

# 5G 空间计算白皮书

(2023)

虚拟现实与元宇宙产业联盟

2023 年 3 月

## 版 权 声 明

本白皮书版权属于所有合著单位共同所有，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：《5G 空间计算白皮书》”。违反上述声明者，我们将追究其相关法律责任。

## 致 谢

为响应《“十四五”数字经济发展规划》与工业和信息化部、教育部、文化和旅游部、国家广播电视总局、国家体育总局五部门联合发布的《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022—2026年）》等国家政策顶层设计，中国电信股份有限公司联合中国信息通信研究院共同发起，中电万维、中电数智科技、天翼云、国脉文化、中国联通研究院、北京邮电大学、商汤科技、易现先进科技、中兴通讯、视辰科技、京东、灵伴科技、北京河图、阿里云、紫光展锐、金科商业、兴业数金、奇领空间、清博智能等产学研用合作伙伴共同撰写本白皮书。

感谢在编写过程中为本白皮书的完成贡献了知识的各单位，限于编写时间、项目组知识积累与产业尚未完全定型等方面的因素，内容恐有疏漏，烦请不吝指正。

## 联合发起单位

中国电信股份有限公司

中国信息通信研究院

## 参编单位

中国电信股份有限公司全渠道运营中心、中国电信股份有限公司研究院、中电万维信息技术有限责任公司、中国电信股份有限公司数字智能科技分公司、中国联合网络通信有限公司研究院、天翼云科技有限公司、新国脉数字文化股份有限公司、中电福富信息科技有限公司、北京邮电大学、上海商汤智能科技有限公司、杭州易现先进科技有限公司、中兴通讯股份有限公司、视辰信息科技（上海）有限公司、北京沃东天骏信息技术有限公司（京东）、杭州灵伴科技有限责任公司、北京河图联合创新科技有限公司、阿里云计算有限公司、北京紫光展锐通信技术有限公司、金科地产集团有限公司、兴业数字金融服务（上海）股份有限公司、北京奇领空间数字科技有限公司、北京清博智能科技有限公司

## 编委会：

张旭、陈曦、崔冬亮、刘涛、张鑫、付迎鑫、陶柏帆、段惠斌、丁鹏

## 编写组：

庄梦蝶、王波、张英达、曹伟、赵泽雨、李默雯、向潇、张昊、刘晓刚、魏瑗、陈鑫、尚杰、魏东、赵岩、何智翔、郭知智、陈元宝、连城、苏泽阳、魏文博、薛裕颖、沈云、刘洋、安岗、许丽丽、王彦丹、周亚林、潘文字、胡健飞、乔秀全、黄亚坤、姜蔚蔚、王子彬、李宇飞、张北帆、丛林、张双力、柯乐欣、梁嘉龙、韦赛群、夏宏飞、侯志远、王晋军、张小军、江淑红、原正飞、刘璐瀛、刘享军、周军、王孟然、宋震、谢炯、常崇礼、李丛蓉、朱勇旭、于建、杨益明、柴军、石广洲、赵阳洋、赵维嘉、王家伟

## 前 言

随着5G、人工智能、虚拟现实、云计算与边缘计算等数字化技术的快速发展，经济、生产、生活等各方面正在被深度数字化。人们生活在一个虚拟和现实日渐融合的环境中。“数字孪生”的火热，“元宇宙”概念的流行，正是对这一趋势的回应。作为元宇宙的基础技术，空间计算、5G、云计算的融合能够充分释放其应用潜力，满足更多的行业需求，带来新的发展机遇。当前，各厂商积极推动三维渲染、空间感知互动等空间计算相关技术与行业的结合，构建起了一批独立的技术生态，但业界对空间计算关键技术与产业发展路径的认识尚未统一，各类技术方案相对独立，影响了空间计算在生产生活诸多领域的融合应用与规模推广。

本白皮书旨在凝聚业界对空间计算的发展共识，推动产业研发形成合力，解决关键技术和应用难点，希望紧抓元宇宙发展的机遇期，促进空间计算生态的健康发展，实现融合创新与规模应用。

# 目 录

1 空间计算发展背景 .....	8
2 空间计算关键技术 .....	9
2.1 三维重建：构建下一代数字世界的基础技术 .....	9
2.1.1 三维重建的概念 .....	9
2.1.2 三维重建的关键技术模块 .....	9
2.1.2.1 基于主动视觉的三维重建 .....	9
2.1.2.2 基于被动视觉的三维重建 .....	10
2.1.2.3 基于人工智能的渲染与建模 .....	10
2.1.3 三维重建技术的应用现状与展望 .....	11
2.2 空间感知：智能终端多样化带动更深度的空间智能服务 .....	11
2.2.1 空间感知的概念 .....	11
2.2.2 空间感知的关键技术模块 .....	11
2.2.3 空间感知技术的应用现状与展望 .....	12
2.3 用户感知：多模态空间交互促进人与环境更深度的融合 .....	12
2.3.1 用户感知的概念 .....	12
2.3.2 用户感知的关键技术模块 .....	13
2.3.2.1 面部感知 .....	13
2.3.2.2 人体姿态的感知 .....	13
2.3.2.3 其他感知与驱动 .....	14
2.3.3 用户感知技术的应用现状与展望 .....	15
2.4 空间数据管理：未来场景推动数据技术迭代升级 .....	15
2.4.1 空间数据的概念 .....	15
2.4.2 空间数据管理的关键技术模块 .....	15
2.4.2.1 空间数据存储管理技术 .....	15
2.4.2.2 空间数据高效检索技术 .....	16
2.4.2.3 空间数据可视化支撑技术 .....	16
2.4.2.4 空间数据安全的管理技术 .....	16
2.5 5G、云网与空间计算：数字基础设施建设构筑更优化的未来计算环境 .....	17
2.5.1 5G、云网对空间计算的驱动 .....	17
2.5.2 5G、云网与空间计算相关技术模块 .....	17
2.5.2.1 云化空间计算技术 .....	17
2.5.2.2 算力网络调度 .....	17
2.5.2.3 算力分时复用 .....	18
2.5.2.4 端边异步渲染技术 .....	18
2.5.2.5 端边云协同部署架构 .....	18
2.5.2.6 服务弹性伸缩和动态调度技术 .....	18

2.5.2.7 网络传输保障技术 .....	18
2.5.3 5G 标准化演进对空间计算的支持 .....	19
2.5.4 东数西算工程对空间计算的支持 .....	19
3 空间计算产业现状 .....	21
3.1 产业发展趋势和相关政策 .....	21
3.2 5G+空间计算产业链情况 .....	23
4 5G 空间计算应用场景 .....	25
4.1 空间计算+商业：打造新型营销与购物体验，推动精准运营 .....	25
4.1.1 行业背景 .....	25
4.1.1.1 沉浸式购物体验 .....	25
4.1.1.2 虚拟化身与会员制的结合 .....	25
4.1.1.3 “虚拟人”将逐渐在多场景、多领域进行融合、应用、落地 .....	26
4.1.1.4 数据感知与空间计算的融合推动精准运营管理 .....	26
4.1.2 应用案例 .....	26
4.1.2.1 沉浸式 AR 剧情秀 .....	26
4.1.2.2 AR 与虚拟人营销 .....	27
4.1.2.3 5G XR 全场景智慧运营 .....	27
4.1.2.4 XR 沉浸式数字街区 .....	28
4.1.2.5 虚拟试穿试戴 .....	28
4.1.3 未来展望 .....	29
4.2 空间计算+文旅：重塑产业结构，体验历史与未来 .....	29
4.2.1 行业背景 .....	29
4.2.2 应用案例 .....	29
4.2.2.1 建筑可阅读与文化地标 .....	29
4.2.2.2 博物馆数字化升级 .....	30
4.2.2.3 古迹复原，景区体验升级 .....	30
4.2.2.4 AR 让文化“活”起来，将城市记忆还给城市 .....	30
4.3 空间计算+工业：构建新型工业数字化环境，推动产业效率提升 .....	31
4.3.1 行业背景 .....	31
4.3.2 行业应用 .....	31
4.3.3 典型案例 .....	32
4.4 空间计算+会展：构建虚实融合的双会展空间，提供更具想象力的内容体验 .....	32
4.4.1 行业背景 .....	33
4.4.2 发展需求及趋势 .....	33
4.4.2.1 基于三维重建和渲染技术，打造会展行业虚实融合的线下展厅 .....	33
4.4.2.2 基于空间计算复刻虚拟会展空间场景，打造线上线下双线展会 .....	33
4.4.2.3 基于会展中心的空间数据管理，实现“人对物”“人对人”的对应关系 .....	34
4.4.2.4 空间计算与虚拟现实等技术的深度融合，破局会展营销新体验 .....	34
4.4.3 典型案例 .....	35
4.5 空间计算+金融：提升行业线上服务体验，推进数字化转型 .....	35

4.5.1 行业背景 .....	35
4.5.2 应用案例 .....	36
4.5.2.1 银行业三维数字虚拟营业厅 .....	36
4.5.2.2 国外银行联合元宇宙平台打造虚拟空间 .....	36
4.5.3 未来展望 .....	36
4.6 空间计算+游戏：由沉浸虚拟体验到户外物理现实延伸 .....	36
4.6.1 行业背景 .....	36
4.6.2 应用案例 .....	37
4.6.2.1 AR 室内 IP 互动游戏 .....	37
4.6.3 未来趋势 .....	37
4.7 空间计算+影视媒体：提供身临其境的观影体验与较强的互动 .....	37
4.7.1 行业背景 .....	37
4.7.2 应用案例 .....	38
4.7.2.1 开物 AR 点云数字孪生平台保障新华社直播 .....	38
4.7.2.2 虚拟虚拟人助力影视媒体 .....	38
4.7.2.3 AT&T 打造体育赛事直播新体验 .....	38
4.7.3 未来挑战 .....	38
4.8 空间计算+协同办公：打造趋近现实的线上办公体验 .....	39
4.8.1 行业背景 .....	39
4.8.2 应用案例 .....	39
4.8.2.1 XR 办公解决方案“钉钉 Workspace” .....	39
4.8.2.2 Meta/微软集合虚拟现实技术打造元宇宙会议平台 .....	39
4.8.3 存在问题及趋势 .....	40
5 总结与展望 .....	41
5.1 技术发展建议 .....	41
5.2 产业发展建议 .....	41



## 1 空间计算发展背景

随着人工智能、区块链、大数据、XR、5G等技术日益成熟，元宇宙的概念即将变成现实。政府、产业、学术界对元宇宙未来的光明前景已形成基本共识。元宇宙将成为数字经济发展的下一形态，为其带来新的动力和增长点。元宇宙的核心特征是虚实融合，因此也将促进虚拟经济与实体经济深度融合，助力实体经济更好发展。元宇宙的高速发展离不开数字技术和信息基础设施的支撑，这也为5G、AI、空间计算等相关技术与产业的融合发展带来了新的机遇。

空间计算最初指对地图及其他地理位置数据进行计算和分析以实现定位与测量的技术。在过去主要应用在全球卫星定位系统（GPS）和地理信息系统（GIS）等宏观领域。随着XR、虚拟人、数字孪生等技术领域的发展，微观空间的计算需求也在逐渐增加。本白皮书所讨论的空间计算主要指微观空间计算的相关技术及发展。有别于传统的桌面计算和移动计算，空间计算并不局限于实体屏幕的矩形框，而是可以自由地在我们周围的环境中流动。语音、视觉、手势等其他更为自然的输入方式将进一步丰富鼠标、键盘、触摸屏等传统交互模式，使人们能够以最适合自己当前场景与业务流程的方式进行接入和交互。

从核心技术维度考量，空间计算是由AI技术、三维重建、空间感知、用户感知、空间数据管理等一系列技术支撑实现的。它是构建元宇宙空间并实现与现实世界自由切换、相互融合的关键技术。从计算载体维度考量，空间计算可以分为端计算、云计算以及由5G作为重要媒介的云边端协同计算。通过空间计算可以实现人、物、机器和虚拟空间的无缝衔接，构建数字孪生体，创造虚实融合的新经济形态，最终驱动新一轮的产业变革，推动XR等元宇宙相关产业发展及落地。

## 2 空间计算关键技术

### 2.1 三维重建：构建下一代数字世界的基础技术

#### 2.1.1 三维重建的概念

人类通过学习可以从单个或多个视角的图像信息中推理和想象出物体或场景的三维几何形状信息，赋予计算机这种能力是计算机视觉和三维重建所追求的目标。

三维重建是指对三维物体建立适合计算机表达和处理的数学模型，是在计算机环境下对三维物体进行处理、操作和分析的基础，也是在计算机中通过虚拟现实表达客观世界的关键技术。具体到计算机视觉领域，三维重建是指根据单视图或者多视图的图像重建三维信息的过程，根据相机采集到的图片数据、深度图数据或者两种数据的融合重建出物体或场景的三维模型，从而建立真实世界的数字化表达。

实现物理空间/物体的三维模型离不开空间点云的构建，而三维重建作为生成高精度空间点云的核心算法，包含了图像特征点的提取和匹配、运动恢复结构、三维几何重建、表面纹理重建等核心技术。

三维重建的发展历程离不开计算机视觉和深度学习技术的进步。二十世纪八十年代，第一届国际计算机视觉大会 ICCV 在伦敦举办，标志着现代计算机视觉研究的开端。进入二十一世纪以来，人工智能飞速发展，深度学习以及相关的神经网络等技术的出现又是一次巨大的突破，相较之前的手工定义特征，卷积神经网络的特征表达能力要高得多，使得三维重建有了更新的发展。

#### 2.1.2 三维重建的关键技术模块

三维重建的主要流程是：首先采集物体的二维图像信息，进而对相关数据进行分析处理，最后利用三维重建的相关技术重建真实环境中物体表面的轮廓信息。经过数十年的发展与技术迭代，基于视觉的三维重建技术已经衍生发展出多种实现方法，主要可分为接触式和非接触式。接触式三维重建技术因可能对三维重建对象（物体/空间等）造成破坏及影响，近年来已经较少使用，此处不做赘述。非接触式可分为主动视觉法和被动视觉法。

##### 2.1.2.1 基于主动视觉的三维重建

###### 1、激光扫描法

激光扫描法是一种基于激光测距仪的三维重建技术方法，利用激光往返的时间差可以计算待测物体和仪器之间的距离。在对空间环境进行三维重建的时候，应该使用多点、阵列式的激光，或者旋转交叉的线状激光扫描空间环境，保证采集到的环境三维数据的完整性。

###### 2、结构光法

基于结构光方法的三维重建，涉及到三角测量原理、图像处理等技术，为主动获取信息的技术，常见的结构光有：点结构光、线结构光、面结构光等。一般通过人为方式将设定好的结构光投射到待重建物体上，调制光线不同角度方向后，采用视觉传感器来采集目标物体的参数等信息，并输入计算机分析计算，依据立体信息辅助提取物体的深度信息，以达到三维重建的目的。

###### 3、阴影法

阴影法是一种简单、可靠、低功耗的重建物体三维模型的方法。与传统的结构光法相比，这种方法对硬件性能要求较低，只需要将一台相机面向被灯光照射的物体放置，通过移动光源前面的物体来捕获移动的阴影，再观察阴影的空间位置，从而重建出物体的三维结构模型。

###### 4、TOF技术

TOF (Time of flight)法是主动测距技术的一种，可从发射极向物体发射脉冲光，遇到物体反射后，接收器收到反射光时停止计时，由于光和声在空气中的传播速度是不变的，从而通过发射到接收的时间差来确定物体的距离，进而确定产生的深度信息。

###### 5、雷达技术

欢迎访问：电子书学习和下载网站 (<https://www.shgis.com>)

中国电信：5G空间计算白皮书（2023）.pdf

请登录 <https://shgis.com/post/1371.html> 下载完整文档。

手机端请扫码查看：

