


图 7IP 网络低时延优化技术示意图

3.2 阶段二：融合统一

在此阶段，IP 网络和算力体系逐渐融合，在算力调度，网络扩容，新增算力资源时会将两者联合优化，从上一个阶段的两者各自优化变为端到端优化，提高理论最优上界。

3.2.1 算力调度与 IP 网络联合优化

元宇宙应用需要大量的算力来处理其复杂多样的功能需求（例如构建符合现实世界的模拟环境）以及丰富的数字资源（例如静态资源或实时采集的传感器数据）来为用户呈现一个沉浸式的

富媒体世界，单点集中式的算力资源很难完全满足其多样性的需求；同时，其对分布于网络各处的远距离数字资源的实时需求以及对大量分散用户的连接更进一步增加了网络中流量的复杂性以及负载率。在第一阶段，IP 网络路径优化的输入是提前选定目的地的流量，即目标算力资源已经由算力体系根据物理距离，算力等因素选定，IP 网络需要做的只是为两者提供高质量的通信。但由于其并未将网络中的流量以及拥塞等动态信息纳入考虑，在算力体系角度来看最优的选择，在网络因素的影响下可能会变为次优解，甚至无法满足需求。另一方面，如何将元宇宙应用产生的实时流数据发送给网络中的大量用户及终端也是一个重要的优化问题，假如算力体系不考虑产生流量对网络的影响，可能会导致产生大量冗余流量和网络拥塞。

如图 2 所示，当客户端同时产生元宇宙应用以及时延不敏感应用的流量时，在只考虑计算资源的情况下，两者均会选择计算资源充足的服务器 1，但由于流量较大，在接口 A 和 B 产生拥塞，节点时延增加，导致路径状态恶化，无法满足元宇宙应用低时延需求。在只考虑网络资源时，通过将所有流量分配到服务器 2 可使全网拥塞程度最低，但由于服务器 2 计算资源紧张，无法满足元宇宙应用计算需求。图 3 通过算网大脑同时考虑网络和算力资源，为元宇宙应用流量安排端到端时延符合要求路径以及满足需求的算力资源，与此同时，不损害时延不敏感业务的使用体验。

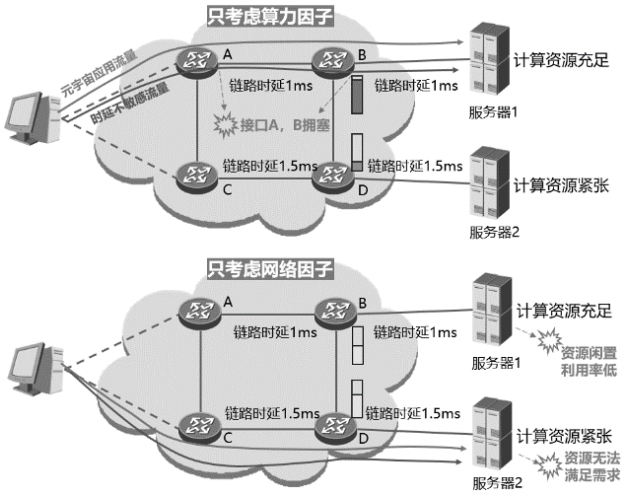


图 8 单独考虑网络或算力因子的计算需求调度示意图

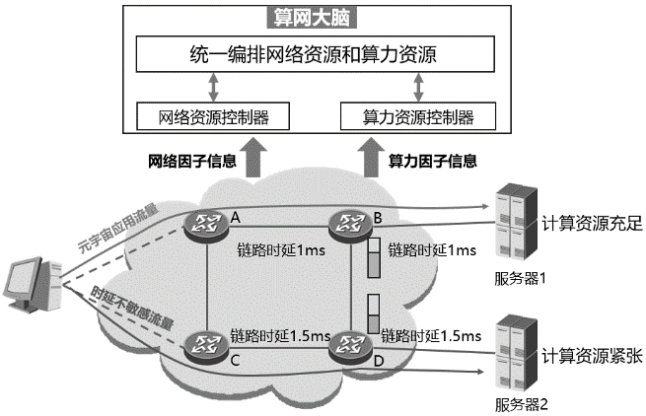


图 9 联合考虑网络和算力因子的计算需求调度示意图

（节点 B、D 右侧矩形图示代表负载率，红色为高，绿色为低）

更一般的情况，当元宇宙应用产生一个算力需求或数字资源需求时，需要对如下几方面进行决策[4]：从何处获取数字资源，从何处获取算力来执行所需功能，由此产生的相关流量路径优化以及网络中所有节点的流量调度策略和计算资源分配；这些决策问题的求解需要将 IP 网络和算力体系联合建模，需要建立“算网大脑”打通算力基础设施以及网络基础设施，智能化统一编排，向上承接各种业务逻辑，向下对接各类资源的管控系统，包含感知、编排、调度等重要功能[5]。

根据元宇宙应用的特点，[4]将元宇宙应用抽象为一个通用模型，称为服务有向无环图（Servicedirectedacyclicgraph,DAG），它描述了为了产生某种元宇宙体验流量数据，需要哪些原始数据流，这些数据流需要经历哪些计算服务以及在何处汇聚组合。举例来说，如图 4 所示，假如想要为用户生成社交 VR 场景的数据流量，需要的原始数据包括两处摄像头的实时视频数据以及一处场景相关的静态资源，其中视频数据需要进行目标追踪等计算处理，随后与静态资源汇聚，经过渲染处理后生成最终发送给用户的流量。在这个过程中，“算网大脑”需要决策从哪些摄像头获取动态数据，从哪些位置获取静态数据，在哪些位置获取需要的计算服务，分配多少资源，是否可以根据大数据分析以及 AI 算法，对用户活动特点，习惯偏好以及趋势规律进行建模，提前将可能需要的静态资源部署到用户近端的位置。同时，所有相关流量的路径以及网络节点中的调度策略，每个计算节点分配的计算资源也应协同考虑，对计算和通信两个过程进行端到端的优化。需要注意的是，此类应用为优化带来了新的约束，即流量所需的计算服务顺序不能打乱。

随着问题规模的不断增加，IP 网络和算力体系作为独立的个体各自优化的问题复杂度已经很高，如何准确的将两者考虑为一个整体建模，将割裂的算力资源和网络资源融合，动态、端到端的优化系统中的海量参数将会是一个未来研究的难点与重点，是一个交叉网络技术，云计算，运筹学，人工智能，控制论等领域的系统工程问题。

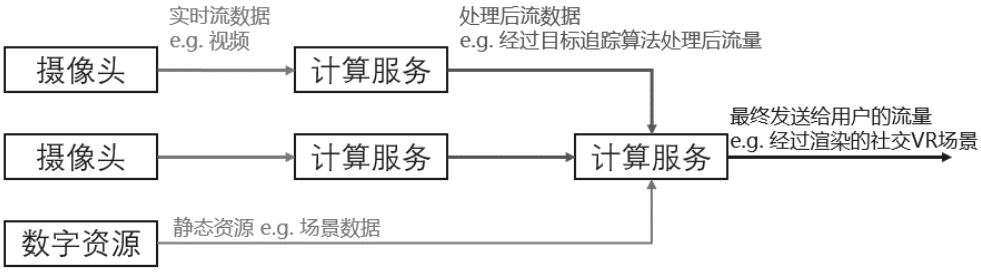


图 10 元宇宙流量有向无环图，例子取自[4]

3.2.2 网络规划与算力选址

为了满足元宇宙应用快速膨胀的流量需求，在融合、优化现有算力和网络基础设施的同时，通过网络规划和选址相关优化算法对基础设施进行升级是提升“算力网络”整体能力及优化上限的关键措施。

IP 网络的网络规划是一个组合优化问题，涉及 IP 层和光纤层的跨层决策，一般的优化目标是在满足带宽需求以及可靠性需求的情况下，尽量降低网络建设费用，求解方法为整数线性规划（IntegerLinearProgramming,ILP），随着网络规模的增加，需要考虑的故障可能性以及增加链路、节点的可能性迅速增加，导致规划问题的搜索空间巨大，实践上一般需要网络专家通过领域知识以及经验为规划问题增加约束进而减小搜索空间，一般需要多轮迭代。近年来，出现了结合 ILP 与人工智能技术的规划方法，中提出了一个两阶段规划方法，首先通过强化学习生成初始解，再通过 ILP 基于初始解构造约束条件进而对问题进行求解，优度和求解速度可通过一个超参数进行控

制和权衡。

数据中心的选址对时延，运营成本，碳排放，能耗等方面均具有重大影响，影响因素复杂，例如 IP 网络，候选区域的水，电，土地费用，当地平均气温，是否接近人口中心。因此此类问题的目标函数一般都包含多个目标以及大量约束，优化问题根据建模可以是线性或者非线性的，中介绍了由线性规划和模拟退火等技术构成的数据中心选址算法。同理，对内容分发网络（CDN）的部署进行优化，可以为用户提供更高质量的服务，尤其是针对占据网络中极大比例的视频类流量，大幅提高内容分发效率，减少网络的带宽成本、降低负载率，同时增强内容的冗余性。错误!未找到引用源。对此问题进行了详细的讨论，并提出了一个考虑用户满意度，网络拓扑以及搬迁代价等因素的缓存放置算法以及与之配套的协议。

类似“算网大脑”对网络和算力的联合编排，考虑算力需求，算力分布的 IP 网络规划以及将网络流量分布，拥塞等动态信息纳入考虑的算力资源选址均为多目标优化问题，涉及变量多，搜索空间大，求解复杂。融合领域知识，优化算法以及基于人工智能的组合优化算法会是未来的一个可能研究方向。另一方面，如何整合社会算力资源，通过分布式计算等技术高效利用用户家中闲置算力，优化云边端三级架构中分布最广，距离用户最近的端侧算力也是算力网络研究的重要课题。

3.3 阶段三：一体内生

第三阶段的实现需要在前两个阶段的技术创新与落地应用中不断总结实践经验，适应随时代不断变化的通信和算力需求，吸纳并融合各个相关学科的最新技术突破，不断开辟原创技术领域，以系统工程的方法逐步构建一个深度内生的有机整体，既高度适配现有服务需求，又具备可不断演进扩展的灵活性，具有自学习，自升级的能力。中国移动算力网络白皮书中提到的技术方向包含算力路由，在网计算，数字孪生，意图网络，算力并网等方向，核心聚焦在网络基础设施与算力基础设施的深度一体化以及“算网大脑”的高度智能化。在阶段二，用户可能仍需指定所需服务的数值特征，例如时延、算力、存储需求等，随后算网大脑根据需求进行资源编排；在阶段三，用户只需输入其意图或直接进行服务请求，例如运行 VR 游戏，超级算网大脑会根据请求或意图，自动编排可以符合其需求的算网资源为其提供服务。在当前阶段，算力网络理想阶段的网络架构，协议形态，硬件结构等各方面仍是一个开放问题。

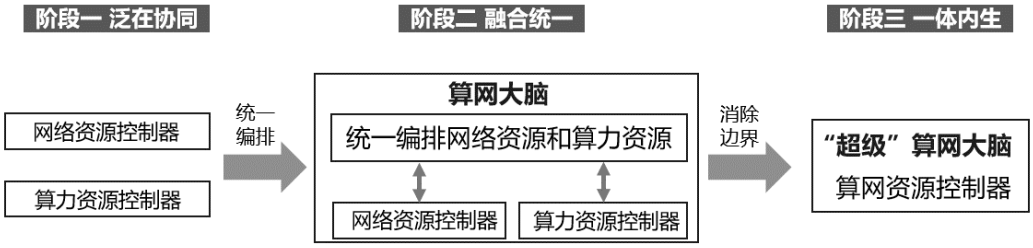


图 11 算力网络控制器的各阶段示意图

4 总结

随着元宇宙应用在游戏、社交、教育、办公等领域的逐步探索与推广，VR/AR 设备的逐渐完善，未来对于算力资源和网络资源的需求会具有爆发式的增长。元宇宙应用对网络的低时延大带宽需求无法仅通过网络扩容解决，对算力体系的多样性需求也无法通过集中式单点算力满足，这两点是 IP 网络以及算力体系进行技术创新与变革，相互融合的巨大推力。本文结合算力网络的发展阶段，着重总结分析了在前两个阶段的优化技术方向，介绍了使能元宇宙应用的关键优化算法能力。

参考文献

[1]中国信息通信研究院,中国互联网协会,中国通信标准化协会.数字孪生城市白皮书[R],2021.

[2]ParkSM,KimYG.AMetaverse：taxonomy,components,applications,andopenchallenges[J].IEEEAccess,2022.

[3]中国联合网络通信集团有限公司.中国联通算力网络白皮书[R],2019.

[4]CaiY,LlorcaJ,TulinoAM,etal.Compute-anddata-intensivenetworks：ThekeytotheMetaverse[J].arXivpreprintarXiv：2204.02001,2022.

[5]中国移动通信集团有限公司.算力网络白皮书[R],2021.

[6]中国信息通信研究院,华为技术有限公司,京东方科技集团股份有限公司.虚拟（增强）现实白皮书篇[R],2021.

[7]云晓春,张永铮,李书豪,王一鹏.网络流量分类[M].北京：科学出版社,2021.

[8]ZhaoJ,JingX,YanZ,etal.Networktrafficclassificationfordatafusion：Asurvey[J].InformationFusion,2021,72：22-47.

[9]徐文伟,张弓,白铂,等.后香农时代ICT领域的十大挑战问题[J].中国科学：数学,2021.

[10]ZhangQ,NgKKW,KazerC,etal.MimicNet：fastperformanceestimatesfordatacenternetworkswithmachinelearning[C]//Proceedingsofthe2021ACMSIGCOMM2021Conference.2021：287-304.

[11]RusekK,Su á rez-VarelaJ,AlmasanP,etal.RouteNet：LeveragingGraphNeuralNetworksfornetworkmodelingandoptimizationinSDN[J].IEEEJournalonSelectedAreasinCommunications,2020,38（10）：2260-2270.

新型盒式波分设备承载运用场景分析

陈丽英

1 前言

随着通信行业向基于数据中心的应用转型，用户提出了对数据中心之间光网络互联和带宽的巨大需求，需要将多个数据中心通过传输系统互联，以实现数据交换及数据安全保护。但是，传统波分互联方案由于设备成本较高、无法实现解耦、机房功耗较大、机房安装空间等问题,越来越满足数据中心互联的需求，也无法实现未来 SDN 开发光网络的需求；盒式波分设备是初期是为数据中心互连（DCI）的应用场景设计的传输系统，提供了灵活的、模块化的和可扩展的光网络解决方案，是一款高容量的光网络传输平台，为运营商、互联网企业、银行金融、以及有数据存储需求的各类企业设计、满足在城域内以及跨长途的数据中心互联应用。

2 盒式波分设备原理及优势

2.1 设备原理

盒式波分系统的基本框架与传统WDM系统类似,主要包括：接入单元（OTU 单板）、复用单元（合/分波板）、传输单元（光放板、光监控信号单元 OSC、光波长选择开关 OLP 等）。其中 OTU 单板负责业务光信号的波长传送，目前主流设备的客户侧支持 100GE 、 OTU4 速率接入，线路侧支持 100G,200G,400G,600G 速率接入,支持 100km 无色散补偿城域传输。合分波、BAPA 光放路保护、OTDR 光纤线路诊断、0CM 波道功率监测等路保护、OTDR 光纤线路诊断、0CM 波道功率监测等功能子模块，其框架如下图所示。

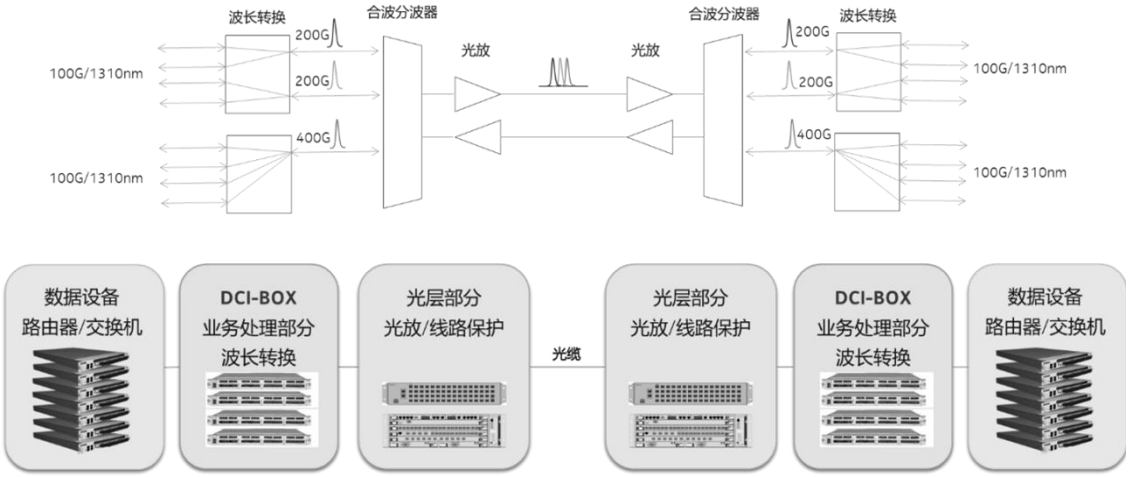


图 1 盒式波分设备模块框架图

作者简介：

陈丽英：高级工程师，毕业于湖南工业大学，现就职于中国通信服务福建省邮电规划设计院有限公司，长期从事传输网专业咨询工作。

2.2 承载优势

盒式波分设备与传统 OTN 相比，具有如下承载优势：

1）成本低：盒式波分设备比传统 OTN 设备单价低 40%以上；

2）容量大：支持单波道 400G 的传送，支路侧接口 20*10GE、1*100GE、2*100GE、4*100GE 等；

3）部署便捷：符合数据机房物理规格、通风方式，占地、功耗为传统 OTN 的 40-60%；符合数据机房服务器尺寸，前进风后出风，可直接插入服务器机架，节省占地；

4）开放的接口可解耦：统一南向 NETCONF/YANG 接口，打破烟囱式管控，解决多厂商统一管控问题，为生产系统提供统一接口；

5）支持多场景运用：支持点到点、环形组网，支持光层灵活穿通，支持 Flexe、OTN、SDH 等业务类型，支持时间同步等功能；

3 盒式波分设备运用场景

基于盒式波分设备占用空间小、功耗需求低、造价低、快部署、开发接口可解耦这些优点，有如下几种运用场景：

1）数据中心（DC）机房之间互连；

云业务驱动大量的 DC 间数据流量，大部分流量发生在同城的数据中心之间，为了实现更好的客户体验，同城的数据中心之间首先要实现互联，建立资源池，多个数据中心的数据相互抽取，资源共享，具体的网络示意如下图所示。

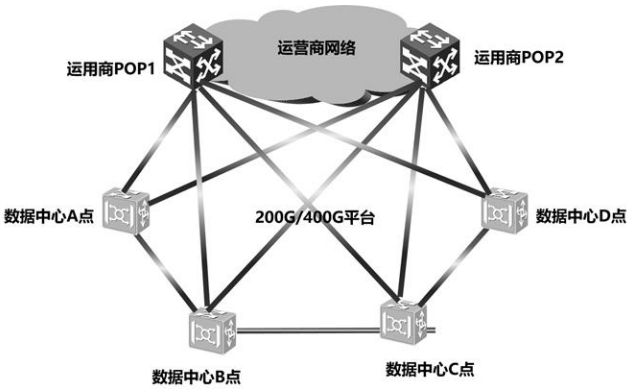


图 2 盒式波分设备在数据中心互联承载示意图

2）新型城域网之间互联；

新型城域网为实现架构弹性扩展、云网标准化对接、用户集中式处理，满足固移融合、云网融合发展需求而建设，新型城域网模块化组件包括城域 POD、云网 POP、POD 出口功能。

新型城域网链路为本地网内业务需求，以裸光纤和波分两种承载方式为主。对于波分承载的场景，现有 WDM/OTN 设备为长途设备在本地网使用，性能过剩且设备投资较高。盒式波分设备采用高集成.盒式设备形态，设备性能匹配本地网内中短距业务场景，减少机房空间占用，投资大幅下降，建议以此承载新型城域网链路。

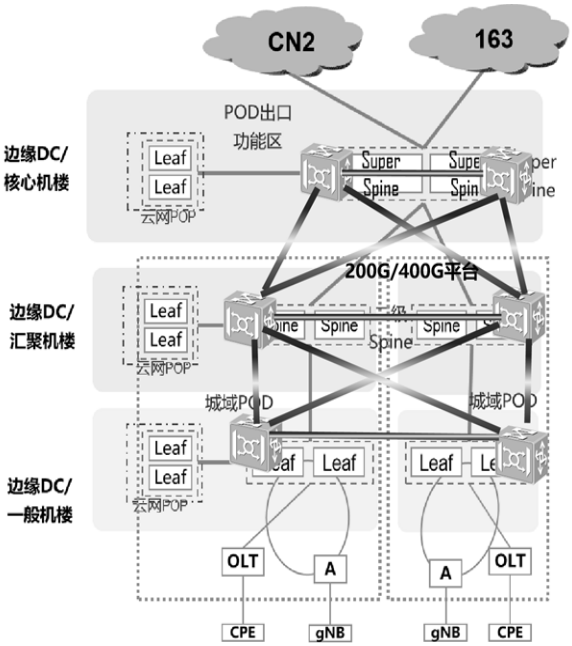


图 3 盒式波分设备在新型城域网承载示意图

3）运营商城域网组网场景

现有新型波分设备支持光交叉的环形组网、线路 1+1 的 OLP 保护、光层灵活穿通、支持 FlexE/OTN/SDH 等业务类型、支持光电解耦功能、多厂家统一网管、时间同步等优点，且其造价低，近几年来将成为运营商承载技术的首选设备，在城域网中各个层面。

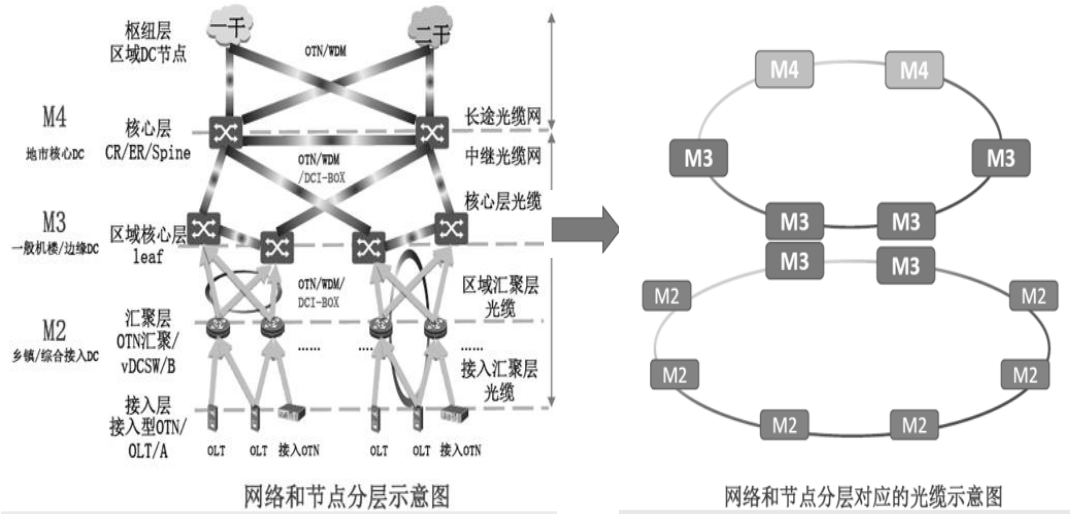


图 3 盒式波分设备在城域网承载示意图

3 结束语

盒式波分设备是低成本波分的最优选择，可实现从数据中心互联到城域波分建设需求，目前几大运营商都完成盒式波分的设备测试和解耦功能的运用，也在较大规模的采购中，盒式波分设备也将成为承载的首选设备。

5G 网络下的客户感知大数据智能研判方法研究

陈俊杰　杨慰民

摘　要：针对 5G 业务发展初期面临的区域优化急需体系手段支撑的问题，本文基于大数据和网络智能化技术，开展 5G 上网端到端保障能力研究，通过深度识别、感知建模、大数据分析、智能研判定界，快速挖掘 5G 质差网元、质差终端、质差业务、质差小区问题点，并输出智能化辅助处理建议，实现了面向 5G 业务质量的多维评估和主动运维。本研究提炼出的方法体系、相关模型以及应用经验在行业内具备推广借鉴价值。

关键词：5G；客户感知；大数据；下载速率；智能定界定位

1 引言

随着信息技术的快速发展，5G 技术及其应用已逐步渗透入工商业与日常生活各方面中。与目前的移动通信技术相比，具有高带宽（EnhancedMobileBroadband，eMBB）、低时延（Ultra-reliableandLowLatencyCommunications，uRLLC）和大连接（MassiveMachineTypeCommunication，mMTC）等特性，此外还将深度融合人工智能、工业互联网以及物联网等领域，对传统行业的数字化、网络化以及智能化进行全面升级，拉动经济社会科学水平全面发展。

其中，eMBB 特性为“增强移动宽带”，表现为超高的传输数据速率、广覆盖下的移动性保证等，未来更多的应用对移动网速的需求都将得到满足，它是原来移动网络的升级，让人们体验到极致的网速。增强移动宽带（eMBB）是 5G 发展初期面向个人消费市场的核心应用场景，现阶段来说，eMBB 已率先成熟并实现商用。

而随着业务速率的提升，如何对客户的网络使用速率开展有效评估、终端和网络匹配度如何、5G 用户感知体验情况如何等问题，都是需要急迫开展研究和解决的难点和空白，同时在网络大区制集中化和云化网络改造的背景下，运营商的组网呈现端到端涉及环节更长、问题排查更加复杂的特点，5G 网络端到端主动运维和保障急需相应分析工具和手段支撑。

本文以中国移动首席专家杨慰民博士的“五元五阶”大数据主动运维理论方法为指引，基于大数据和 AI 技术，开展 5G 网络端到端能力研究，通过业务信令深入分析、感知算法研究、端到端评估体系构建、智能运维问题定界方法研究，创新性实现 5G 感知保障能力构建，有效支撑 5G 网络的业务洞察和质量优化工作，形成端到端问题可视、可管、可控、可优能力。进一步通过研究验证，能快速有效发现 5G 网络问题及聚集区域，能够有效提升运营商的 5G 网络运营效率和质量。

2 理论及算法研究

2.1 面向 5G 的五元五阶进阶理论

将五元五阶（fiveelementfivephase，FEFP）时空模型方法论延伸到 5G 网络领域，基于该理论体系，快速敏捷构建一套 5G 网络端到端指标评估体

作者简介：

陈俊杰：硕士，长期从事网络大数据研究，先任职于中国移动福建公司网络部。

杨慰民：博士，中国移动集团级首席专家，福建公司网管中心副总经理，教授级高工，享受国务院政府特殊津贴专家，中央企业劳动模范。

系，围绕用户 5G 上网中五个关键环节（网络注册、承载会话建立、域名查询、链接建立、业务使用阶段）所表征的关键感知指标开展评估，快速挖掘 5G 网络运营中的薄弱环节，较传统指标体系更精准实现对 5G 用户感知体验量化评估。

■五元：用户、终端、小区（NR）、网络（5GC）、业务。

■五阶：注册、会话建立、域名查询、链接建立、业务执行。

以大数据分析为基础，通过五元五阶分析方法捕捉基于信令的用户业务全流程完整记录，获取“五个任何”（任何小区、任何用户、持任何终端、使用任何应用获得的任何量化的效果和品质）的关键信息，为深度挖掘数据价值奠定基础。五元五阶并不是一成不变的，可以根据不同的业务场景进行提炼或进阶扩展以满足不同的运维需求。

通过该理论体系，改变原有以网络指标为导向的被动运维模式，以用户业务感知为原则，捕捉用户上网感知关键环节，透过网络视角汇聚用户、业务视角，实现主动运维的目标。

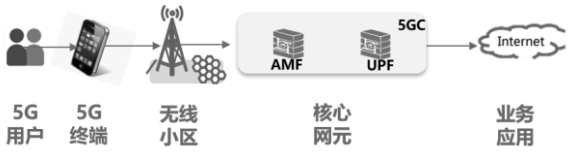


图 15G 网络“五元”分段示意图

2.2 5G 多业务场景速率评价方法研究

面向 5G 上网业务感知，基于 5G 信令采集 XDR（Xdetailrecord，上网日志详单）数据，开展 5G 网络下不同业务场景的下载速率评估方法及算法研究（包括通用业务类型、合成业务类型、多线程业务类型等），从而实现对 5G 业务的用户感知速率真实有效的评价。进一步基于速率评价方法及分区间算法，有效评估不同地市、不同网元、不同厂家、不同终端间的下载速率感知差异，快速挖掘 5G 速率感知质差网元，实现针对性速率调优和感知优化。

2.2.1 通用业务速率评价方法

基于 5GDPI（DeepPacketInspection，深度包检测）采集生成的单事务 XDR 单据进行事务级（如 httpget/post 等）速率分析统计。单事务单据可以面向全量业务协议进行采集输出，因此能够覆盖现网能够识别的全量业务，具备较好的通用性。基于单事务单据能够对现网全量业务的平均速率水平进行评估，从而在横向对比中发现感知质差问题点。

通用业务评估的通用速率算法如下描述：

■指标算法：∑（下行数据量×8/下行持续时间）/N。

■指标定义：统计时间段内，N3 接口成功响应的记录内下行平均速率。

✓成功响应的定义：HTTP 响应码小于 400 或者协议状态码指示为响应成功的状态。

✓下行数据量：即业务平台下发内容给用户终端的过程中获取的下载数据量。

✓下行持续时间：即下行数据有效传输时间，一般取最后一个内容包到首包的时延。

同时，考虑不同业务类型间数据包特性的差异性，譬如视频业务以大包传输为主、游戏业务以小包传输为主等，因此在不同业务评价过程中有必要细分开展分包速率的评价，如下图所示。

此外，需要特别说明的一点，XDR 统计的是一段业务过程内的事务平均情况，并通过不同维度的聚类去发现网络感知质差的环节，通过对比发现优劣，而不是用于计算某个业务或某个用户终端的峰值速率或某个时刻的速率，与 OMC 计数、拨测终端实时测速等统计原理和方式有所不同。因此，XDR 计算的速率值与用户终端展示的速率值存在差异是合理的。

2.2.2 特定业务合成速率评价方法

以视频业务为例，一次视频播放可能产生多条流（或者将一个视频源拆分为多个分片进行传输），为更好评估该类业务速率感知，就需要将播放过程中的多条流关联在一起，使得一条 XDR 能够反映一次完整的业务使用过程。因此，针对部分特定业务，如视频业务、即时通信业务等，开展合成速率算法研究，以一次完整业务请求的粒度进行合成解析填充，实现多条数据流的合成输出和算法评估。

指标	字段英文名称	话单类型	算法
HTTP下行速率	HttpDlRate	N3接口HTTP话单	HTTP下行流量/HTTP下行传输时延
HTTP下行流量（0~10KB，包含10KB）	HttpDlTraffic010	N3接口HTTP话单	HTTP话单中，Message Status字段满足“0<Message Status<400”的话单中，满足“0<DL Data <=10KB”的DL Data字段之和
HTTP下行传输时延（0~10KB，包含10KB）	HttpDlTotalTransTime010	N3接口HTTP话单	HTTP话单中，Message Status字段满足“0<Message Status<400”的话单中，满足“0<DL Data <=10KB”的Last Content Packet Time字段之和
HTTP下行速率（0~10KB，包含10KB）	HttpDlRate010	N3接口HTTP话单	HTTP下行流量（0~10KB，包含10KB）/HTTP下行传输时延（0~10KB，包含10KB）
HTTP下行流量（10~50KB，包含50KB）	HttpDlTraffic1050	N3接口HTTP话单	HTTP话单中，Message Status字段满足“0<Message Status<400”的话单中，满足“10<DL Data <=50KB”的DL Data字段之和
HTTP下行传输时延（10~50KB，包含50KB）	HttpDlTotalTransTime1050	N3接口HTTP话单	HTTP话单中，Message Status字段满足“0<Message Status<400”的话单中，满足“10<DL Data <=50KB”的Last Content Packet Time字段之和
HTTP下行速率（10~50KB，包含50KB）	HttpDlRate1050	N3接口HTTP话单	HTTP下行流量（10~50KB，包含50KB））/HTTP下行传输时延（10~50KB，包含50KB
HTTP下行流量（50~100KB，包含100KB）	HttpDlTraffic50100	N3接口HTTP话单	HTTP话单中，Message Status字段满足“0<Message Status<400”的话单中，满足“50<DL Data <=100KB”的DL Data字段之和
HTTP下行传输时延（50~100KB，包含100KB）	HttpDlTotalTransTime50100	N3接口HTTP话单	HTTP话单中，Message Status字段满足“0<Message Status<400”的话单中，满足“50<DL Data <=100KB”的Last Content Packet Time字段之和
HTTP下行速率（50~100KB，包含100KB）	HttpDlRate50100	N3接口HTTP话单	HTTP下行流量（50~100KB，包含100KB）/HTTP下行传输时延（50~100KB，包含100KB）
HTTP下行流量（100~500KB，包含500KB）	HttpDlTraffic100500	N3接口HTTP话单	HTTP话单中，Message Status字段满足“0<Message Status<400”的话单中，满足“100<DL Data <=500KB”的DL Data字段之和
HTTP下行传输时延（100~500KB，包含500KB）	HttpDlTotalTransTime100500	N3接口HTTP话单	HTTP话单中，Message Status字段满足“0<Message Status<400”的话单中，满足“100<DL Data <=500KB”的Last Content Packet Time字段之和
HTTP下行速率（100~500KB，包含500KB）	HttpDlRate100500	N3接口HTTP话单	HTTP下行流量（100~500KB，包含500KB）/HTTP下行传输时延（100~500KB，包含500KB）
HTTP下行流量（>500KB）	HttpDlTraffic500	N3接口HTTP话单	HTTP话单中，Message Status字段满足“0<Message Status<400”的话单中，满足“DL Data >500KB”的DL Data字段之和
HTTP下行传输时延（>500KB）	HttpDlTotalTransTime500	N3接口HTTP话单	HTTP话单中，Message Status字段满足“0<Message Status<400”的话单中，满足“DL Data >500KB”的Last Content Packet Time字段之和
HTTP下行速率（>500KB）	HttpDlRate500	N3接口HTTP话单	HTTP下行流量（>500KB）/HTTP下行传输时延（>500KB）

图 2 分区间（分包）速率算法说明

合成业务有效下载速率算法如下描述：

■指标算法：∑（有效数据流量×8/有效传输时长）/N。

■指标定义：统计时间段内，N3 接口特定业务合成单据统计速率，有效数据流量/有效传输时长，扣除无下载量的时间间隔，表征一次业务过程多流合并后的有效速率（剔除空闲时长）。

✓有效数据流量：统计时段内业务下载数据量，剔除无效数传时长。

✓有效传输时长：同样仅包含业务下载的有效时间，剔除无数传行为的空闲时间窗口。

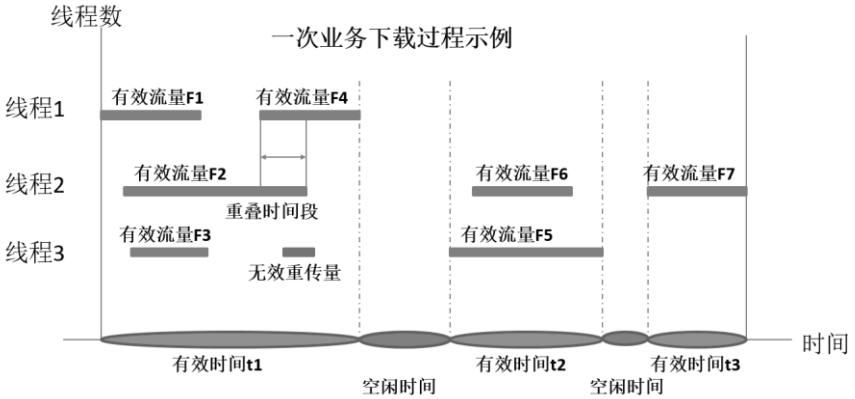


图 3 有效数传过程示意说明

以抖音视频为例，首先，合成方案更适配视频业务特性。主流的视频业务如抖音、快手等在推送内容时都采用的是多流并发的方式，一个视频文件会拆分为多个 get 请求过程完成下载，因此将播放过程中的多条流关联在一起，就更能够反映一次完整的业务过程的感知情况。其次，有效下

载速率更贴近视频用户感知。大部分视频业务存在缓存机制，在业务过程中会存在空闲下载时间窗口，在 DPI 解析时考虑去除重叠时间、空闲时间段、以及仅保持通信交互的低流量时间段，使速率统计更贴合用户感知。

经验证，在相同网络条件下，抖音合成速率算法相较单事务通用算法的速率评估能够提升 67%，更贴近 5G 网络真实速率水平。

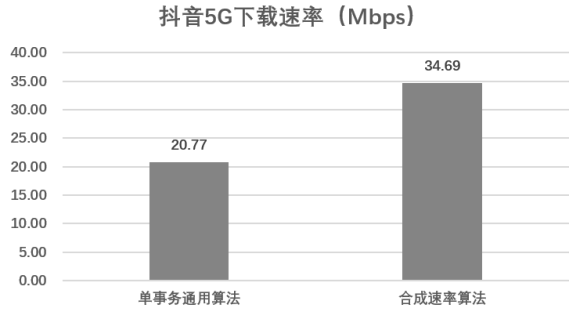


图 4 两种速率评估方法对比

2.2.3 多线程业务速率评价方法

针对一些采用多线程传输机制的典型应用（如 FTP、SpeedTest 等），还可以根据一定的近似算法，来近似拟合用户侧的真实速率感知情况。

■FTP 业务多线程评估方法

FTP 业务根据 DPI 的解析机制按照数据流和控制流分别生成话单，这里我们主要关注的是数据流部分。FTP 协议在下载或者上传业务时，会使用多线程进行下载、上传，每个线程是不同的 TCP 流，在计算用户下载速率时需要计算多个 TCP 线程同时下载时用户的综合速率，而非单线程的速率，能够更贴近用户的实际体验。

在多线程合并速率计算时，将每条线程单据单独计算速率，再将判断为同一次业务的不同线程速率求和：sum（（文件总大小*8/1024/1024）/（传输时长/1000））。

■HTTP 业务多线程评估方法

对于部分特定 HTTP 类型业务（如 SpeedTest），业务侧也采用了多线程机制进行业务调度，可以采用一定的近似算法，来近似拟合用户侧的真实速率感知情况，比如可以根据相同时间段内、相同用户做相同业务，同时源地址、目的地址、host 等元组特征相同的单据进行合并，然后进行综合速率计算。

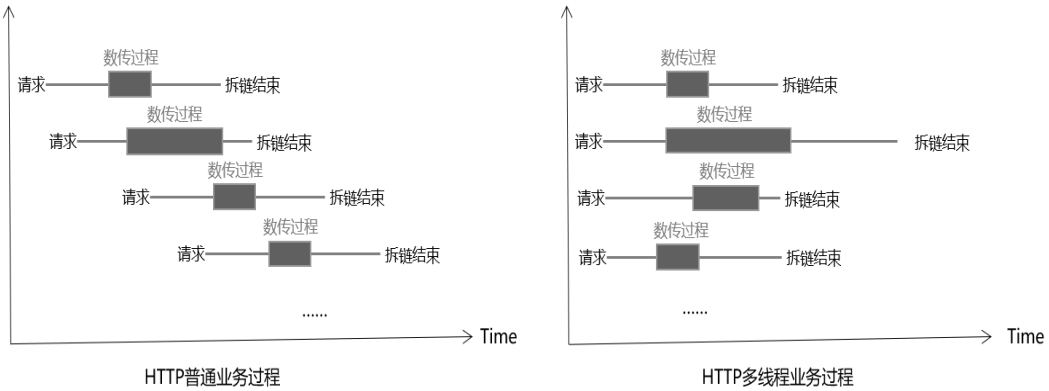


图 5HTTP 协议多线程示意图

基于以上理论及算法研究，我们对于 5G 网络最为核心的速率感知评价已经有了与不同业务场景相适配的评价方法和算法，在本文接下来的内容中，我们将进一步围绕五元五阶综合指标体系，结合大数据和网络智能化方法，开展 5G 网络端到端感知问题智能研判定界方法研究及实现。

3 智能研判定界方法研究

3.1 研究应用场景

本论文的研究主要针对的是基于网络大数据的 5GToC 移动个人网络应用场景，但不局限于以上场景，本论文所提供的方法适用于 ToC、ToB 等不同网络制式下的移动网业务应用，还可以作

为未来 6G 网络运维的技术储备，具备较强的通用性和扩展性。

3.2 整体技术方案

整体处理流程如下图 6 所示，主要包括三个模块：5G 信令采集模块、大数据分析模块、质差问题智能挖掘定界模块（包括规则自优化学习部分）。其中，核心功能模块是质差问题智能挖掘定界能力部分。

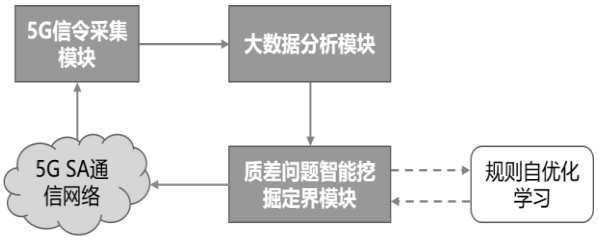


图 65G 质差问题智能研判定界处理流程

3.3 信令采集模块

基础数据来源于 5G 网络 DPI（DeepPacketInspection，深度报文检测）信令采集数据，采集点包括 N1N2/N3/N4/N8/N11/N12/N26 接口等（如图 7 所示），其中最核心的是 N1N2 接口和 N3 接口 XDR 数据，对应控制面接口数据和业务面接口数据。DPI 系统是目前各个运营商基础大数据能力之一，无需新建额外的软硬件资源，只需要直接获取现有的采集数据做大数据处理即可。

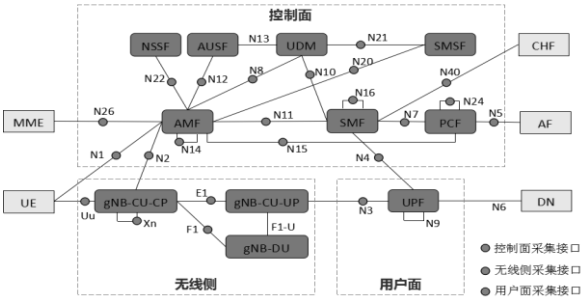


图 75G 信令采集组网接口

3.4 大数据分析模块

大数据分析模块包括两部分处理机制：1）指标体系建模及多维评估；2）质差问题输出。

（1）指标体系建模及多维评估

基于五元五阶理论，构建 5G 端到端指标体系，包括网络质量类指标（网络层）和端到端感知类指标（感知层）两层分类结构。网络层指标方面，主要包括网络接入性类、网络移动性类、网络容量类、SA 覆盖类、网络质量类指标，目标保障 5G 用户占得上、驻留稳、不掉线。感知层指标方面，包括上网综合感知类、重点业务（视频/游戏/即时通信/自有业务/新业务等）体验类指标，目标保障 5G 用户业务体验感知良好。

基于梳理的指标体系，开展用户、终端、小区、网元、业务维度的多维统计和质差问题分析。

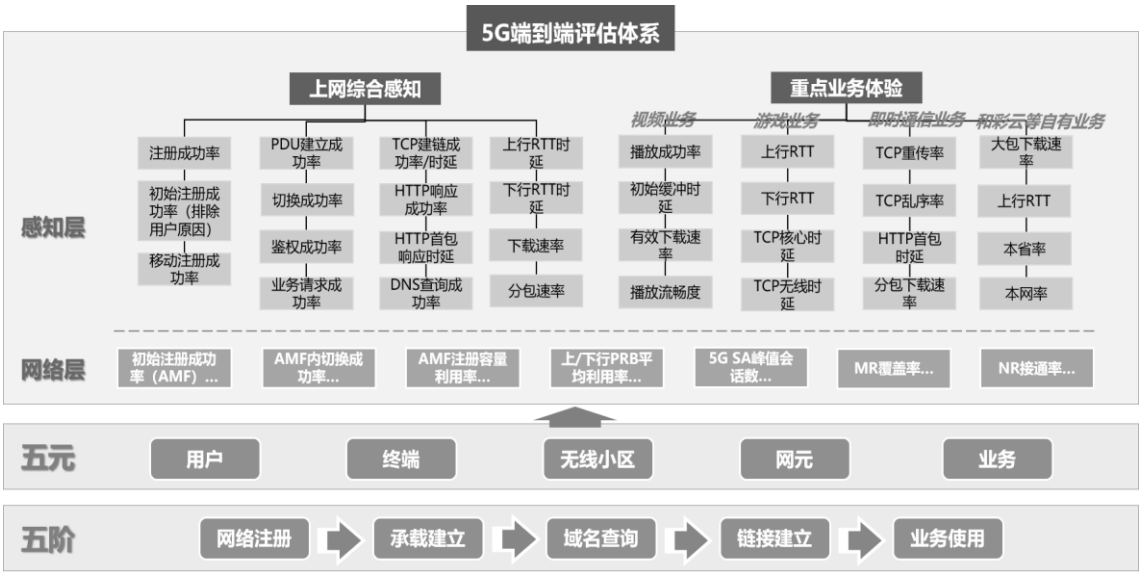


图 85G 端到端指标体系

（2）质差问题输出

基于指标体系筛选各阶段及不同维度重点关注关键指标，制定质差阈值判断标准，挖掘小区、业务、终端、网元质差问题点，针对性开展质差优化整治。质差判断规则参考如下表，同时可以根据现网指标整体变化情况进行动态阈值调整更新。

表 1 质差阈值判断标准

指标名称	指标阈值	指标阈值单位
TCP 无线响应成功率	80	%
TCP 无线响应时延	100	ms
TCP 核心响应成功率	90	%
TCP 核心响应时延	80	ms
上行 RTT 时延	80	ms
下行 RTT 时延	100	ms
注册成功率	90	%
PDU 建立成功率	90	%
初始注册成功率（排除用户原因）	90	%
移动注册成功率	90	%
HTTP 响应成功率	80	%
HTTP 首包响应时延	300	ms
HTTP 下载速率	500	kbps

3.5 质差问题智能挖掘定界模块

根据大数据分析模块输出的质差问题点，导入质差问题智能挖掘定界模块，开展问题溯源自动定界。

其中，质差业务维度聚焦上行 RTT 时延、HTTP 响应成功率、HTTP 下载速率、HTTP 首包时延；质差网元 UPF 维度聚焦 TCP 核心响应成功率、TCP 核心响应时延、上行 RTT 时延；质差网元 AMF 维度聚焦注册成功率、初始注册成功率（排除用户原因）、PDU 建立成功率；质差终端维度聚焦初始注册成功率（排除用户原因）、PDU 建立成功率、HTTP 响应成功率、HTTP 首包响应时延；质差小区维度聚焦初始注册成功率（排除用户原因）、PDU 建立成功率、TCP 无线响应成功率、下行 RTT 时延、HTTP 响应成功率。

智能定界模块总体逻辑如图 9 所示，主要方法是针对质差问题，通过样本空间变换方法关联排除其他维度网络问题的可能影响，从而定位具体问题结论，并进一步呈现细颗粒（终端 tac、业务 IP、网元 IP 等）的统计和对应错误码分布情况。

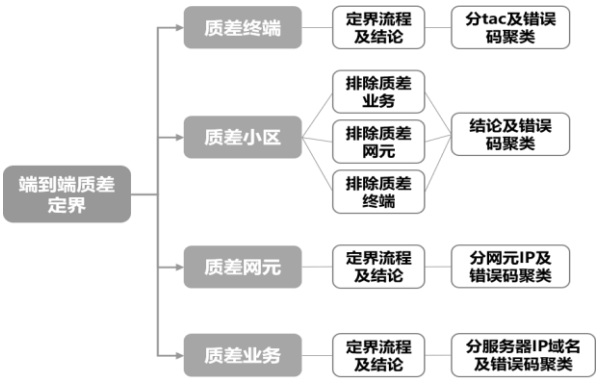


图 95G 端到端问题自动定界逻辑说明

进一步如图 10 所示，以质差小区问题智能定界过程为例：

1）针对大数据分析模块自动输出的质差小区问题，根据同步输出的质差业务问题点开展质差业务影响因子移除判断（即将小区下的全量数据剔除质差业务关联部分后再对小区感知质量进行二次评估），若移除质差业务影响因子后小区感知质量指标恢复正常，则说明该质差小区问题是质差业务问题同步引起，输出定界结论为质差业务引起。

2）同样的，开展质差网元影响因子移除判断（即将小区下的全量数据剔除质差 AMF/UPF 关联部分后再对小区感知质量进行二次评估），若移除质差网元影响因子后小区感知质量指标恢复正常，则说明该质差小区问题是质差网元问题同步引起，输出定界结论为质差网元引起。

3）同样的，开展质差终端影响因子移除判断（即将小区下的全量数据剔除质差手机终端关联部分后再对小区感知质量进行二次评估），若移除质差终端影响因子后小区感知质量指标恢复正常，则说明该质差小区问题是质差终端问题同步引起，输出定界结论为质差终端引起。

4）排除质差业务、质差网元、质差终端过程后，若小区质差问题未恢复，则进一步进行后续

研判过程。

5）将该小区指标与全省值比较、与本地市值比较、与所属区县值比较、与本地市同无线厂家值比较，判断是否是大网及厂家共性问题引起。

6）再与该小区自身历史同期指标开展周期性趋势监测，通过时间序列方法判断该小区是否属于长期质差问题点。

7）最终智能输出定界结论，并开展小区下错误码聚类统计呈现，进一步支撑一线定位。

进一步引入 AI 技术，通过规则引擎方法实现逻辑规则可配置，在规则引擎构建中一是基于 RETE 算法实现执行策略自动推导，二是基于数据挖掘的 Apriori 关联规则算法实现定界规则自动生成。

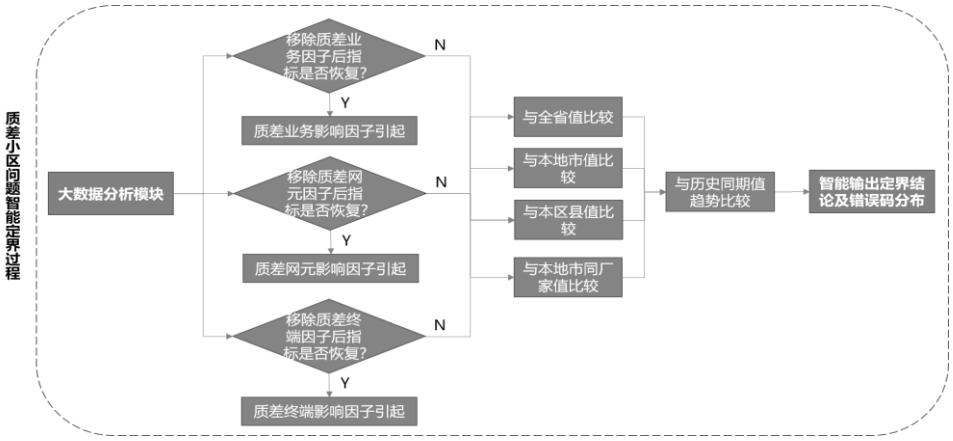


图 105G 端到端问题自动定界逻辑说明

最终通过以上三个模块的自动化采集、分析、研判实现 5G 网络下的客户感知大数据智能研判方法研究及落地实践。

3.6 实践应用情况

3.6.1 系统能力展示

■5G 下载速率及分区间分析

以报表和趋势图形式呈现全省及各地市速率评价情况，并可进一步实现区县、小区等维度下钻查看定位，指标维度包括整体综合速率以及 8 区间细分情况（0~10kb、10~50kb、50~100kb、100~500kb、500~1000kb、1000~5000kb、5000~10000kb、大于 10000kb）。通过应用能够有效评估不同地市、不同网元、不同厂家、不同终端间的下载速率感知差异，快速挖掘 5G 速率感知质差网元，实现针对性速率调优和感知优化。

图 115G 下载速率及分区间应用展示

■5G 端到端问题自动定界

通过报表及趋势图方式呈现各地市质差问题点数量，点击不同维度各个关键指标可下钻查看对应地市的该类质差问题点详情，下方的趋势图可以进行指标切换查看。

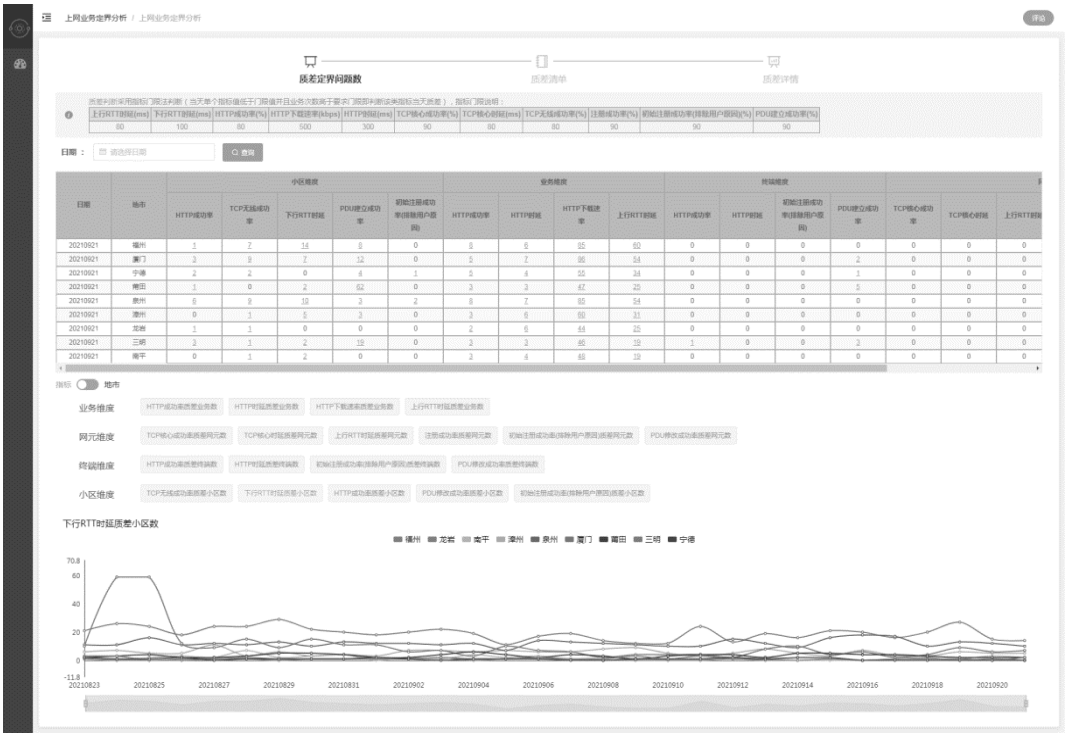


图 11 质差问题总览

下钻点击后，呈现该地市、该维度、该指标的质差清单以及对应的定界结论，进一步点击查看详单可以进一步下钻查看完整定界过程详细信息。

图 12 单维度质差情况及定界结论

质差定界详情下，以框表流程图的动态展示形式呈现完整定界逻辑过程，包括各子环节的定界分析数据及子环节结果，以及最终的定界结果和错误码分布统计，清晰明了，便于一线运维人员辅助理解。

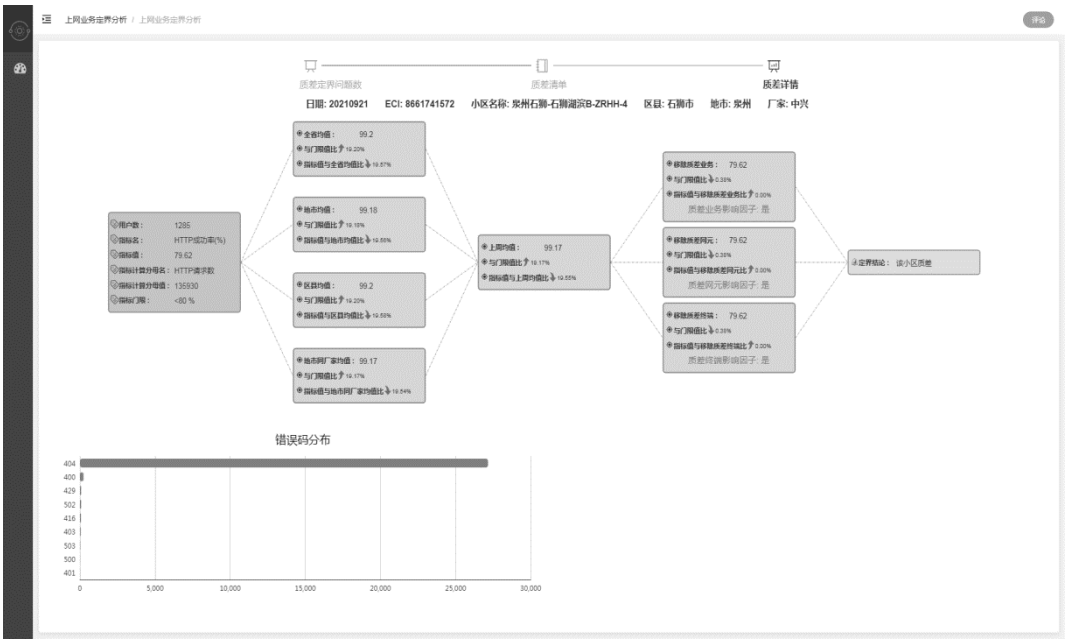


图 13 质差定界详情

3.6.2 实践应用

通过大数据智能研判定界系统，自动输出质差业务、质差网元、质差终端、质差小区等问题点，纳入日常生产流程开展质差整治，提升网络感知质量。

■内容源优化：结合服务器 IP、域名维度分析，对资源引入不足、调度异常问题进行整治。

■核心调优：结合核心网维度和核心网设备所属物理片区聚类分析，整治核心链路感知劣化问题。

■终端网络匹配度优化：结合 5G 终端在网行为特征分析，面向市场部门提供成熟 5G 终端推广建议，面向终端管理部门提供终端网络接入能力优化建议。

■接入网优化：结合不同厂家、组网、场景对比分析，发现厂家/区域类网络问题，对质差小区、质差网格清单进行优化。

月均实现约 400 个左右 5G 性能问题的数据挖掘，协同派发专业闭环解决，实现 5G 关键感知指标初始注册成功率（排除用户原因）环比提升 3.1%，HTTP 响应成功率环比提升 4.3%。

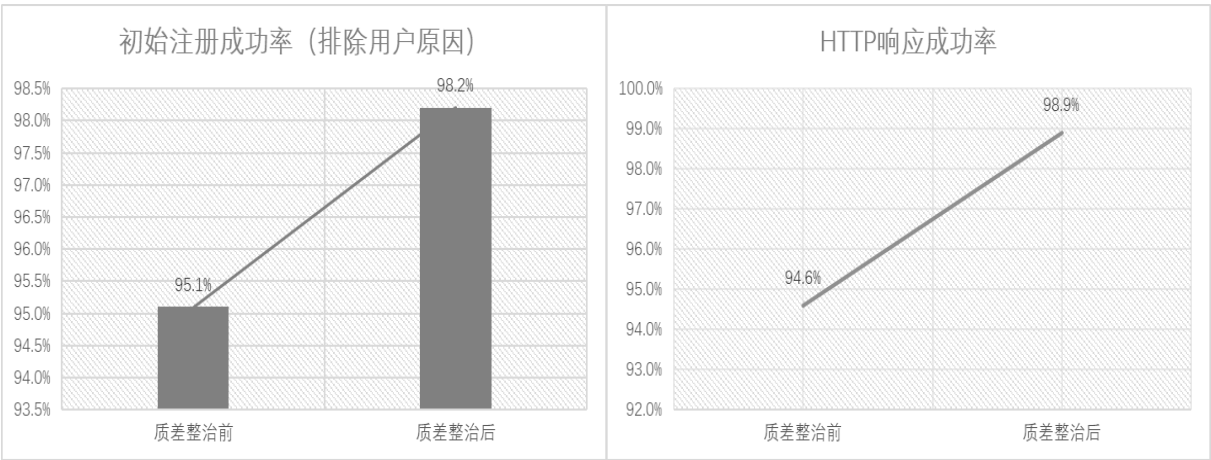


图 14 整治优化效果

4 结束语

随着 5G 终端用户的不断渗透普及，5G 建网初期存在着网络配置优化不足、覆盖存在薄弱点等问题，网络问题发现及优化手段是急需解决的一大难点领域。本研究基于大数据和网络智能化技术，自主提出了一种感知问题智能研判定界方法，该方法包括：构建一整套自下而上端到端的 5G 上网感知保障体系及评价方法，再此基础上选取 5G 用户上网过程中的关键阶段重要指标，利用大数据多维样本空间变换方法，快速挖掘质差网元、质差终端、质差业务、质差小区问题点，并通过智能化方法实现自动定界，实现对 5G 业务质量的多维评估和主动运维。该研究提炼出的方法体系、相关模型以及应用经验在行业内具备推广借鉴价值。

参考文献：

[1]杨慰民.基于大数据的移动互联网主动运维理论和实践进展.大数据.2016,2（06）.

[2]邱喆.面向 5G 的移动互联网用户感知大数据分析体系构建.电子技术与软件工程.2020（08）.

[3]杨玉忠.浅析 5G 网络架构转型与网络规划新体系[J].通讯世界.2019（04）.

[4]冯军,吴奇,章力,杨秀平.基于大数据的移动互联网用户感知问题定位方法研究与应用[J].电信技术.2015（09）.

[5]陈森,陈超,张小勇,王磊,孙鹏.基于大数据分析的移动互联网用户感知评估系统[J].电信科学.2015（04）.

[6]黄毅华,孙柳益,卢洪涛,魏垚.用户感知体系优化的探讨及应用[J].移动通信.2018（04）.

[7]吴丹阳.基于大数据挖掘的移动互联网业务用户感知评价及应用研究[D].北京邮电大学.2016.

用户数据中心机房建设探讨

江城

摘　要：随着信息技术的不断发展与完善，在当前的信息化系统数据中心机房建设过程中，必须对数据机房的建设内容有充分的了解与掌握，才能保证数据中心机房建设的合理性。因此，需要对数据机房的建设内容进行分析与研究，以期为数据中心机房建设提供参考。

关键词：数据中心；装修；电气；消防；给排水暖通；智能化；电源；

1 引言

由于计算机设备的集成度越来越高，网络化程度也越来越高，所以信息系统更加依赖于高可靠的网络中心的不间断运行。只有通过计算机网络稳定、可靠的运行才能发挥其效益，而计算机的硬件及软件的稳定、可靠运行要依靠计算机房的严格的环境条件，即机房温度、湿度、洁净度、噪声、振动、静电、电磁干扰电源质量、防雷和安全防范等要求。因此机房工程的设计与施工也日益被人们所重视。

2 机房设计

用户数据中心按功能区划分，包括数据机房、配电室、操作间/监控值班室、备品备件间、网络接入间、前厅等。

2.1 装修

1）地面

数据机房、监控值班室地面采用硫酸钙活动地板，并做好符合安全要求的等电位联接，地板与墙收边利用不锈钢踢脚线装饰，抗静电地板须做符合安全要求的等电位联接和接地。铺设防静电地板具有稳定的抗静电耐腐蚀、柔光、不起尘保温屏蔽的作用。配电室、网络接入间、采用防静电防滑地砖；备品备件间、走道铺设防滑地砖；

2）墙体

各房间隔墙采用 200mm 厚加气混凝土砌块墙分隔。数据机房墙面采用镀锌钢板安装于加气混凝土砌块墙上，墙上观察窗口玻璃应满足 2H 耐火极限、1200PA 压强及保温、隔音要求。其他房间墙面采用中度粉刷，面刷白色无机涂料二度；

3）门窗

原有窗户采用贴反光膜+轻钢龙骨硅酸钙板+镀锌钢板（内藏防火岩棉及保温棉）封堵。

房间门采用甲级防火门；

4）吊顶

顶棚中度粉刷，面刷白色无机涂料二度，新增冲孔铝单板，做法详国标 12J502−2,1/D18；

5）防火封堵

机房至其他功能区的孔洞需进行封堵，封堵需符合《建筑设计防火规范》GB50016−2014（2018 版）；

6）装修材料

装饰材料的选择应该满足以下要求：

①选用的建筑材料和装修材料须符合《建筑内部装修设计防火规范》（GB50222−2017）的要求采用燃烧性能为 A、B1 级装修材料；

②满足《民用建筑工程室内环境污染控制规范》要求必须采用 A 类无机非金属建筑材料和装修材料；

③工程所使用的装饰材料选择以不燃材料（A

作者简介：

江城：男，工程师，工学学士，现就职于福建省邮电规划设计院有限公司，主要从事通信承载网及电源专业规划设计工作。

级）及难燃材料（B1 级）为主，以满足机房区域内防静电，防辐射，防尘、防水、防雷、防火、防潮、防震和防噪声的要求为原则。所有进入机房的铁器须做热镀锌处理，经焊接的部位需涂专用镀锌油漆处理所有施工工艺处理偏差应达到正负 1mm 范围内。

建筑电气

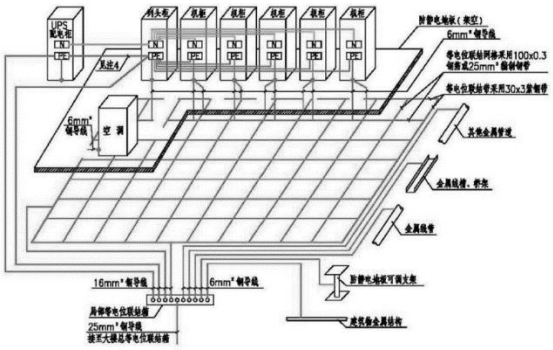
电气照明包括一般照明、备用照明（用于通信机房及监控室）、疏散照明。通信机房及监控室内设置备用照明，即当市电停电后，由发电机供电，保证生产的继续进行；另外备用照明自带应急电源（蓄电池），即当市电停电，发电机还没有供电的这段时间，由应急电源供电自动点亮，维持一定照度，保证部分重要工作不中断。一般场所照明灯具为高效节能荧光灯和 LED 灯，光源显色指数 Ra≥80,色温应在 3300K~5000K 之间。通信机房灯具吸吊顶安装，管线吊顶内敷设。

本期数据机房采用 LED 灯，照度为不小于 500LUX，配电室、监控值班室采用 LED 灯，照度为不小于 300LUX。备用照明和疏散照明采用自带蓄电池式且能快速点燃的光源，其连续供电时间不小于 30 分钟。

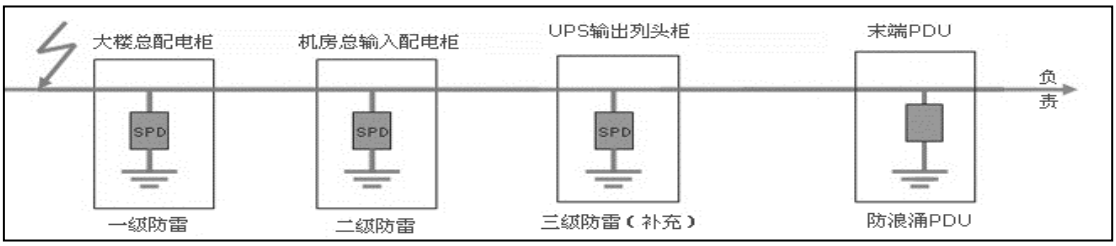
疏散照明均采用墙壁安装，疏散照明安装高度不低于 2000mm，安全出口标志安装于各主入口上方，疏散指示标志安装高度为距地 500mm，疏散照明、疏散指示和安全出口照明电源不允许断电控制。

插座安装方式，普通用电插座距活动地板 300mm 墙壁安装；其他设备用插座按设备要求安装；所有插座支路均设剩余电流保护器。

采用联合接地方式，利用建筑基础底板和基础地梁的钢筋网做接地极。开关电源中性点工作接地、防雷接地、电气设备保护接地、弱电系统接地、通信设备工作接地等合用同一接地体。接地电阻不大于 1 欧姆，若达不到要求，补做人工接地体，本工程低压配电系统为 TN-S 系统。所有进出建筑物的各种金属管道、外露的建筑物金属构件（金属门窗、金属栏杆、金属装饰物等）均应就近与接地装置牢固焊接。



为保证数据机房内设备的安全，对通信设备及弱电设备供电系统，依据设备终端的耐压水平，分别采用 2～4 级的多级防雷措施，加装浪涌保护装置，实现过电压保护。



2.2 消防、给排水

1）气体消防

机房、配电室及网络接入室均按需求设置无管网七氟丙烷气体灭火系统。其特点为清洁气体，对环境没有污染，灭火剂用量少，系统压力低，设备造价相对较低，无需另设钢瓶间，从而提高房间利用率。灭火机理为把空气中氧气的含量降低到支持燃烧的浓度以下，达到灭火的效果。

2）火灾自动报警

机房、配电室、网络接入室均为气体灭火保护区，采用分区独立的气体灭火控制系统进行监测及控制，气体灭火控制盘本期设置在集中监控室对机房消防设备进行集中显示和监控，未来连接至大楼

消防控制中心火灾自动报警主机。

3）灾后排气

设有气体灭火的机房均设置气体灭火灾后排气系统，换气次数大于 5 次/h。

4）消防改造

公共区域喷淋、防排烟、报警等均需与大楼系统配合、对接。

5）对原区域水管进行包封，根据需求增加给、排水管，做好防水措施，并在机房内设置水浸报警。

暖通

1）空调

末端形式	房间级空调	房间级空调	列间空调
送风形式	下送风+机柜下进风	下送风+冷通道封闭	侧送风+冷通道封闭
优势	直接对机柜进行冷却，可控性高，技术与产品成熟，价格较低，维护简单，运维经验丰富。	管道避免进入 IDC 机柜区域,减少水浸危害，安全性高，设备投资少、安装维护便利。	就近制冷，避免局部热点，较节省机房空间，制冷效率高。
劣势	能效一般，设备、管道较多，装机率较低。	能效一般，设备、管道多，需设专门空调机房，装机率低。	对一些非标机柜不适合。

根据分析，数据机房内空调制冷系统采用风冷列间精密空调侧送风+冷通道封闭制冷方式。风冷列间精密空调和设备机柜共同组成密封通道，实现冷热空气隔离。

列间空调靠近热源，送风距离大大缩短，从而减少了距离导致的气流压力损失、冷空气的泄漏损失，提高了冷量的利用效率。

列间空调采用前面水平送风，后回风的气流组织，即冷风是从冷通道送风、后由热通道回风的水平送风方式，从而完全解决了冷热气流短路的问题，保障了设备机柜温度的均匀，消除了局部热点，进而增加了设备的运行可靠性同时有效的降低了不必要的能耗。

其余配套辅助用房根据需求采用柜式或挂式空调。

2）新风

在数据机房内，计算机设备的运行对环境有特定的要求，数据机房不仅仅对机房环境温湿度作了严格规定，而且对机房环境的洁净度也作了相应的严格要求。国家标准 GB50174《数据中心设计规范》对电子计算机机房的洁净度要求如下：空气洁净度为：在每升空气中，大于等于 0.5μm 的颗粒应小于 18000 个。因此引入新风之前，要对新风做相应的处理，达到机房要求的洁净度之后才能进入机房。本工程新风引入选用两级过滤、过滤效率高、阻力低、寿命长等特点，严格控制流入机房内的尘埃粒子的数量。

且为保证机房内正压要求，满足机房内人员新风量需求，设置新风机组，室外空气经新风机组处理后，通过风管送至各个机房。

机房智能化

1）智能微模块统一管理平台

智能化系统综合管理平台集成子系统：动环系统、视频系统、入侵报警系统、门禁系统及冷机群控系统。综合管理平台统一对各子系统监控管理。

●机房内动力环境监控所需的前端传感器以及智能设备数据采集等综合管理平台，可将动力环境监控的系统软件与管理平台安装在同一台服务器上；

●视频系统、门禁系统及入侵报警系统组成安防综合管理系统，以系统的方式提供 SNMP 协议或 MODBUS-TCP 协议，集成于智能化平台中。

管理系统具有可视化界面，根据实际需求可提供全面的管理功能。主要可以监控以下范围的设备：

◆动力设备：精密空调、一体化配电柜、不间断电源（UPS）、自动切换开关（ATS）等。

◆环境设备：多功能传感器（烟雾、温湿度传感器）、水浸传感器等。其中烟感采用 NB-Iot 烟雾

传感器。

◆视频设备：摄像机、网络硬盘录像机。

◆门禁设备：集成标准的门禁管理系统，实现对门状态、刷卡、权限等关键信息的管理和监控。其中门磁采用 NB-Iot 门磁设备。

◆标准的网管接口：系统可以向第三方网管系统提供 SNMP 形式的接口，以满足与第三方系统的信息交互。系统提供多协议扩展机制，满足不同设备的接入。

2）机房 KVM 切换系统

每列机柜配置 1 台 32 路 KVM 切换主机，能够对前端的设备进行远程控制管理，远程登录人员根据给定的权限进行控制管理操作，系统能够实时记录操作人员的信息及过程资料，便于机房管理人员对整个过程进行审计管理，提高安全性；

3）环境、动力监控

环境、动力监控主要对机房的环境温湿度、烟感、漏水、空调、UPS、新风机、排烟机等设备进行控制管理，在消防时能够按设定策略对机房的设备进行强切控制，在发生漏水等情况时能够将信息实时的发送到相关管理人员手机或其他通信设备上，提醒相关管理人员进行处理；

4）安防监控

采用数字式架构，摄像机选用不低于 200 万像素，系统存储时间按 1080P 格式存储不低于 90 天；在机房主要出入口、微模块内安装摄像头。

5）门禁管理系统

设置指纹门禁一体机，对进入机房的通道进行授权管理；系统支持指纹、密码、刷卡等单一或复合识别方式。

采用智能门磁设备，是以 NB-IoT 网络为基础提供的门磁监控产品。通过安装 NB-IoT 智能门磁，实现对门的开关状态监控，发生告警时平台实时通过网站、短信、语音等通知，实现精准监控门磁开关状态。

16）入侵报警系统

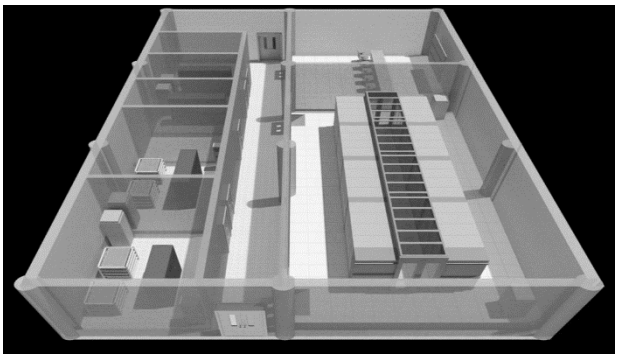
系统设置入侵报警探测器，对出入口通道进行探测设防，在探测到入侵情况后能够与门禁、监控系统进行联动，实时发送报警信息到相关管理人员手机上；

电源

●机房建议配置 2 套 UPS 主机；两套 UPS 分别独立给每个机柜供电，平时各自承担 50%的负载量，在设备检修或故障时，另外一台能够全部接管整体的使用负载要求；

●市电配电柜作为整个机房的市电分配单元，承担市电输入输出功能，UPS 配电柜作为 UPS 配电分配单元，承担整个机房 UPS 配电输入输出功能。

案例分析



3 结束语

总而言之，在对数据中心机房进行建设时，要保证其信息化以及智能化，同时要综合考虑其环保性及安全性，要充分运用先进的技术和手段，保证机房设计的可靠性。

参考文献

[1]李桂生，于贵全，房超.浅析数据中心机房建设与规划[].中国管理信息化，2018，21（18）：64-65.

元宇宙与信息基础设施

吴　昊

摘　要：本文通过对元宇宙发展趋势的分析，总结了元宇宙的重要载体以及对信息基础设施的需求，对元宇宙的信息基础设施规划进行了初步探索。

关键词：元宇宙，信息基础设施，规划

一、前言

当前处于元宇宙萌芽时期，从总体发展趋势而言，元宇宙将是整合多种新技术而产生的新型虚实相融的互联网应用和社会形态，是一个平行于现实世界，又独立于现实世界的虚拟空间，是映射现实世界的在线虚拟世界，是越来越真实的数字虚拟世界。元宇宙的发展建立在信息基础设施的发展之上，也对信息基础设施的规划建设提出了更高的要求。

二、元宇宙发展趋势

元宇宙具有深刻的内涵与外延，具体而言，元宇宙将模拟现实的虚拟世界、创新的虚拟世界，同时现实世界也是元宇宙的一部分，在将来将实现虚拟和现实世界的融合，将超越单一的虚拟或者现实世界。元宇宙将包括一个模拟现实世界的虚拟世界，具有现实世界的全部要素，包含身份、商业、娱乐、社交、文明、治理等，以及现实世界最重要的特征之一——感受。目前对于元宇宙的印象和感知更多的来源于游戏或社交类的应用。元宇宙的未来远不止于这些内容，元宇宙将包括一个创新的虚拟世界，具有完全虚拟创造出来的人、物品、环境、规则等，这个创新的世界也具备现实世界的所有要素。同时，未来所有现实世界的元素都会在虚拟世界产生镜像，并与现实世界互动产生意义和价值。长远看，虚拟世界和现实世界会形成紧密融合和互动——由虚到实、由实到虚，虚中有实，实中有虚。这种融合和互动，将超越单一的现实世界或者虚拟世界的。

就技术层面而言，元宇宙并不是单一技术，其本质上是计算/存储、通信网络、交互媒介等信息基础设施组合和升级迭代所引领的又一场互联网革命。元宇宙是基于互联网而生、与现实世界相互打通、平行存在的虚拟世界，是一个可以映射现实世界、又独立于现实世界的虚拟空间。它不是一家独大的封闭宇宙，而是由无数虚拟世界、数字内容组成的不断碰撞、膨胀的数字宇宙。

三、元宇宙的重要载体及对信息基础设施的需求

（一）虚拟体验 XR

全景沉浸式交互体验的实现基础，也是将现实世界和元宇宙连接起来的重要桥梁。虚拟体验XR（ExtendedReality，扩展现实）以其三维化、自然交互、空间计算等特性，被认为是元宇宙生态的关键连接设备。

XR是指通过计算机将真实与虚拟相结合，打造一个人机交互的虚拟环境，是VR（VirtualReality虚拟现实）、AR（AugmentedReality增强现实）、MR（MixedReality混合现实）等多种技术的统称。从技术储备程度来看，XR相关技术的发展程度有

作者简介：
吴昊：男，毕业于天津大学电子与信息技术专业，高级工程师，福建省邮电规划设计院有限公司工作，从事无线网络与信息基础设施的规划、科研、设计工作。

望实现元宇宙现阶段的发展需求。XR技术的持续迭代来不断优化用户的数字化生活体验；基于XR的数字化服务将围绕各类场景不断渗透，将为颠覆性沉浸式的元宇宙数字生活体验带来突破，成为开启元宇宙时代的重要载体。

高分辨率、高刷新率的VR/AR技术是。VR[虚拟现实）能够让用户进入一种全仿真环境。将用户的听觉、视觉和触觉连结起来，并通过动作拥定来实现信息的传入和导出，AR（增强现实）可让元宇宙里的虚拟世界和真实物理世界互融互通，而未来云化XR可将计算密集型的任务上传至云端，降纸终端设备的负荷和能耗。

VR/AR需要大量的数据传输、计算和存储功能，若将计算密集型的任务上传至云端处理，将需要更高的数据存储和高速计算能力，如实时CG美云渲染VR/AR需要低于5ms的网络时延和高达100Mbps至94Gbps的大带宽。

（二）全息影像技术

全息影像技术是摄影技术的下一个阶段，它记录物体散射的光线，然后特其投影为无需任何特殊设备即可看到的3D物体。未来，随着无线网络能力和高分辨率渲染及终端显示设备的不断发展，未来全息影像技术可呈现自然逼真的视觉还原，实现人、物、环境的3D动态交互。元宇宙是视觉场景的进一步延伸，未来全息影像将取代传统智能屏幕成为元宇宙的交互方式之一、全息影傲的实现需要强大的图像传输能力和强大的空间三维显示能力。

（三）感官互联

元宇宙的本质是所有感官体验的数字化，在元宇宙中，用户的体验高度仿真，所见即能体验到，所体验到等同于所得到的，同时元宇宙中所有的体验都能与现实世界互通。面向2030年及未来，感官信息的有效传输将成为主流的通信方式之一，为了支撑感官信息的传输，需保证听觉、视觉、触觉等感官信息传输的一效性和协调性，这将要求数据传输网络具备毫秒级时延的特性。同时，感官信息的传输关乎用户恩私，因此数据传输的安全性必须得到保障。

（四）脑机交互

脑机交互的关键技术覆盖信息工程、计算机网络、生物工程、运动康复以及神经传导等多个学科方向，未来行业研究重点将朝向数据管理、机器学习算法、软件工程等技术发展，并以高性能算力为底层基础，赋能各行业发展，为元宇宙发展保驾护航。

（五）元宇宙对信息基础设施的要求

根据以上的分析，元宇宙对信息基础设施的要求主要包含以下内容：（1）超高带宽、超低时延及确定性网络，（2）算网融合，（3）多源异构网络融合和超大规模终端接入，（4）软性基础设施。

四、元宇宙基础设施及规划探索

（一）超高带宽与超低时延网络

未来网络对带宽与时延有着更高的要求。如何准时、准确地控制端到端时延对现有IP网络提出了重大挑战，未来网络应采用更高效的传输协议和更智能的路由转发技术来提升网络容量，降低传输时延，提高网络可靠性。

（1）5G网络

5G网络可提供传输速率超过100Mbps，延迟低于10ms的高可靠性沉浸式4K体验，可助力VR/AR、无线娱乐、社交网络、个人AI辅助等基础场景的实现，满足目前元宇宙的业务需求。

（2）6G网络

理想中元宇宙的沉浸式XR、全息影像和感官互联等应用场景提供毫秒级时延、超高带宽，以及有保障的安全性和可靠性。需要6G及以上的网络才能满足，预计6G网络通信在2030年能够全面落地。相比于5G，6G能够支持微妙甚至亚微秒级别的延迟通信，支持室内10厘米、室外1米定位精度，支持全球范围的“万物互联”，真正能实现几乎零延时地在元宇宙穿梭互动。

6G网络的发展极大依赖四大主干技术的突破：太赫兹技术、空天海地一体化技术、确定性网络技术、基于AI的空口技术。太赫兹技术因其频段比现有微波通信要高出1-4个数量级，因此可以承载更大的信息量，轻松解决目前信息传输受制于带宽的问题，满足大数据传输速率通信要求；构建卫星通信网络、深海远洋网络和地面通信网络相相融合的

全球连接的6G通信网络是未来发展的重要方向；具有高可靠性和低时延性的确定性网络技术将催熟6G时代并形成广泛应用；在通信物理层通过无线传输与人工智能相结合也是6G时代的典型趋势。

（3）确定性网络

随着网络应用和网络服务质量需求的不断提高，传统“尽力而为的网络难以满足高服务质量的需求，其存在大量的拥塞和数据分组时延等问题。确定性网络是指能保证业务的确定性带宽、时延、抖动、丢包率指标的网络，确定性网络技术是一种新型的服务质量（QoS）保障技术，主要应用在对时间敏感及可靠性要求高的应用场景包括工业控制、自动驾驶、智能电网电力保护等。

未来的沉浸式云XR、全息通信、智慧交互、感官互联、通信感知等新型业务场景对网络的传输时延、抖动、可靠性等提出了更高的要求，6G确定性网络技术可为其提供端到端的确定性服务，同时为元宇宙的沉浸式交互提供实时、流畅的沉浸式体验。

（二）算网融合

在5G时代到来后，海量数据处理和各类新兴应用的不断涌现，导致算力需求呈几何级数增长，同时，边缘计算使得边媒侧的实时计算成为行业热点，计算泛在化要求高效率的算力连接，若算力供需不匹配，则严重制约算力的高效利用率，目前，云、网、应用相对独立，应用需要分别调用计算和网络资源，无法做到协同使用。算网融合则是将计算、存储、网络资源等基础信息资源整合为一体，向应用层提供服务，提升业务质量，实现资源高效利用。

云计算是元宇宙的基础支撑平台，承载元宇宙中的超大规模数据量，并作为资源池源源不断地提供计算、存储和机器学习。元宇宙的成长和发展需要规模巨大的计算和存储能力支撑。更加真实、更加完整的体验也意味着海量的数据生产。现实世界的计算能力和存储能力直接决定了元宇宙的规模和完整度。

云计算提供海量低成本基础资源。在元宇宙场景下，云计算自身所具备的分布式网络连接、ICT资源共享、快速、按需、弹性服务动态拓展等特性将得到进一步展现，基于其对资源利用的规模效应和更高的利用率，使得技术的单位成本最小化。受限于网络技术发展及网络带宽成本.边缘端算力将补充算力对实时性等需求，形成云-边-端的算力协同模式，将成为元宇宙计算升级的演进趋势。

回到当前，云计算的算力资源尚未满足元宇宙的需求，算力问题依旧是阻碍人类开启元宇宙世界最大的技术难关。云计算之于元宇宙的技术底层进程正处于起步阶段，目前的计算、存储和网络基础设施根本不足以实现元宇宙愿景，而要想实现真正的元宇宙，目前的计算能力需要再提高1000倍。未来，AI计算、边缘计算、量子计算将成为推动元宇宙发展的主力技术。

（三）多源异构网络融合及大规模终端接入

未来网络将持续融合多源异构网络互联，包括网络向空天地一体化演进、下一代智慧光承载和接入网、下一代B5G/6G移动互联网等。同时，物联网的高速发展使得loT终端设备爆发式增长，未来网络需支持更大范围、更高数量级的终端接入网络。未来网络体系架构也因此需要设置更多的具有灵活性和可扩展性的接口，并且向简单开放的方向发展，以满足新的应用程序及网络节点可无障碍接入并部署运行。

（四）软性基础设施

元宇宙软性基础设施是非物质性的基础设施，它是各种元宇宙底层技术与规则协议集合而成的软性平台。元宇宙中的软性基础设施就是区块链。区块链既是元宇宙的架构、多种新技术的融合平台、信息传播的途径，也是内容生产与经济运行的平台，更是参与者沉浸式体验、进行社交互动与创作的平台，它具有开放性、去中心化与永续性。

（1）区块链对于数据的重新处理与应用。无论是区块链的分布式储存，还是节点之间的数据传输，还是共识机制的建立，从根本上来说都需要区块链作为技术支撑。区块链对数据的重新处理意味着算法的不断迭代；数据的重新应用代表着虚实的界限被逐渐打破，从而形成元宇宙所要表达的，实体空间与赛博空间的高度整合。

（2）区块链串联多重技术与应用的平台。作为虚实高度结合的元宇宙，我们看到的是贯穿始终的

大数据与云计算技术、MR/VR/AR、AI…多重技术的协同建构了元宇宙最基础的数据体，各类生态应用平台跨越其上。

（3）实现新技术在元宇宙的闭环。如果我们去分析构成元宇宙的诸如大数据与云计算、AI或是视觉渲染的新技术，这些技术都仅能在某些场景或者片段中应用，无法将构成元宇宙的无数个场景串联起来，区块链平台不仅可以建立各种新技术之间的联系，而且还是可以打造一个基于这些新技术的完整闭环的元宇宙世界。

（五）元宇宙信息基础设施规划探索

（1）顶层设计

由于元宇宙相关技术仍待发展，元宇宙要实现产业化落地和商业化盈利还需要很长时间，应该加快开展“元宇宙”产业发展的顶层设计，加强实践，实现完整性、有效性、一致性、规范性、开放性和共享性，构建政策体系，明确产业发展重点、方向、路径和举措，以支持、鼓励、引导元宇宙相关产业健康发展。

（2）虚实结合的端到端规划

在元宇宙时代，信息基础设施变得更加复杂，技术与业务的迭代更快、需求更高，因此规划更具挑战。由于元宇宙底层技术应用存在交叉融合的特征，元宇宙基础实施出现融合的趋势。中心基础设施功能向终端设施的融合，算法、算力、数据等技术功能融合到终端设备上，以便快速反应客户需求，带来更好使用体验。中心基础设施布局将会逐步下沉至更广泛的空间范围，形成层级更丰富、分布更密集、效率更高的底层设施支持网络。

随着元宇宙的发展，信息基础设施将逐渐走向虚实结合，虚拟是现实的延伸，现实是虚拟的根源。信息基础设施的规划也需要在元宇宙中实践，结合业务的快速迭代，筑牢元宇宙底层的核心技术底座，促进现实设施与虚拟设施的良性互动，最终实现人的发展和社会发展在虚拟和现实两个层次上的和谐。

（3）做好元宇宙与双碳的结合

要维持元宇宙长期运作，充足稳定的能源供应必不可少。元宇宙信息基础设施与双碳息息相关。元宇宙复杂的运行机制需要消耗大量的网络资源、存储资源和算力资源，其稳定运行离不开新基建的建设，目前的5G基站建设、大数据中心、超级/智能算力中心等建设还远远达不到元宇宙所需要的条件。另外，在全球碳中和的趋势下，如何绿色化地建设和运行进行基础设施也是需要纳入考量的。要维持元宇宙长期运作，充足稳定的能源供应必不可少,坚持节能优先战略，明确元宇宙基础设施在节能减排中的主体地位。

五、结论

元宇宙应用潜能裂变式释放，正更快速度、更大范围、更深程度地引发科技革命和产业变革。信息基础设施规划建设也一定要在实践中认识并把握技术发展的本质及规律，做好顶层设计布局，虚实结合，筑牢元宇宙发展的技术底座。

工业元宇宙下智能制造和管理的一体化发展方向研究

郑文彬

摘　要：元宇宙对于工业发展而言，既是机遇，又是挑战，工业元宇宙概念的提出和系统的发展为工业智能化提供了可行路径。文章通过分析工业元宇宙的发展背景、特性和目标，认为工业元宇宙需要增加科研探索力度，加强应用性和信息化探索，满足不同层次人群的需求，为此，分析了在其背景下智能制造和管理相结合的可行性，认为二者的融合发展应当从基础技术发展一体化、政策扶持引导一体化、数据驱动整合一体化、监督评价体系一体化来进行，还提出了智能制造和管理一体化发展的保障体系，包括持续完善顶层设计、探索先驱产业模范带动、构建区域聚集生态系统、强化产学研发展模式。研究对于工业元宇宙的产业布局、结构优化具有参考和借鉴作用。

关键词：工业元宇宙；智能制造；智能管理；产学研模式；政策扶持

中图分类号：F403 文献标识码：A

1 引言

1981 年，美国科幻小说家 VernorSteffenVinge 在其小说《真名实姓》中，构思了一个通过脑机接口进入并获得感官体验的虚拟世界，此后，不断有作家、学者提出虚拟宇宙的概念，2021 年初，SoulApp 在行业内首次提出构建“社交元宇宙”，Facebook 宣布更名为“元”（Meta），因此，有学者也称 2021 年为元宇宙元年。

在定义上，元宇宙是基于现实宇宙、利用科学技术与工程创造的虚拟宇宙[1]，一方面，其诞生和发展离不开现实宇宙，另一方面，其完全超脱了现实宇宙的概念、内容和规则，因此，其不仅反映了一定程度上的现实社会形态，也改变了现实社会运行的常态。自 2021 年以来，大量学者对于元宇宙在各个领域上的运行进行了探索和辩证[2-4]，苟尤钊等分析了元宇宙在企业运行的价值链和未来发展方向[5]，保建云认为坚持理论创新和坚持开拓创新能够对中国推动元宇宙产业发展、数字革命和数字经济发展提供历史经验借鉴[6]，杨健等认为元宇宙的发展依赖于拓展现实、数字孪生、区块链等既有数字化技术的集成[7]。总而言之，元宇宙对于经济和产业的发展具有重要影响[8]。

工业元宇宙作为元宇宙概念基础上的延伸体系，是在元宇宙技术链中融入工业生产全过程的创新概念，展现了一种全新的工业互联网交互模式，能够服务于开放协作的产业形态和商业模式。对于工业元宇宙而言，其仍需以工业生产的传统周期实现产品从制造到管理的一体化过程，如何推动这一进程快速实现，是本文探讨的主要问题。

2 工业元宇宙的发展背景、特性和目标

2.1 工业元宇宙的发展现状

2022 年 5 月，微软宣布工业机器人领域企业川崎重工成为首位使用其“工业元宇宙服务”的客户，帮助其实现生产、维修和管理实现供应链一体化，体现了工业元宇宙的发展潜力。技术层面，典型代表如英伟达工业元宇宙在虚拟工厂、

作者简介：

郑文彬：毕业于福建工程学院，大学本科，就职于福建省邮电工程有限公司，从事通信工程。

虚拟设计、虚拟产品优化、虚拟制造等领域，微软工业元宇宙在沉浸式办公、工作健康管理、安全生产及员工作业指导等领域已经有了较为丰硕的成果，此外，人工智能公司亮风台、工业互联网企业航天云网等公司都正在利用 5G、VR/AR、数字孪生等相关技术切入工业元宇宙，但均未大规模展开应用。自元宇宙概念产生以来，在 CNKI 上关于元宇宙相关研究有超过千篇期刊论文和数十篇学位论文，但与工业元宇宙相关的研究仅有十余篇期刊论文，一方面说明工业元宇宙是元宇宙的发展分支，另一方面也说明了工业元宇宙的研究现状还较为薄弱，和现有的实现工业元宇宙的技术基础发展程度不匹配。

2.2 工业元宇宙的发展特性

工业元宇宙发展至今，呈现了较为显著的特点，无论是企业还是研究机构，都重点注重以下几方面要求：

（1）应用性。工业元宇宙发源于常规元宇宙，但是在其发展中更强调应用作用，即与现实世界的联系，当前，各个企业更希望将工业元宇宙与产品的实际生产、管理相结合起来，保证产品的生产效率、管理质量不断提升，因此，也可以认为工业元宇宙是一组技术概念的集合，虽然基于元宇宙而生，但同时也是数字信息高度发展的产物，是工业应用的升级展现。

（2）信息化。在当前的发展阶段，工业元宇宙的实质运行仍然以信息技术与实体工业的交叉为主要代表，相关的技术包括 XR、AI、loT、云计算、数字孪生等等，帮助推进人员与人员、人员与机器、机器与机器等网络之间的连接，但值得注意的是，在工业信息化发展的层次之中，互联网应用居于最高层级，但实际上这仍是工业元宇宙的基础层次，原因是互联网是元宇宙的构架基础，互联网的高阶则是智能化，因此工业元宇宙必须普及智能化。

2.3 工业元宇宙的未来目标

工业元宇宙的发展目标应当从不同的视域下进行考虑。从企业角度，工业元宇宙的发展应当更注重企业生产产品的销量提升，为此应当关注产品的生产效率、质量安全、运营管理等全寿命周期，从科研人员角度，工业元宇宙的发展应当着眼于提升其更新换代的速度、在更多方向上的运用。无论从何种角度，都应当关注到工业元宇宙的发展与信息技术的关联性，基于信息理论可知，信息化在高阶条件下可以转化为数字化，数字化可以转化为智能化，通过工业元宇宙的技术支持、平台构造，能够保证信息足够完备、语义智能在人和机器之间自由交互，从而实现“人-机”一体的现代世界。

3 智能制造和管理相结合的可行性

3.1 符合政策的引导方向

实现由制造大国向制造强国的转变,已经成为新时期我国经济发展面临的重大课题[9]。截至 2021 年底，我国工业企业关键工序数控化率、数字化研发设计工具普及率分别达到 51.3%和 74.7%，比 2012 年分别提高了 30.7%和 25.9%，这无疑是与政策引导密不可分的。同年 12 月 28 日，工业和信息化部等八部门又联合对外发布《“十四五”智能制造发展规划》，提出“两步走”战略，为企业的智能化提供引导和目标，中国制造 2025 已经近在眼前。智能管理本质上是人工智能与管理科学、知识工程与系统工程、计算技术与通信技术、软件工程与信息工程等多学科、多技术相互结合的技术[10],《“十四五”国家信息化规划》明确提出通过要管理信息化建设和应用系统智能化升级改造，推进现代信息网络技术与管理业务深度融合，有利于促进体制机制创新、业务流程再造和工作模式创新。由此可见，同属于“智能”领域下的两个分支，合理的实现智能制造和智能管理一体化，顺应政策要求。

3.2 保障工业产品全生命周期的整体性

现代工业体系下，工业产品的全生命周期已经较为固定，无论是何种工业产品，都应当包括设计、生产、储存、销售、运营管理几个周期，这其中，生产期和运营管理期无疑是最重要的两个阶段，前者控制着产品的质量，后者控制着产品使用的效果，这两个时期往往也是产品成本消耗和取得效益的主要时期，因此，依靠工业元宇宙技术领域，将智能制造和管理相结合，就把握住了产品的最主要矛盾，能够推动工业产品能合理的利用工业元宇宙的最主要优势。

3.3 维持工业市场秩序合理运行

在工业化时代，一段时间内工业市场的运行

都遵循固定的规则、符合固定的特点，但是，随着技术发展、改革和革命的速度加快，市场秩序难免会由于技术、理念等原因造成先进企业对行业对手的压制，尤其是国外一些企业，对于工业元宇宙的技术积累时间长、力量强，而我国工业元宇宙还处于初期阶段，因此对于我国高端工业造成了“卡脖子”的影响。无疑，技术上的不足在短期内难以补足，但是通过对于智能制造和管理的融合，能够实现产业链的一体化服务，提升企业的竞争力，从而维护市场秩序的合理运行。

4 工业元宇宙下智能制造和管理一体化发展的重点目标

4.1 基础技术发展一体化

技术的支撑是实现智能制造和管理融合的基础，通过对于云平台、云应用等技术手段的运用，强化智能制造与智能管理之间的联系。智能制造作为工业元宇宙的源端，应当在重视其效率和质量的同时也关注用户后续使用体验，将上游生产环节与下游管理环节相融合，构建二者并行的反馈驱动模式。例如，在企业接到生产订单之后，即可在工业元宇宙的系统构架下反馈给管理层，用户从管理层获知订单生产制造的进度、质量保证、交付时间等信息，而在产品运行期间，通过工业元宇宙系统反馈制造链中的管控要点、不足之处等。通过基础技术发展一体化，才能有上层体系的发展，才能使得智能体系能够服务产品的全生命周期。

4.2 政策扶持引导一体化

当前，在对于工业元宇宙的政策扶持上已经有了一部分体现，2022 年 3 月，工业和信息化部工业文化发展中心就发布了《关于征集首批工业文化数字藏品素材的通知报道》，提出将筹建工业元宇宙服务平台，并拟于今年推出首批工业文化数字藏品，5 月，南京市江宁高新区正式发布《关于加快发展元宇宙产业的若干政策》，提出建设一批元宇宙领域的新技术、新产品、新模式、新应用、新业态试点及示范标杆，可见国家和地方层面都加深了对于元宇宙的认识。智能制造和管理要实现交叉渗透，必须有政策的扶持和引导，否则可能会造成秩序的失当，同时，政策管控也能避免工业元宇宙背景下智能体系下的定位不清、制造业和管理关系不清的缺点。

4.3 数据驱动整合一体化

数据驱动是工业元宇宙运行的生命力之一，将数据作为智能制造和智能管理的一种构架方式，是实现二者融合的重要基础。一方面，数据能够为智能制造提供产品生产的信息，另一方面，也能为智能管理提供用户使用产品的信息，将这两个过程实现融合统一，就能保证制造和管理实现连接，在工业元宇宙中，通过 UGC（用户创造内容）内容创作、三维仿真、数字艺术等多样化场景建设，能够为数据驱动提供可行途径，保证数据作为智能体系下的贯穿线索，在工业元宇宙的背景框架下使制造和管理环节形成一个交互链接的整体。

4.4 监督评价体系一体化

工业元宇宙的发展构建仍处于一个持续进行的过程，尚且有许多不完善之处，在此条件下进行智能制造、智能管理或是二者的融合仍然具备不可知的风险，例如工业元宇宙与现实产业之间的映射关系不明确、现实产品的不可控因素等等，都会造成智能体系的运转失常，因此，必须建立合理的监督评价体系，通过对于工业产品智能制造的过程监督和用户对于智能管理的总体评价，在大量的实践验证之下，实现产品在周期性运行的途径中能够得到合理的评判，改进其中存在的不足，从而真正发挥工业元宇宙的效果。

5 工业元宇宙下智能制造和管理一体化发展的保障体系

5.1 持续完善顶层设计

当前，政府部门和企业对于工业元宇宙的运用还处于萌芽阶段，这一时期，应当重点关注如何将现有的发展背景充分概括、将未来的发展趋势进行合理预测，这离不开政府相关部门的顶层设计作用。发改部门和工信、经信部门作为与工业元宇宙联系度较高的单位，应当研究将智能制造和管理一体化发展的具体实施方案，如将其作为信息化改革的主要目标，并联络相关的部门，深度开展制造业和管理科学的融合，充分借鉴已有的地方建设经验，建立官方的监管、评价、参与机构，避免工业元宇宙下的科技垄断等行为。

5.2 探索先驱产业模范带动

工业元宇宙的入场者正逐渐增加，一方面，为

智能制造和管理的一体化发展提供了技术支撑、可行参考，但是也加大了彼此之间的竞争和排挤。当前发展现状下，由于技术还不很成熟，后者的表现暂不明显，因此更应当力推先进，支持具有独特技术基础的产业、企业等进行先行开发，以先开发带动后开发，在 5G、工业物联网等领域加深改革发展，优化智能制造和管理过程中的不确定因素，同时支持先导企业优先进行工业元宇宙下制造管理一体化的试验进程，从中获取先进的、可参考的、变革性的经验，创新发展思维，形成模范带动的重要效应。

5.3 构建区域聚集生态系统

产业的发展往往不是个体独立运行的，而是呈现区域性、聚集性的表现方式，这与地方政策引导有关，也与工业市场的上下游体系构造有关，个体企业当前很难做到集智能制造和管理一体化，因此，为了扩大工业元宇宙的发展规模，必须合理的安排产业链的生态布局，通过成立工业元宇宙园区、建立工业元宇宙扶持基金等，在先行地区发展一大批能够实现彼此合作又相互竞争的智能制造和管理参与企业、结构，依托区域聚集效应，加快工业元宇宙的布局规模。

5.4 强化产学研发展模式

产学研模式是科技时代的一种重要模式，既能为产业的发展提供科技支撑，为产业的发展规划提供理论基础，将产业的实践经验合理总结，又能为人才培养、技术孕育提供鲜活的生命力。智能制造、智能管理机二者的一体化发展都离不开产学研模式，工业元宇宙背景下，更应当加快构建以企业为主体、市场为导向、产学研用深度融合的产业技术创新体系，推动产业创新从单点突破向系统能力提升加速转变，扩大有机力量的交错融合。

6.结语

工业元宇宙作为工业发展的未来目标之一，应当重视其中的应用型和信息化特点，将智能化作为当前阶段发展的重要目标，在此条件下，重视其内部的产业结构统一性是帮助其有序运行的基础。在智能发展体系下，制造和管理作为工业领域内的两大板块，对于推动工业元宇宙的发展具有重要的作用，同时，在工业元宇宙背景下二者的融合统一也有着显著的可行性。本文提出了工业元宇宙下智能制造和管理一体化发展的重点目标和保障体系，既是对于工业元宇宙下产品结构体系优化的一种探索，又是对于未来发展目标的解析，无论是政府还是企业，都应当充分把握工业元宇宙这一时代潮流，强化工业智能化建设，为中国制造、中国管理添砖加瓦。

参考文献

[1]向安玲,高爽,彭影彤,沈阳.知识重组与场景再构：面向数字资源管理的元宇宙[J].图书情报知识,2022,39（01）：30-38.

[2]喻国明.未来媒介的进化逻辑：“人的连接”的迭代、重组与升维——从“场景时代”到“元宇宙”再到“心世界”的未来[J].新闻界,2021（10）：54-60.

[3]胡泳,刘纯懿.“元宇宙社会”：话语之外的内在潜能与变革影响[J].南京社会科学,2022（01）：106-116.

[4]吕鹏.“元宇宙”技术——促进人的自由全面发展[J].产业经济评论,2022（01）：20-27.

[5]苟尤钊,吕琳媛.元宇宙价值链与产业政策研究[J/OL].财经问题研究：1-13[2022-06-19].

[6]保建云.元宇宙、数字革命与中国数字经济创新发展——基于党的十九届六中全会决议视角的分析[J].曲靖师范学院学报,2022,41（02）：1-9.

[7]杨健,张安山,庞博,张凯,鲍朱杰,李佳潼,王斐亮.元宇宙技术发展综述及其在建筑领域的应用展望[J/OL].土木与环境工程学报（中英文）：1-14[2022-06-19].

[8]保建云.元宇宙、数字革命与中国数字经济创新发展——基于党的十九届六中全会决议视角的分析[J].曲靖师范学院学报,2022,41（02）：1-9.

[9]周济.智能制造——“中国制造 2025”的主攻方向[J].中国机械工程,2015,26（17）：2273-2284.

[10]陈志成.设备“智能”管理：企业准备好了吗?——工业物联网发展与应用探讨[J].中国设备工程,2015（02）：26-31.

打造物联网基础底座赋能数字经济时代

林承红

摘　要：中鸿达信息科技有限公司（以下简称：中鸿达）致力于打造物联网基础底座，以“数字孪生+智能硬件+连接服务”的方式助力企业数字化转型，将物联网平台、人工智能与各类物联网设备深度融合，结合不同行业和细分场景，为行业客户提供完整的数字化解决方案，使客户联结能力得到快速提升，助力企业数字化转型，为数字经济时代赋能。

一、基本概述

中鸿达构建的物联网基础底座实现了“云管边端”智慧物联，提供开放、便捷的 AIoT 连接平台，更提供了强大的 AI、音视频等企业级延展能力，将数据、场景、技术融合于一体，兼具“管”、“算”的能力，通过泛在的连接、海量流量与数据的运营、场景智能化体验等推动物联网生态升级。从数字三维孪生、GIS 呈现、数据的汇聚、融合处理、智能分析、实时预警等多个技术维度综合展示了中鸿达物联网基础底座的技术能力。

未来，中鸿达将继续打造物联网基础底座，赋能企业从产品服务商到品牌运营商的转型升级，推动数字孪生技术的应用与落地，赋能数字经济时代，发展新业态。

二、几个关键词

1、数字经济

数字经济是继农业经济、工业经济之后的主要经济形态，是以数据资源为关键要素，以现代信息网络为主要载体，以信息通信技术融合应用、全要素数字化转型为重要推动力，直接或间接利用数据来引导资源发挥作用，促进公平与效率更加统一的新经济形态。在技术层面，以大数据、云计算、物联网、区块链、人工智能、5G 通信等新兴技术为代表。2022 年3 月全国两会关注与期待的内容中，数字经济位列第五位。

数字经济发展速度快、辐射范围广、影响程度深，正推动生产方式、生活方式和治理方式深刻变革，成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键力量。

2、新基建

新基建为数字经济发展提供了新动力。新基建的新，在于将 5G、物联网、人工智能、大数据、云计算等新兴技术深度融合，形成支撑新一代信息基础设施的核心技术，充分发挥信息技术对经济发展的叠加、赋能和倍增等作用，产生网络效应和平台效应，推动形成新的产业体系和产业生态。

3、物联网

物联网是新基建的支撑手段和核心要素。作为现代新型信息基础设施的重要组成部分，推动物联网发展，将加速各类智慧应用场景的落地，促进产业转型升级，赋能经济高质量发展，助推万物互联向万物智联演进。物联网是新一轮产业变革的重要方向和推动力量，支撑社会经济数字化转型发展，最终构建出全面感知和泛在连接的数字孪生社会。中鸿达构建的物联网基础底座正是顺势而为，构建连接物理世界与数字世界的桥梁，实现两者之间数字化映射路径。

4、中鸿达企业命题

无论是数字化转型还是智能化升级，都离不开感知和连接，这正是中鸿达物联网基础底座实现万物互联的根本价值。中鸿达物联网基础底座是新基建底层的基础支撑设施的落地实现，既能够带动新设施的发展，也能够实现对传统设施的改造。

作者简介：

林承红：高级工程师，毕业于福建师范大学；计算机科学与技术专业；本科学历；中鸿达信息科技有限公司副总裁。

推动智慧物联的数字化升级及万物互连，让企业/园区/城市管理更高效，让企业和民众享受物联网带来的科技便捷感，是中鸿达物联网基础底座赋能数字经济的核心任务，也是中鸿达作为物联网企业的重要命题。

三、中鸿达做了什么

1、搭建物联网基础底座云平台

云是物联网的基础，随着时间的发展，物联网概念所涉及的东西越来越多，除了内置有内部传感器和处理器外，这些东西还直接与网络相连，在线传输它们的数据，物联网将改变云架构。

中鸿达物联网基础底座云平台致力于将云服务拓展到设备端，提供“PaaS+SaaS”智能化运营服务能力，连接数据孤岛，降低运营成本，助力企业获取可持续利润，提升终端用户交互体验，提高企业工作效率，并有效赋能智慧城市、智慧园区、智慧校园等生态。

2、“上云+上链”

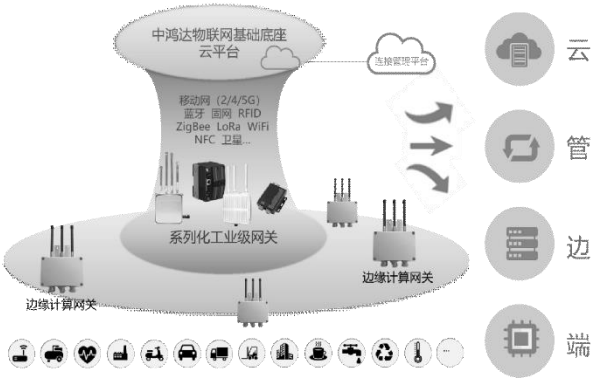
物联网技术与区块链技术的结合，是数字经济下实现闭环的必然结果。数据需具备三个属性：唯一性、不可篡改特性和隐私性，这是支撑整个数字经济的信任基础。所以，从物联网设备上对数据做到“上云+上链”，是中鸿达物联网基础底座的标准组合动作，从源头保证数据三大属性，构建可信的数字底座。

3、构筑云、应用、设备一体化物联网应用体系

中鸿达物联网基础底座运营服务将解决设备连接的三个核心要点：连接不中断、数据安全、运维智能。通过基础底座，打通物联网全生态链路，提供从底层流量、数字孪生、智能化设备、音视频 PaaS 能力到终端运营的全场景支持，做到设备监控、人员管理、运维管理三效合一，打造一个开放智慧运维应用的物联网云平台。改变传统设备运维路径，实现弹性物联网基础底座云平台+音视频网关+智能终端控制器的一站式应用体系，可轻松对接微信小程序、APP、公众号、自有硬件终端。

4、框架结构

中鸿达物联网基础底座框架采用“纵向解耦、横向融合”的设计原则，构建“云、管、边、端”四层架构。



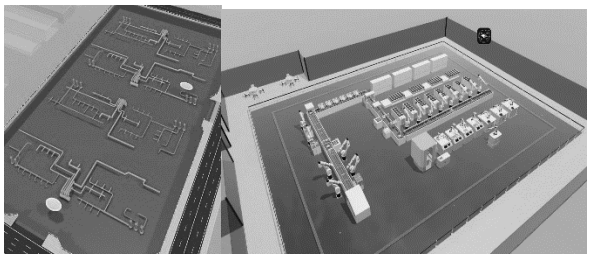
所谓的“云”是指中鸿达物联网基础底座云平台，“管”则是指有线/无线通讯方式，“边”是指边缘计算，“端”则涵盖了智能传感、智能终端和智能设备。

通过这四个层面建设，可实现任何时间、地点、人、物之间信息的连接和交互，产生共享数据，从而为用户、企业、供应商和政府提供社会服务。

四、 物联网基础底座赋能能力简析

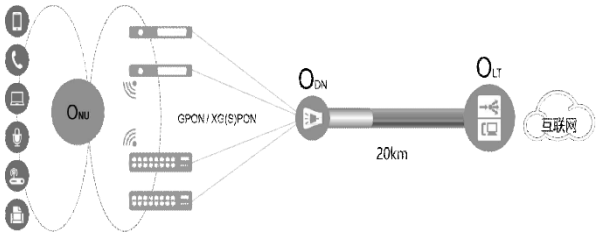
1、3D 数字孪生

中鸿达物联网基础底座内嵌了 3D 数字孪生引擎，能实现物理真实环境的数字化映射，可以充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多维度、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成数字映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。数字孪生是一个或多个重要的、彼此依赖的装备系统的数字映射系统。



2、全光网络

全光网络的“简架构、广覆盖、寿命长、省空间”的优势是中鸿达建设物联网基础底座所采纳的基础，也是中鸿达为客户提供解决方案时的推荐解决方案。全光网络解决了设备到桌面的最后一米，同时解决了长距离传输的问题，具备的高带宽为未来的扩容提供了充足的空间，可平滑升级，为万物互连、广互连提供了一个性价比极高的解决方案。



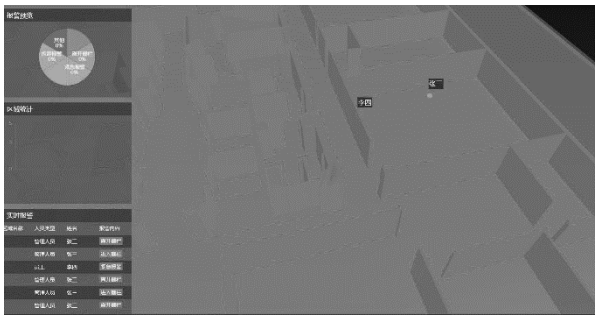
由于全光网采用的是 POL 无源光网络，响应了国家对发展“绿色经济”实现“双碳”的目标，为减排降耗贡献，更能适应未来业务的发展需求。

3、数据采集基础设施建设

数据采集终端是物联网的关键核心器件，直接影响被监测对象的 监测精度、响应速度、可靠性等指标，对整个控制系统有着举足轻重 的作用。中鸿达在物联网系统中短板的数据采集终端核心技术上投入 大量人力物力，力求突破制约物联网发展的“瓶颈”，在技术创新能 力、工艺水平等方面做了大量的投入，业已可以为用户提供完整的数 据采集方案。中鸿达不断优化窄带物联网(NB-IoT)等低功耗广域网(LPWAN)技术，支持多传感器节点的数据感知、数据传输、信息融合 处理等能力，从而满足数据对物联网系统数据感知和数据融合的要求。

4、高精度精准定位系统

高精度精准定位系统是物联网技术的完美延伸。通过在定位区域布设定位基站，定位目标携带定位胸牌或定位标签即可实时精确地定位目标位置。可将数据应用于区域管控、位置查询、实时轨迹监控、历史轨迹查询、电子点名、电子考勤、电子巡检、电子围栏等，定位精度达到厘米级(~0.3 米)可采用本方案解决人、车、物(贵重物品)的统一管理。可在化工企业、变电站、工厂等有较强烈安全需求的场合，通过数字调度，为人员作业提供高效率、高防护的安全保障。



5、人工智能

通过AI 边缘计算设备，对特定区域内的特定行为进行分析，能精准分析如睡岗、离岗、攀爬、跌倒、未戴口罩、未戴帽子、抽烟、玩手机、赤膊、老鼠、垃圾桶未盖等行为，并对上述现象进行抓拍存档， 根据需求发出预警，将人工巡查交由机器完成，大大提高效率，降低部分领域发生危险的可能性。可在园区、后厨、工厂、校园广泛应用。

人工智能是物联网平台的大脑，能够根据物联网收集的数据进行分析和决策，将快速驱动中鸿达物联网基础底座向智能化演进。

五、效益分析

中鸿达构建的物联网基础底座为物理世界与数字世界之间搭建了一个沟通桥梁，能够进行时间和空间上细粒度的虚实交互，使多种多样的物联网智能产品实时接收来自物理世界的数据，并将这些数据提供给人工智能平台进行运算，从而得到分析决策的结果。

通过构造中鸿达构建的物联网基础底座，可以为客户实现多种效益，表现为：

D　构建安全、智慧、绿色的园区，驱动园区数字化转型

D　实现平安园区智慧化运营：周界、消防、门禁、视频、指挥调度和安全移动应用

D　端到端可视化处置方式，让非法侵入者

“插翅难逃”

D　夜间视频巡逻方式结合 AI 智慧监控，杜绝安防“时间死角”

D　实现多系统智慧消防联动，响应时间从 7.5 分钟降低到 2 分钟

D　节能降耗效能明显，“技术比制度更可靠”，实现对各类型空调的集控改造

D　由“资源不可视”到“资源可视，易获取”

D　由“静态固定”到“动态共享”现场服务人员

D　由“事件触发改进”到“数据分析应用，驱动业务持续改进”

D　推动组织扁平化

D　5 年TCO 降低30%，维护成本降低 60%，空调能耗浪费减少约 80%

六、 应用

中鸿达精心打造研发的物联网基础底座，业已在诸多细分领域得到应用，并得到了广泛好评，涉及领域（或行业）有：

1、 智慧旅游：对景区气象、车辆、客流、安防等 20 多项系统进行协调及数据应用，实现景区可视化管理，可实现应急调度下的各级系统联动，给游客带来舒心游景区，一站式“吃住行游购娱”的全新旅游体验。

2、 智慧工厂/园区：以安全为中轴线，为业主就安全生产、人员精准管控、车辆定位、安消联动、节能降耗等进行了贴心改造，实现精准安防，打造平安工厂。

3、 智慧校园：以全光网络建设为代表，实现了光纤到教室、办公室、各个宿舍等，综合布线成本降低 70%，设备能耗降低 60%，网络带宽提升到千兆并可平滑升级。

4、 数字食安：以食品安全为主线，为后厨安全打造一个“无人监管”的智能安全平台，从食品采购到食品上桌后厨全流程进行智慧化 AI 监管，对异常现象及时预警，成功在多所高校和餐饮行业进行应用，可进行“点片面”的分级监管。

5、 工厂节能改造：以节能减排为主要目标，对水冷式中央空调、分体空调、多联机空调进行集控改造，低成本实现了高产出，能耗浪费现象降低了 80%。

6、 其他包括：变电站人员精准定位、半导体工业园贵重物资精准定位、智慧食堂、智慧楼宇等的多项物联网应用。

结语

中鸿达信息科技有限公司成立于 1993 年，深耕通信技术、信息系统集成领域，专注物联网技术研发应用领域，以“创新驱动发展，智慧引领未来”的理念，致力于帮助客户实现从“基础信息化”到“应用数字化”到“全面智慧化”的创新转型目标。中鸿达将以打造民族创新品牌的领导思想，全力打造好物联网基础底座，为中国数字经济发展尽一份微薄之力。

基于大数据方法构建的游戏质量分析优化方案

潘　嘉　杨慰民

摘　要：对运营商来说，提升用户满意度的重要手段是提升服务质量、增强用户粘性。家庭宽带是目前福建移动通信公司的质量短板，而游戏是宽带的质量短板，因此游戏质量提升是工作的重中之重。游戏资源本网率低，游戏引入一直是我司较为棘手的问题，游戏资源本网率≤10%；由于跨网资源质差大，相对已引入资源的竞对环境存在质差问题。

本文提出一种基于大数据方法构建的游戏质量分析优化方案，通过大数据方法监测发现故障，并针对故障进行专项分析优化，在此前提下通过多种方式保障提升服务质量。旨在全面升级用户的游戏感知体验，终结宽带质量短板。

关键词：客户感知；游戏质量

1 引言

对运营商来说，提升用户满意度的重要手段是提升服务质量、增强用户粘性。家庭宽带是目前福建移动通信公司的质量短板，而游戏是宽带的质量短板，因此游戏质量提升是工作的重中之重。游戏资源本网率低，游戏引入一直是我司较为棘手的问题，游戏资源本网率≤10%；由于跨网资源质差大，相对已引入资源的竞对环境存在质差问题。

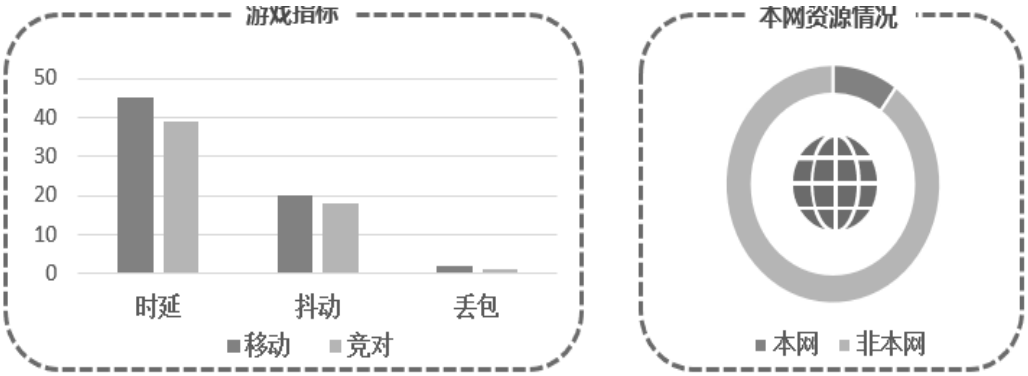


图 1 游戏质量指标

目前游戏优化工作存在的问题：

➢**广度不足**：对热门游戏测试及优化的关注度过高，缺乏广度测试；

➢**深度不足**：对游戏相关故障缺乏深度分析，分析经验少；

➢**故障因素复杂**：特殊用户对网络质量较为敏感，故障涉及多种因素，难以快速定位；

➢**缺乏工具**：造成现场技术人员处理故障、抓包分析定位效率低；

作者简介：

潘　嘉：学士，长期从事网络大数据研究，先任职于中国移动福建公司网络部。

杨慰民：博士，中国移动集团级首席专家，福建公司网管中心副总经理，教授级高工，享受国务院政府特殊津贴专家，中央企业劳动模范。

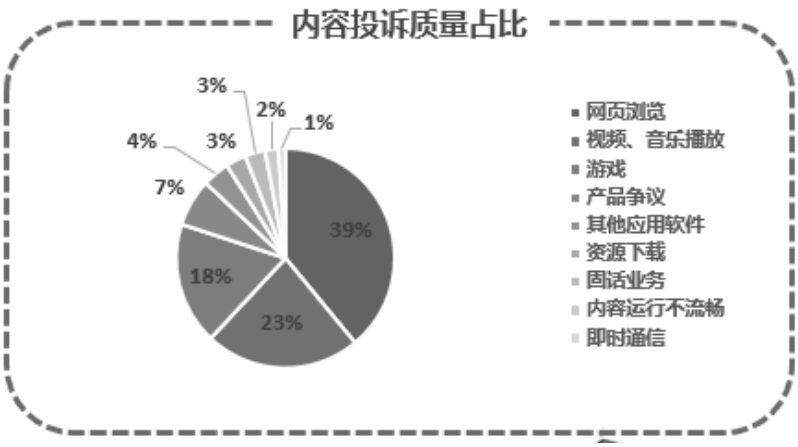


图 2　内容投诉质量占比

针对游戏分析优化工作中出现的诸如对高热游戏倾注过多关注力、故障诱因多维度难定位、缺乏对游戏故障的深度分析等问题。出一种基于大数据方法构建的游戏质量分析优化方案，通过大数据方法监测发现故障，并针对故障进行专项分析优化，在此前提下通过多种方式保障提升服务质量。旨在全面升级用户的游戏感知体验，终结宽带质量短板。

2 游戏质量分析体系

2.1 游戏质量分析架构

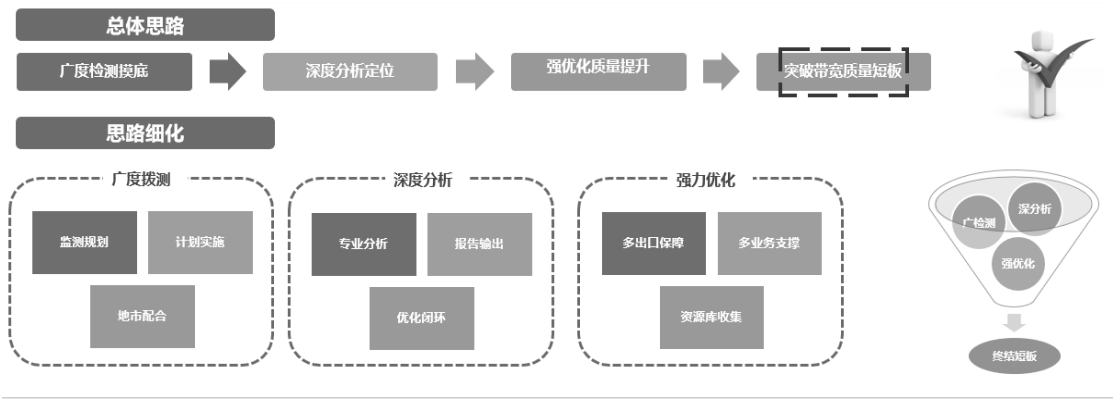


图 3：游戏分析整体思路

以往的游戏分析，往往聚焦于英雄联盟、王者荣耀、吃鸡等少数几款高热游戏，但游戏爱好者年龄跨度大，兴趣广泛，提升我司游戏质量的口碑首先要从广度入手。为此我司广泛测试热门游戏，第一期选择 TOP100 端游、TOP20 手游、TOP20 页游网站、TOP20 设备类游戏、TOP12 游戏平台，协同各地市常态化开展游戏质量实玩实测，助力游戏优化的有的放矢，并开发页面形成游戏质量分析优化平台。

图 4：热门游戏质量分析优化界面

游戏质量分析平台实现数据采集的全覆盖，具备数据清洗与汇聚的能力，是平台底层数据基础。现网大数据平台数据全、效率高、维度丰，以现有平台海量数据为核心，结合网优平台、专业网管、EOMS、经分系统等多个外部数据源，实现数据全量采集支撑。

采用敏捷的 DevOps 自研方式完成的游戏质量分析优化体系的建设工作，实现 IT 赋能，降本增效，快速支撑省内质量管理工作，提高工作效率，从编排算法设计、代码编写、测试验证、上层应用统计分析、界面开发等一系列全流程开发，做到算法自主设计、数据自主分析、应用自主开发的“三自主”研发。

3 系统应用与实践

3.1 应用场景

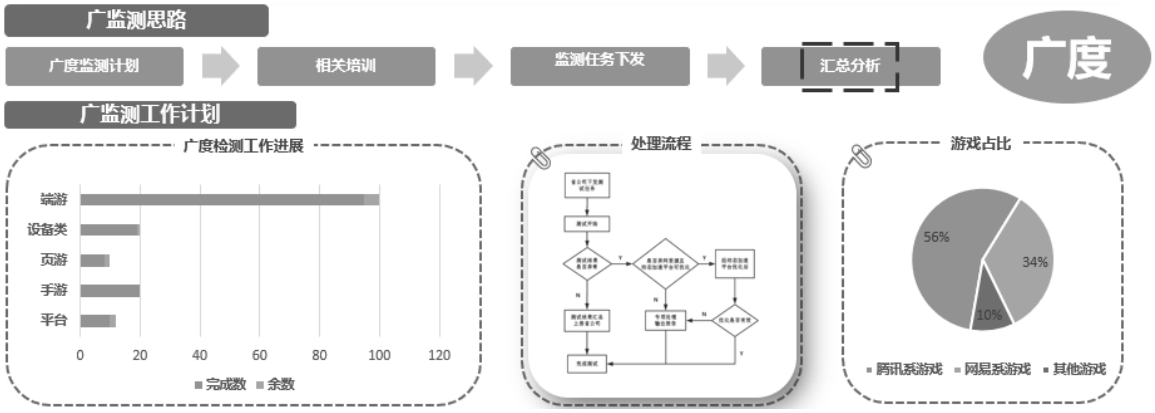


图 5 检测任务流程

质差主要诱因

用户侧故障：终端问题、局域网故障等；

接入侧故障：ONU设备故障、接入光缆尾纤故障等；

网间互联互通：网间路径故障、网间限制等；

网间访问质差：传输长、异网访问质差大等；

汇总广度监测结果，对汇总结果中出现的问题展开深度分析与优化，并发布权威信息进行引导,购买付费游戏、点卡、手持类游戏等进行分析,针对客户投诉的故障实景复现，实测、收集高关注、高流量、高投诉游戏的 IP 地址并进行专项优化。

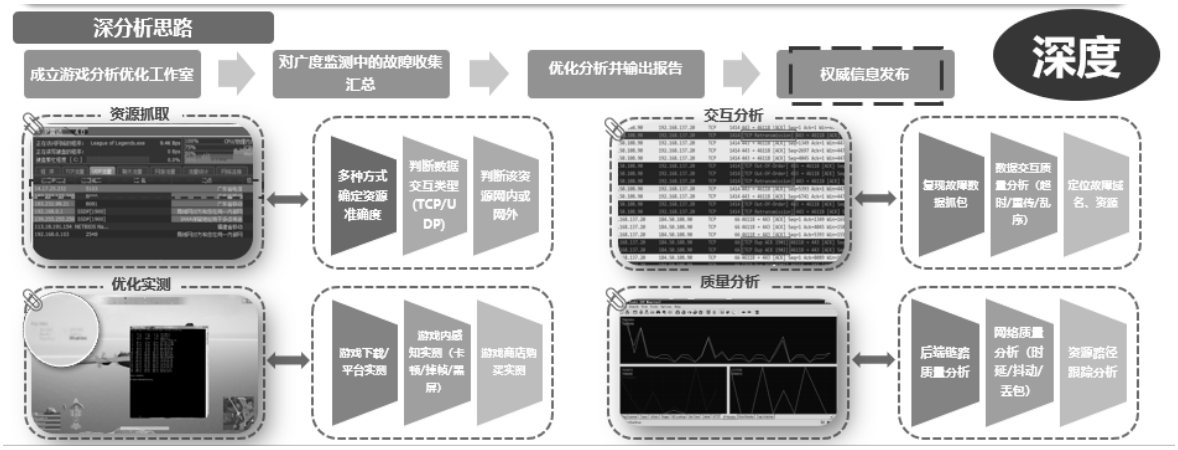


图 6：深度任务分析

基于数据分析结果，可以搭建多出口试点平台，通过常态化拨测、实测腾讯系、非腾讯系、国际游戏多种加速方式的疏导效果。完善支撑网吧、游戏工作室、VIP 游戏宽带的业务拓展，多方位提升用户体验。加强游戏地址资源的收集，长期更新完善游戏资源户籍库。

3.2 系统应用情况

本文研究了一种基于大数据方法构建的游戏质量分析优化方案，通过大数据方法监测发现故障，并针对故障进行专项分析优化，在此前提下通过多种方式保障提升服务质量。旨在全面升级用户的游戏感知体验，终结宽带质量短板，已在福建移动实现了落地应用和广泛推广。

该方法大幅提高了游戏质量相关问题的定位和优化效果：

绝地求生：优化前平均时延157ms，丢包率3%，偶尔出现卡顿；优化后平均时延51.8ms，丢包率0%，游戏实测整体运行流畅。时延优化提升67%，丢包率优化提升3%。

糖豆人：优化前平均时延96ms,丢包率35.2%；优化后平均时延90.6ms,丢包率0%；游戏时延方面优化提升较小，优化提升6%；丢包率方面提升明显，丢包率优化提升35%，丢包情况对该游戏感知影响较大，优化后实测游戏体验显著提升。

GTA5：优化前平均时延227ms,丢包率4.44%；优化后平均时延221ms,丢包率0%；游戏时延方面优化提升较小，优化提升2%；丢包率方面提升明显，丢包率优化提升4.44%，丢包情况对该游戏感知影响较大，优化后实测游戏体验显著提升。

4 结束语

提升用户满意度的重要手段是提升服务质量、增强用户粘性。家庭宽带是目前福建移动通信公司的质量短板，而游戏是宽带的质量短板，因此游戏质量提升是工作的重中之重。该研究提炼出的方法体系、相关算法以及优秀经验在行业内具备重要的推广借鉴价值。

参考文献：

中国移动 5G 终端测试规范.

浅析区块链技术在元宇宙中的应用

欧照杰

摘　要：区块链技术被认为是互联网发明以来最具颠覆性的技术创新，它依靠密码学和数学巧妙的分布式算法，在无法建立信任关系的互联网上，无需借助任何第三方中心的介入，就可以使参与者达成共识，以去中心化的架构解决了信任和价值的可靠传递难题。它具备如下五个特征：去中心化、开放性、独立性、安全性、匿名性。本文通过分析区块链技术在元宇宙中的应用，通过粘合云计算、物联网、大数据、移动通信及人工智能等为代表的数字技术，将共同构建元宇宙的技术基础设施，形成元宇宙生态，驱动社会生产方式变革。区块链将实现可信的数据协同，以此打造良性竞争的商业环境。

关键词：区块链；去中心化；元宇宙

元宇宙是一个虚拟空间，可以映射真实世界，并且独立于真实世界。它是打破虚拟世界和现实世界界限的结果。它是虚拟世界和现实世界日益融合的未来。在此过程中，将推动一系列科技“点成线”和跨行业产业融合的进程，打破虚拟与现实的界限，促进虚拟与现实的融合。

乔布斯曾提出一个著名的“项链”比喻。iPhone的出现连接了单点技术，如多点触摸屏、IOS、高像素摄像头和大容量电池，重新定义了手机，开启了十多年来风起云涌的移动互联网时代。如今，随着云计算、物联网、大数据、XR、移动通信和人工智能等技术创新的逐渐融合，元宇宙也朝着“iPhone时刻”迈进，开启了互联网的下一个时代。

元宇宙是一个集成了多种技术和系统的开放系统。每个系统都有自己的重点，提供数据收集、处理和性能的能力。在每个技术系统中都完成了大量的数据操作。区块链作为一种可信的基础设施，主要用于连接元宇宙的各种技术系统，为价值交换提供去中介信任保障[1]。

图：元宇宙的技术基础设施

1 区块链技术概述

2008年，日裔美国人中本聪首次提出区块链的概念。在接下来的几年里，区块链成为比特币的核心组成部分，比特币是一种电子货币，也是所有交易的公共账簿。从科学技术的角度来看，区块链是信息技术领域的一个术语。从本质上讲，区块链是一个分散的分布式账本，其中数据以块的形式生成和存储，并按时间顺序端到端连接，形成一个链结

作者简介：

欧照杰：福建省邮电规划设计院有限公司咨询师，学士学位，毕业于重庆大学通信工程专业。长期从事通信可研、规划、设计工作。

构。同时，它确保交易不被篡改、伪造，并通过加密技术确保数据传输和访问的安全性。其中存储的数据或信息具有不可伪造性、全跟踪性、可追溯性、公开透明性、集体维护性等特点[2]。

区块链概念中所谓分布式账本的作用与现实生活中账本的作用基本相同。它以某种格式记录事务信息，如流水。起初，转账信息记录在各种数字货币交易中：随着区块链的发展，记录的内容已经从各种转账记录扩展到各个领域的数据。

区块链的关键技术主要由对等网络、加密算法、共识算法、账本存储模型、智能合约和虚拟机、区块链治理等组成。其中，密码学算法和共识算法是核心技术。。

(1)密码学算法

区块链使用加密算法确保链上交易的一致性和完整性，同时确保交易内容无法修改。区块链加密算法主要包括非对称加密算法和密码杂凑算法（也称为哈希算法）。其中，区块链使用非对称加密算法来确认权限，并使用哈希算法来确保交易和构建区块的完整性。此外，为了确保区块链系统的效率和业务数据的隐私安全，一些扩展的密码算法也被应用到区块链中，例如可验证的随机函数VRF以提高一致性效率、隐私保护的零知识证明和同态加密[3]。

特别的，哈希算法达到密码学安全，具备三个特性:

碰撞阻力:是指对于两个不同的输入，必须产生两个不同的输出。如果对于两个不同的输入产生了相同的输出，那么就说明不具备碰撞阻力，或是弱碰撞阻力;

隐秘性:也被称为不可逆性，是指y=HASH(x)中，通过输入值x，可以计算出输出值y，但是无法通过y值去反推计算出x值。为了保证不可逆，就得让x的取值来自一个非常广泛的集合，使之很难通过计算反推出x值;

谜题友好:这个特性可以理解为，谜题是公平友好的，例如算法中y=HASH(x)，如果已知y值，想去得到x值，那就必须暴力枚举，不断的尝试才能做到，并且没有比这更好的办法，没有捷径。

因此，哈希算法的计算过程消耗计算资源，也为共识算法提供算力复杂度的支持，常常被用来作为工作量证明的共识算法实现。

(2)共识算法

区块链是一个分布式共识系统。所谓共识，一般来说，意味着我们都同意对某些事情的理解。在相应的区块链系统中，区块链中单个节点的区块使用一致性算法来保持自己的“账簿”与其他节点的“账簿”一致，即保持区块链中的区块信息一致。此外，达成共识的目的是使区块链分类账的存储内容保持一致。在区块链系统中，所有参与节点将就交易状态达成协议。一致性算法确保当区块链网络中节点的容错率一定时，区块链节点的账簿在网络中保持一致。

为了在多个节点之间达成共识，区块链网络采用的共识算法消耗了大量的系统资源。因此，区块链中的所谓“不可能三角”就产生了。区块链的不可能三角形是从分布式系统的cap原理（也称为CAP定理）发展而来的，是指分布式系统中的一致性、可用性和分区容错性。CAP原则意味着这三个要素在同一时间最多只能达到两点，不可能兼顾这三个要素。区块链的不可能三角意味着很难在区块链中实现良好的“去中心化”和良好的系统“安全性”，以及高的“交易处理性能”。

共识算法具有不同的性能、安全和信任指标，服务于上层业务。常见的一致性算法是CFT和BFT。

普通容错类算法(Crash Fault Tolerance，CFT)：当网络节点上运行的系统出现网络、磁盘故障、服务器宕机等常见故障时，共识网络终端中的节点无法参与共识过程，整个共识网络仍然可以对提案达成共识。经典算法有Paxos、Raft等，这些算法性能好，处理速度快，可以容忍不超过一半的故障节点；

拜占庭容错算法(Byzantine Fault Tolerance，BFT)：除了容忍系统一致性过程中的常见故障外，它还可以容忍一些节点的故意欺骗（如伪造事务执行结果）等拜占庭错误。经典算法包括pbft。这种算法的性能很差，只能容忍不超过三分之一的故障节点。根据不同的业务需求，可以选择不同的共识算法，形成一个区块链系统，平衡效率、容错和信任。

①Po*的凭证类共识算法

对于节点数目非常多的区块链系统，网络通讯的代价非常的高，因此通常会选择竞争出块的共识算法，每个节点都可以选择提案区块，但是只有量化证明获得高分的区块才被整个网络接受。比如比特币采用的耗费大量计算资源的工作量证明(Proof of Work，PoW)算法。

除此之外的一些PO*(Proof of *)类算法。这类算法引入“凭证”的概念，即Po*中的“*”，代表各种算法所引入的凭证类型，根据每个节点的某些

属性(拥有的抵押资产总数、流动性质押量、可贡献的计算资源、声誉等)，定义每个节点进行出块的难度或优先级，并且取凭证排序最优的节点，或是取凭证最高的小部分节点进行加权随机抽取某一节点，进行下一段时间的记账出块。

这种类型的共识算法在一定程度上降低了整体的出块开销，同时能够有选择地分配出块资源，即可根据应用场景选择“凭证”的获取来源，是一个较大的改进。然而，凭证的引入提高了算法的中心化程度，一定程度上有悖于区块链“去中心化”的思想，且多数该类型的算法都未经过大规模的正确性验证实验，部分该类算法的矿工激励不够明确，节点缺乏参与该类共识的动力[4]。

这类共识算法通常被用来作为公链的共识算法。

②共识算法升级和区块链系统升级

区块链中的分叉通常是指根据不同的规则，在原始区块链的基础上拆分另一个区块链。有两种分叉，硬分叉和软分叉。

硬分叉是指区块链中的永久差异。新的一致性规则发布后，一些尚未升级的节点无法验证升级节点生成的块。通常会发生硬分叉。代码中的硬分叉会改变算法的难度。

软分叉也是系统中的一种瞬态现象，不会产生新的区块链。一般来说，当区块链系统升级时，即使没有及时升级，一些节点仍然可以工作。在区块链中出现软叉之后，将不会像硬叉那样生成两条链，而是将保持在同一条链上。软叉将升级，但不会影响整个系统的稳定性和有效性。旧节点将与新节点兼容，但新节点与旧节点不兼容。这两者仍然可以存在于同一链条中。

目前，区块链技术的发展还处于非常早期的阶段。对于区块链而言，分歧相当于一个技术迭代的过程。随着人们不断发现区块链技术存在的局限性，只有不断升级和扩展这项技术，区块链技术才能走向成熟。当然，这种分歧与区块链的可篡改性背道而驰，但分歧的结果由区块链成员决定。在某种程度上，它仍然遵循去中心化原则。

2 区块链+物联网

物联网可以对现实世界进行感知，并将数据传输到元宇宙世界，从而实现元宇宙世界与现实世界的虚实联动;未来，将面临物联网设备的真实性鉴别、物联数据的上链存储等问题，可以采用区块链技术，通过“1物1码”方式给物联网设备赋码，实现物联网设备的真实性鉴别;物联数据的可信上链存储将面临高并发海量流数据的上链问题，在目前的区块链结构中，一般采用写入去中心化存储的方式实现(例如IPFS、Arweave)。各团体也在研发大数据可信上链技术，例如:原生支持大数据对象链Verseport Object Chain，进行解决。

3 区块链+云计算

元宇宙是关于宇宙的宇宙,也是现实宇宙的虚拟镜像，需要强大的算力支撑;云计算自2006年出现以来，以其虚拟化、易扩展性、高可靠性、强兼容性、高性价比等特征逐步成为现代互联网的数字化基础设施，前景被长期看好。元宇宙作为下一代互联网，云计算将仍然承担元宇宙基础设施的职责。区块链将在云计算基础设施基础上，叠加去中心化的P2P覆盖网络、共识算法、区块链结构，并通过区块链的“去中心化、匿名性、数据不可篡改”等特性解决云计算的“可信、可靠、可控制”问题，实现可信的数据协同;共同构建元宇宙的强大算力平台。

4 区块链+网络通信基础设施

预计元宇宙至少需要5G以上网络，实现全球覆盖以及几乎无延时的网络体验。进一步的，6G网络将能够使用比5G网络更高的频率，并提供更高的容量和更低的延迟。6G网络的目标之一是支持1微秒甚至亚微秒的延迟通信:室内定位精度达到10厘米，室外为1米，相比5G提高 10倍。在覆盖范围上，6G网络将是一个地面无线与卫星通信集成的全连接世界，通过将卫星通信整合到6G移动通信，实现全球无缝覆盖，“万物互联”才可能真正实现。

具有AI功能的6G有望释放无线电信号的全部潜力，转变为智能无线电，为元宇宙用户提供实时、流畅的沉浸式体验。

5 区块链+大数据

元宇宙是人的智慧操控数据去搭建一个虚拟的世界，数字社会更像是数据自学习后产生的“数据自慧”。所以数据应用的最佳表现形式是元宇宙，目前来看极致情况可能是数字生命自我繁衍与生长的数字社会。元宇宙也是人的宇宙，每个人都将成为其中的数据中心节点，基建、场景、物品等都将由人或AI生成，即 UGC、PGC、AIGC，每一个新进来的人都会有一份相应的数据档案，之后产生

的交互数据被不断填充到各个数据节点中，也由此织成一张大网。数据摩尔定律一样将覆盖到元宇宙，即元宇宙中数据每隔2年也将增长1倍，未来，元宇宙中的大量数据会给现实世界中的元宇宙基础设施系统带来巨大的硬件与云端压力，同时对区块链的性能也提出了新的要求。

目前,区块链由区块链接而成，单个区块一般有最大尺寸限制(例如Bitcoin的区块大小限制为2MB~32MB，Ethereum限制为20KB~100KB)，同时，区块链还存在出块时延和TPS限制，在目前的区块链技术条件下，将无法满足元宇宙对大数据的要求，需要综合去中心化存储，例如IPFS、Arweave，并研发大数据可信上链技术，例如原生支持大数据对象链Verseport Object Chain，进行解决。

6 区块链+人工智能

算法是人工智能发展的重要引擎和推动力，算法是一种有限、确定、有效并适合用计算机程序来实现的解决问题的方法，是理论中最纯粹的知识形式，在某种意义上，其可以看作是一种理性的计算工具。在数据和算力的支撑下，算法经历了一个不断发展的过程。而算法发展的过程，就一定程度上来说，也可以看成是人工智能不断进步的过程，即实现机器学习，进而进入到深度的学习。在具体的学习过程和算法的过程中，人工智能也经历了从浅层的神经网络发展到复杂的机器学习网络。其中，浅层的神经网络的整个的输入和输出是在一个比较简单的网络里构建的;而进入到深度学习的网络以后，会产生在网络和神经元之间的复杂的机器学习网络。具备越来越强的自主学习与决策功能的算法，是元宇宙时代全新的认识和改造这个世界的方法论。

算法的强作用力也将体现在元宇宙世界中。

一是助力虚拟对象智能化。元宇宙高度融合了虚拟与现实世界，在元宇宙中，虚拟对象是重要的存在，正如 2013 的奥斯卡获奖电影《她》所展示的一样。电影中，一次偶然机会，主人公接触到最新的人工智能系统0S1，它的化身Samantha拥有迷人的声线，温柔体贴而又幽默风趣。人机之间存在的双向需求与欲望，让主人公沉浸在由声音构筑的虚拟现实中，最后爱上了这个人工智能系统。未来，虚拟对象和人的智能行为将更多地出现在各种虎拟环境和虚拟现实应用中，但这个前提是--虚拟对象足够智能。

二是交互方式智能化，算法的日益精进将大大提升智能交互体验，将综合视觉、听觉、嗅觉等感知通道,带来全新的交互体验,让虚拟现实真正“化虚为实”。并且，对于虚拟现实内容研发来说，算法的进步也将带来内容生产的智能化，人工智能将提升虚拟现实制作工具、开发平台的智能化及自动化水平，提升建模效率，提升虚拟现实内容生产力。

元宇宙中的虚拟对象智能化、交互方式智能化都需要基于区块链的可编程智能合约进行承载，需要基于场景需求，将人工智能算法编写为智能合约程序，并发布在区块链上运行;从而实现元宇宙的人工智能。同时，区块链也需要人工智能，特别是机器学习、数据挖掘和数据可视化等人工智能方法，有助于捕捉区块链中的异常行为，识别交易中的风险，检测智能合约中可能存在的脆弱程序等。因此，可以采取主动识别行动来防止区块链的破坏性或非法行为，从而使区块链更加智能化。区块链和人工智能相辅相成，共同构建元宇宙的智能底座[5]。

参考文献

[1]张健. 区块链：定义未来金融与经济新格局：机械工业出版社，2016：38-40.

[2]姚忠将，葛敬国. 关于区块链原理及应用的综述[J]. 科研信息化技术与应用, 2017, 8(2):3-17.

[3]《2020-2021中国元宇宙产业白皮书》第一次研讨会在京举办 . 环球网. 2021-10-13

[4] Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System . Bitcoin.org.

[5]李赫. 区块链2.0在积分通兑中的应用初探[J]. 中国金融电脑, 2018(2):68-71.

电信通信系统同步网的发展及应用

邓建珍

摘　要：时钟同步网是通信网络的关键基础设施，为移动、语音、政企组网型专线等各类业务提供频率和时间地面同步服务，起着重要的支撑作用。文章介绍了同步网技术及网络发展演进，阐述了通信系统同步网演进的必要性，结合现有同步网的现状详细分析同步网的应用，主要是研究网络结构的组建、设备部署、设备连接方案、同步源选择方案等。

关键词：同步网、BDS、GPS、PRC、MPR、BITS

1.引言

中国北斗卫星导航系统（英文名称：Bei Dou Navigation Satellite System，简称BDS）是中国自行研制的全球卫星导航系统，经过近20年的发展，已成为继GPS、GLONASS 之后的第三个成熟的卫星导航系统。北斗卫星导航系统（BDS）和美国GPS、俄罗斯GLONASS、欧盟GALILEO，是联合国卫星导航委员会已认定的供应商。

电信运营商原有同步网、4G基站等均以GPS作为主用时钟源，为进一步保障业务安全性，确保GPS失效时网络的正常运行，需要重新部署同步网设备和地面同步链路，支持 BDS/GPS双模授时，“时间+频率”统一提供，为4/5G基站、语音核心网、传输网、IT支撑系统等提供地面同步源。

2.同步网的演进

2.1 技术发展

同步网作为各种承载网、业务网的支撑网络，需求变化较小，满足即可，发展相对比较缓慢。以电信运营商为例，九十年代建设的时间同步网、频率同步网至今还在应用，均以GPS为主用同步源。随着中国北斗卫星导航系统成熟及广泛应用，同步网的时钟源应将由GPS更新为BDS/GPS双模授时，避免受国外卫星控制。

频率同步网和时间同步网具有相同点，也有不同之处。具体如下表所示。

频率同步网和时间同步网比较表

名称		频率同步网	时间同步网
相同点		1）具有相同的同步时钟源。如：原子钟、卫星时标信号、高稳定度石英振荡器等。 2）上下级采用主从同步、准同步或混合同步方式。	
不同点	输出信号类型	高稳定度、连续的正弦波或脉冲信号	标准时间信号
	信号传送方式	采用数据电路传送	采用数据电路或IP电路传送
	同步方法	硬件同步方法	硬件同步方法、软件同步方法均可
	输出信号精度	相对于标称频率的偏差	相对于基准时间的偏差

作者简介：

邓建珍：女，高级工程师，毕业于大连海事大学，就职于福建省邮电规划设计院有限公司研究方向：长期从事传输网络规划、可行性研究、设计工作。

原有两张同步网存在是因厂家设备功能问题，时钟同步设备只支持频率同步功能，时间服务器只提供时间同步功能。因两网存在诸多共同特性，厂家对设备技术不断更新发展，逐步将频率、时间同步功能合二为一，集成到一套设备上。现有BITS设备已具备频率、时间同步功能。

2.2 网络演进

频率同步网原由骨干（PRC+LPR）+本地BITS 设备三层结构组成。PRC为区域主基准时钟，一般设置在运营商重要城市；LPR为区域基准时钟，一般设置在省会城市；在各本地网设置本地2级钟或3级钟，每个地市均至少有2台 B ITS设备。同步网设备以GPS为主用同步源，通过省际和省内SDH系统进行地面频率同步传递，用于GPS故障时，下级时钟设备跟踪上级时钟设备。主要满足语音核心网（TDM 网元）和OTN /SDH 网（基于VC的组网型专线）频率同步需求。

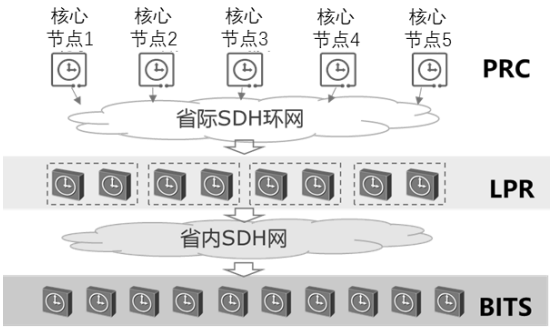


图 1 频率同步网现状结构示意图

时间同步网原采用 NTP 时间同步技术（ms级），由一级服务器和二级服务器构成。在重要城市设置一级服务器，在各省会城市设置二级服务器。时间服务器以GPS为主用同步源，通过数据网络进行地面频率同步传递，向各机房的语音核心网（IP化网元）、IT支撑系统传递NTP时间同步信息；同时用GPS故障时，下级时间服务器跟踪上级

随着同步设备发展，设备厂家将频率和时间同步功能在一套设备中实现，新一代的同步设备组建的网络能实现频率同步和时间同步功能，网络的结构可由原来的区域+省+本地三级架构，演变为省+本地两级架构。

3.通信系统同步网演进的必要性

1）业务支撑需要

早期建设同步网支撑语音核心网（TDM 网元）和OTN /SDH 网（基于VC的组网型专线）的频率同步；支撑语音核心网（IP化网元）、IT支撑系统传递NTP时间同步信息。现这些语音业务、VC型组网型专线业务、IT支撑系统任需同步网支撑。

移动网络2G、3G、5G基站均需要频率+时间同步，频率同步为时间同步的基础；4G基站本身仅需要频率同步，在4/5G切换场景，需为4G基站提供时间同步，避免4/5G切换失败。频率同步精度要求为50ppb，2G、3G、5G基站时间同步精度要求为±1.5μs，4/5G切换场景要求4G基站也进行时间同步。

原基站尚未提取地面同步链路，基站安装卫星接收天线和接收卡，分基站接收卫星同步信号，其中 2G、3G、4G基站仅接收GPS同步信号，5G基站BDS/GPS双模接收。若GPS失效，2G、3G、4G会出现业务损伤，影响语音+数据业务；并引起4/5G基站无法切换，数据业务需重连，对处于连续移动中、处于4/5G边界切换的实时响应型应用（如实时对战型手游）会有影响。

为维持GPS失效情况下，语音业务、VC型组网型专线业务、IT支撑系统、基站任能正常运行，有必要对现有同步网进行优化，同步网络同步源引入BDS/GPS双模授时方式，为基站提供高精度地面同步链路。

2）设备网络发展需要

早期同步网设备运行时间长，不支持BDS；设备老旧，集成度低、无维保、无备件，无网管。为更好支撑业务网络正常运行，降低建设维护压力，节能降效，有必要引入新同步网设备进行组网。

4.通信系统时钟同步网的应用

原有同步网主要用于满足交换网频率同步需求和IT支撑系统的NTP时间同步需求，无法支持BDS，无法提供移动网基站高精度的PTP时间同步需求。需新建持BDS/GPS双模授时、同时提供“频率+时间”同步功能的同步网来满足业务发展需求。

时钟同步网建设包括时钟同步网设备组网建设、网络地面同步链路部署两部分，时钟同步网建成后将为语音核心网、OTN/SDH系统、4/5G基站、IT支撑系统提供“时间+频率”地面同步源。

4.1 同步网网络结构的组建

原有同步网架构为PRC+LPR+本地BITS，以LPR为分省1级钟，LPR在GPS失效时会降级为2级钟。新建时钟同步网时，简化同步网结构，由原来的区域+省+本地三级架构，优化为省+本地两级架

构。

（1）每省各设置1套PRC，采用铯钟作为卫星失效的地面频率基准源，满足同机房骨干TDM核心网网元、骨干OTN/SDH设备系统同步，同时兼做省内NTP一级时间服务器。

（2）分本地网设置MPR，每本地网至少设置2套内置铷钟的BITS，作为卫星系统正常运行时的本地PTP时间服务器，同时满足同机房TDM核心网网元、本地OTN/SDH系统频率同步。

时钟同步网建设包括时钟同步网设备组网建设、网络地面同步链路部署两部分，时钟同步网建成后将为语音核心网、OTN/SDH系统、4/5G基站、IT支撑系统提供“时间+频率”地面同步源。

4.2 同步网设备部署

PRC设置在省级2个枢纽楼中，选择一个枢纽楼设置铯钟+BITS，另一个枢纽楼设置内置铷钟的BITS，均支持BD/GPS双模授时。卫星失效时，以PRC的铯钟源为本地基准钟（MPR）提供频率基准，提高MPR时间保持能力，以保障5G基站长期稳定运行。

MPR设置在本地网，选择2个核心机楼各部署1套BITS，内置铷钟，支持BD/GPS双模授时。MPR节点设置需与无线承载网协同，设置在无线承载网核心节点，便于无线承载网同步信号引入。

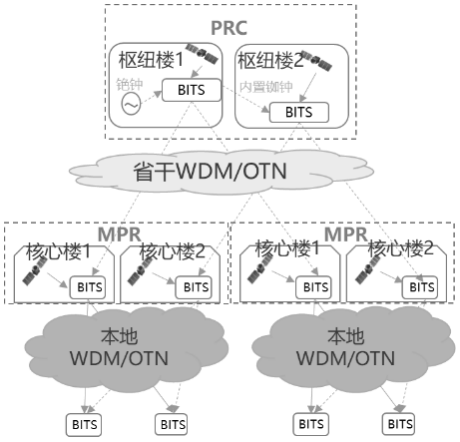


图 2 时钟同步设备部署示意图

4.3 时钟同步网设备连接方案

（1）PRC至MPR

用于卫星系统失效时，MPR跟踪PRC，获取铯钟自振频率，并以此进行守时。配置PRC-MPR的地面频率同步链路，通过省干WDM/OTN的OSC通道进行SyncE传递频率同步信号。

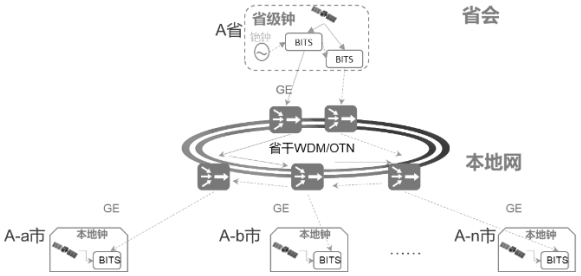


图 3　PRC-MPR 频率传递示意图

（2）MPR至2级钟

MPR与新建的本地2级钟通过SyncE方式连接，同机房设备间通过GE接口连接，不同机房设备间通过本WDM/OTN系统连接，通过OSC通道进行SyncE传递。

现有时钟同步网设备若利旧，通过MPR授时获取BDS信号，同机房设备间通过2M跳线连接，不同机房设备间通过现有SDH系统连接。

（3）PRC间

时钟同步网设置BDS+GPS+铯钟作为主备同步源，考虑到3个同步源同时失效或故障场景，可考虑通过互联互通方式获取其他运营商的频率源，或PRC间互连方式提供第四同步源。

4.4 同步源选择方案

卫星系统正常运行，PRC和MPR的BITS进行BD/GPS双模接收，作为地面“时间+频率”同步源；BD/GPS均失效时，铯钟提供地面频率基准，PRC和MPR的BITS守时作为地面“时间+频率”同步源；BD/GPS均失效且铯钟故障时，其他运营商铯钟（或通信系统邻省铯钟）提供地面频率基准+BITS守时作为地面“时间+频率”同步源。

5.结束语

同步网作为通信网络的支撑网络不可或缺。随着通信网络发展，同步需求也发生变化，同步网也将随之改变。通过新型同步网设备组网建设，支持BDS引入，设备集成度高，达到节能降效，设备采用网管统一管理，提高维护效率；同步网建设更好服务于通信网络，达到网络同步性能要求。

基于大数据的家庭宽带产品运营质量的研究与实践

李祯盛　杨慰民

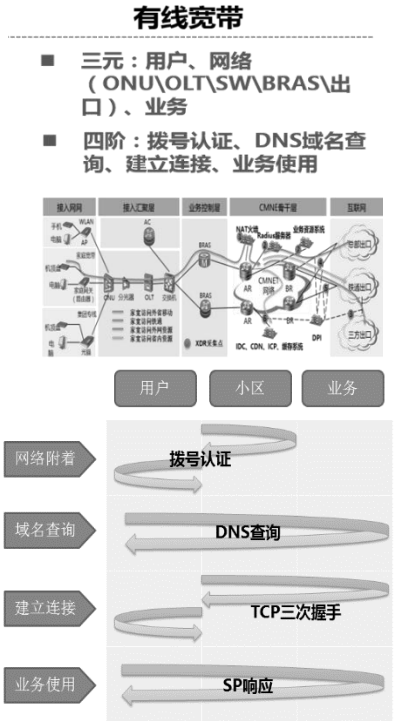
摘　要：针对现网中家庭宽带产品用户真实感知难以识别、体验好坏无法准确评价的现状，基于网络大数据，开展家庭宽带产品运营质量研究，以大数据挖掘及多维关联分析方法为理论基础，基于家宽用户 DPI 感知性能数据、光猫软探针拨测数据、网管性能数据及装维数据，重点从综合运营、用户流量规模、业务体验、网络质量及服务感知 5 个维度对家庭宽带产品的运营质量情况进行全方位的研究分析与实践。本成果填补了行业内面向家庭宽带产品的运营质量分析能力的空白，在缩短故障处理时长、提升网络质量、减少人工运维成本等方面发挥了重要作用，提升了客户满意度。

关键词：家庭宽带；产品运营；质量分析

1 引言

家庭业务涉及从用户终端到内容源之间的接入网、汇聚网、CMNET 及互联网等诸多环节，传统通过网管指标衡量家庭宽带用户对产品的质量评价已无法满足用户日益苛刻要求，当前家庭宽带的网络维护中存在几大难题：客户感知掌控“难”：家庭宽带用户使用产品业务涉及家庭网关、接入网、骨干网、出口、内容源各环节，传统以设备告警、故障隐患、设备性能为重点监控分析对象的网络运维体系，无法做到端到端全覆盖、全过程的质量监控分析。网络主动运维“难”：传统网络运维模式以问题驱动为主，根据客户投诉或网络显性故障，被动解决问题，无法实现客户感知的主动预判，不能从根本上保障和提升客户感知。因此就需要借助大数据手段对客户的实际使用家庭宽带产品的质量进行分析评价，这就对 IT 支撑提出了更高的要求。

本论文自主研发大数据关联分析算法及评估指标体系，实现家宽用户 DPI 感知性能数据、光猫软探针拨测数据、网管性能数据及装维数据的有效关联汇聚分析，从综合运营、用户及流量规模、业务体验、网络质量及服务感知 5 个维度对家庭宽带产品的运营质量情况全方位的分析评价，从用户端、业务端、网络端、服务端开展运营保障，满足家庭宽带产品“全业务、端到端、长流程”的业务需求，保障用户的家庭宽带业务体验。



作者简介：

李祯盛：硕士，长期从事网络大数据研究，先任职于中国移动福建公司网络部。

杨慰民：博士，中国移动集团级首席专家，福建公司网管中心副总经理，教授级高工，享受国务院政府特殊津贴专家，中央企业劳动模范。

2 家庭宽带产品运营质量分析评估方案

本文提出了一套将家庭宽带全量用户DPI感知性能数据、用户光猫软探针拨测数据、家宽网管性能数据及家宽装维数据进行快速对比关联汇聚分析，制订家宽产品运营质量评估指标体系，实现对家庭宽带业务产品运营质量情况分析评价的方案

2.1 家庭宽带产品运营质量指标体系

表 1　评估指标体系

用户及流量规模	网络质量	业务体验	服务感知
用户数 活跃用户数 活跃率 流量 千兆宽带用户数 平均签约带宽	带宽测速平均下载速率 AR-ping平均丢包率 ONU弱光率 OLT质差链路占比 IPv4网间端到端时延	TOP20端游ping时延 TOP20应用市场文件下载速率 重点视频大包下载速率 重点视频业务下行RTT时延 TOP500网页下载时长	装机预约及时 装机满意率 投诉处理时长 投诉解决率 投诉响应时长

2.2 家庭宽带产品运营质量评估方案

家庭宽带产品运营质量评估方案，基于大数据分析及快速关联算法实现全量日粒度的家庭宽带DPI全量用户感知性能数据、家宽用户光猫软探针拨测数据、家宽用户网管性能数据及家宽用户装维数据的快速关联分析，建立家庭宽带产品运营质量分析系统，从综合运营、用户及流量规模、业务体验、网络质量及服务感知5个维度对家庭宽带产品的运营质量情况全方位的分析评价，使用人员可以从系统中获取日粒度下分地市的家庭宽带产品的发展、业务、网络及服务的质量情况，从用户端、业务端、网络端、服务端开展运营保障。做好家庭宽带的产品运营的关键是：建立生命周期管理的产品化模式、对涉及到产品运营的指标需要不断完善、基于产品化体系就，结合产品视角，通过产品端到端维度，建立健康的评估系统，进行面向产品的问题管理。

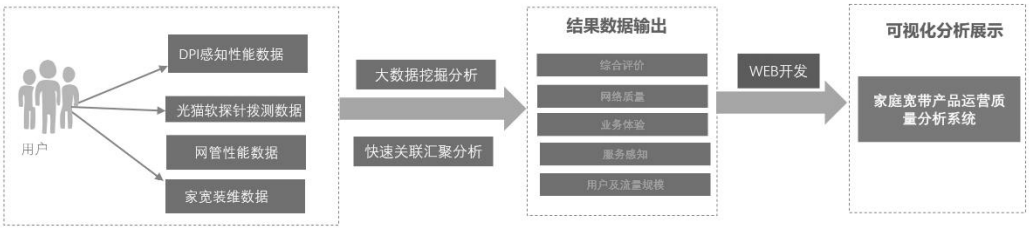


图 1　家庭宽带产品运营质量评估

在本文接下来的内容中将基于以上所介绍的保障理论体系来研究及构建质量分析能力。

3 系统应用与实践

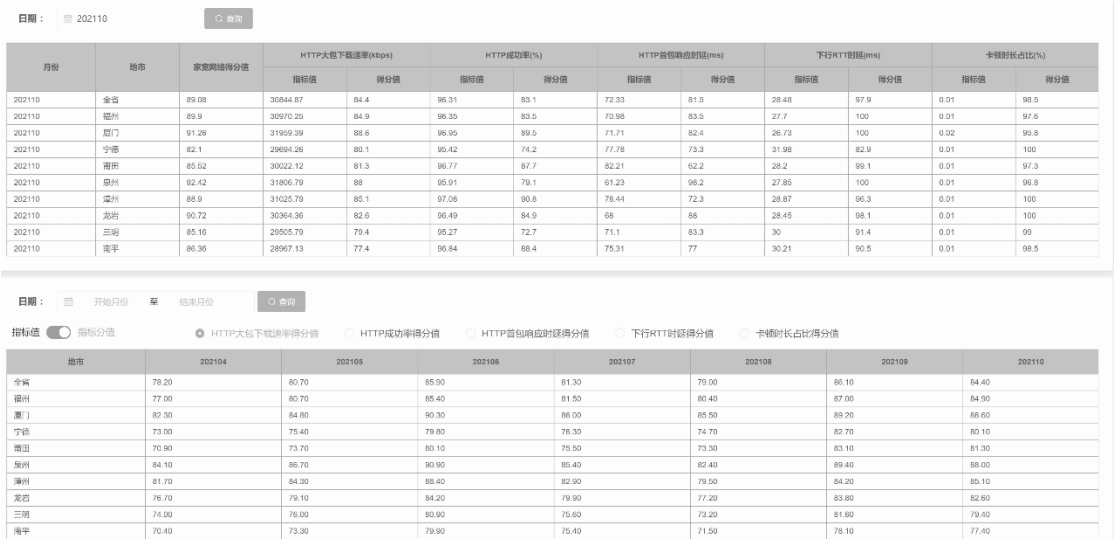
3.1 应用场景

本论文的研究主要针对的是基于网络大数据的应用场景。家庭宽带的相关数据主要通过DPI设备级光猫内置软探针进行采集，本论文所提供的方法适用于家庭宽带网络制式下的用户使用宽带产品感知质量的评估分析，具有较强的通用性和扩展性，通过通用的大数据统计手段即可实现指标体系内各个关键指标的多维汇聚统计。

3.2 家庭宽带产品运营质量分析系统

为了做好家庭宽带的产品运营，主要涉及到以下几方面：第一是要建立生命周期管理的产品化模式；第二是对涉及到产品运营的指标需要不断完善；第三是基于产品化体系就，结合产品视角，通过产品端到端维度，建立健康的评估系统，进行面向专业和地市的产品问题管理。为了做好家庭宽带产品运营的工作，本成果基于大数据分析及快速关联算法实现全量日粒度的家庭宽带DPI全量用户感知性能数据、家宽用户光猫软探针拨测数据、家宽用户网管性能数据及家宽用户装维数据的快速关联分析，建立家庭宽带产品运营质量分析系统，从综合

运营、用户及流量规模、业务体验、网络质量及服务感知 5 个维度对家庭宽带产品的运营质量情况全方位的分析评价，使用人员可以从系统中获取日粒度下分地市的家庭宽带产品的发展、业务、网络及服务的质量情况，从用户端、业务端、网络端、服务端开展运营保障，满足家庭宽带产品“长流程、全方位、端到端”的业务需求，目标是实现家庭宽带产品运营质量的可量化、可评估，根据不同维度的评价结果定性家庭宽带产品的运营质量，并能快速挖掘当前产品运营薄弱环节，最终实现面向产品的运营保障能力，保障用户的家庭宽带业务感知体验，提升用户的认可度，有效提升家庭宽带用户的满意度。



日期： 202110 查询

月份	地市	家宽网络得分值	HTTP大包下载速率(kbps)		HTTP成功率(%)		HTTP首包响应时延(ms)		下行RTT时延(ms)		卡顿时长占比(%)	
			指标值	得分值	指标值	得分值	指标值	得分值	指标值	得分值	指标值	得分值
202110	全省	89.08	30844.87	84.4	96.31	83.1	72.33	81.5	28.48	97.9	0.01	98.5
202110	福州	89.9	30970.25	84.9	96.35	83.5	70.98	83.5	27.7	100	0.01	97.6
202110	厦门	91.26	31959.39	88.6	96.95	89.5	71.71	82.4	26.73	100	0.02	95.8
202110	宁德	82.1	29694.26	80.1	95.42	74.2	77.78	73.3	31.98	82.9	0.01	100
202110	莆田	85.52	30022.12	81.3	96.77	87.7	82.21	62.2	28.2	99.1	0.01	97.3
202110	泉州	92.42	31806.79	88	95.91	79.1	61.23	98.2	27.85	100	0.01	96.8
202110	漳州	88.9	31025.79	85.1	97.06	90.8	78.44	72.3	28.87	96.3	0.01	100
202110	龙岩	90.72	30364.36	82.6	96.49	84.9	68	88	28.45	98.1	0.01	100
202110	三明	85.16	29505.79	79.4	95.27	72.7	71.1	83.3	30	91.4	0.01	99
202110	南平	86.36	28967.13	77.4	96.84	88.4	75.31	77	30.21	90.5	0.01	98.5

日期： 开始月份 至 结束月份 查询

指标值 指标分值　HTTP大包下载速率得分值　HTTP成功率得分值　HTTP首包响应时延得分值　下行RTT时延得分值　卡顿时长占比得分值

地市	202104	202105	202106	202107	202108	202109	202110
全省	78.20	80.70	85.90	81.30	79.00	86.10	84.40
福州	77.00	80.70	85.40	81.50	80.40	87.00	84.90
厦门	82.30	84.80	90.30	86.00	85.50	89.20	88.60
宁德	73.00	75.40	79.80	76.30	74.70	82.70	80.10
莆田	70.90	73.70	80.10	75.50	73.30	83.10	81.30
泉州	84.10	86.70	90.90	85.40	82.40	89.40	88.00
漳州	81.70	84.30	88.40	82.90	79.50	84.20	85.10
龙岩	76.70	79.10	84.20	79.90	77.20	83.80	82.60
三明	74.00	76.00	80.90	75.60	73.20	81.60	79.40
南平	70.40	73.30	79.90	75.40	71.50	78.10	77.40

图 2　家庭宽带产品运营质量分析系统

3.3 系统应用情况

本研究应用目前已在行业内实现了落地应用和广泛推广，对家庭宽带的产品运营有重要的支撑作用，让一线维护人员及管理者准确掌握用户使用家庭宽带产品业务质量情况情况，并及时进行预防和处理，完成对家庭宽带产品运营中从综合运营、用户及流量规模、业务体验、网络质量及服务感知 5 大模块质量分析及评分，对家庭宽带的整体运营质量进行有效评估，完成家庭宽带产品运营质量分析系统的构建。家庭宽带产品运营质量分析系统自上线以来，全方位对家庭宽带业务运营情况进行有效的分析及质量提升，有效缩减不必要的分析处理流程，提升家庭宽带业务整体质量，能为家庭宽带产品运营质量提供可靠的数据支撑，提升家庭宽带客户的网络感知，提升家宽用户满意度。目前系统月均发现行业家庭宽带产品质量异常 15000 起，问题发现准确率达到 81.24%以上，较传统方法提升约 56%，平均故障定位处理时长也由过去的约 13 个小时大大缩短至仅需 10 分钟即可由系统自动呈现分析结果，提升了在行业内的业务领先度，为保障家庭宽带业务客户感知，有效提升了客户对我司家庭宽带产品品牌的认可度。

4 结束语

在家庭宽带产品业务的端到端网络中，影响用户使用家庭宽带产品质量关键环节包括用户家庭内部组网、有线接入网、传输网、CMNET城域网、内容源等15个节点，每个网元、环节、流程、机制出现问题都会影响用户使用具体业务的质量。家庭宽带产品运营质量的研究需要从“内容、网络、终端”的端到端各环节入手，以解决客户感知问题为导向，建立“精细化管控+智能可视”的端到端质量分析优化工作体系，助力客户满意度提升，保障家庭宽带网络高效稳定的运行，在缩短故障处理时长、提升网络质量、减少人工运维成本等方面发挥了重要作用，提升了客户满意度。该研究提炼出的方法体系、相关算法以及优秀经验在行业内具备重要的推广借鉴价值。

第22届省科协年会元宇宙产业发展论文集