

非暴露空间白皮书

(2024 版)

全图通位置网络有限公司

交通运输部公共交通智能化行业重点实验室（北京工业大学）

北京市经济技术开发区企业协会

江苏安防科技有限公司

目录

一、 非暴露空间产业发展情况	8
（一） 发展背景	8
（二） 产业链结构	10
（三） 未来发展趋势	12
二、 产业发展格局及重点企业发展情况	13
（一） 市场格局	13
（二） 国内外重点企业	18
三、 非暴露空间产业技术创新进展	26
（一） 定位技术发展动态	26
（二） 全时程服务要素构建关键技术	36
（三） 非暴露空间复杂环境高精度快速空间数字化技术 ..	39
（四） 轨道交通无人化客服	42
四、 非暴露空间产业应用场景	44
（一） 日常场景应用	44
（二） 专业场景应用	47
五、 经济模式创新进展	48
（一） 交通出行方面	49
（二） 物流与仓储方面	49
（三） 应急救援方面	51
（四） 资源开发方面	51

六、 2024 年非暴露空间产业热点事件	52
（一）国家政策支持推动非暴露空间定位技术应用	52
（二）非暴露定位技术在智慧交通领域的突破	53
（三）企业融资与技术创新	53
（四）国际合作推动全球化应用	54
（五）消费市场爆发，定位服务走进日常生活	54
（六）行业标准化与数据安全问题备受关注	55
（七）特殊场景中的首次应用	55
七、 面临的问题	56
（一）技术兼容性、数据共享问题：	56
（二）复杂环境下高精度定位难题：	56
（三）行业标准与数据安全问题：	56
（四）技术创新与产业升级压力：	56
（五）基础设施与配套服务能力不足：	57
八、 产业发展建议	57
（一）夯实政策基础，推动产业集聚化发展	57
（二）强化创新驱动，助力产业链协同升级	57
（三）构建标准体系，提升行业技术规范水平	58
（四）深化国际合作，拓展全球市场空间	58
（五）优化基础设施，完善产业配套服务能力	59
免责声明	60

前言

习近平总书记在2024年1月31日中共中央政治局第十一次集体学习时强调：“必须牢记高质量发展是新时代的硬道理”，并指出“发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点，必须继续做好创新这篇大文章，推动新质生产力加快发展。”新质生产力以创新为核心驱动力，突破传统经济增长和生产力发展路径，具有高科技、高效能、高质量的特征，体现了先进生产力的新质态。党的二十届三中全会提出，健全因地制宜发展新质生产力体制机制，全面深化科技体制改革，优化科技创新组织机制，构建国家战略科技力量，推动科技与产业深度融合。党的十八大以来，习近平总书记从全局出发，统筹思想理论创新与实践改革，对科技强国建设进行系统部署，推动我国科技事业实现历史性变革与整体跃升。围绕科技与产业创新的融合发展，习近平总书记多次作出重要指示，强调“扎实推动科技创新和产业创新深度融合，助力发展新质生产力”，“及时将科技创新成果应用到具体产业和产业链上”。总书记的重要指示为新时代科技发展指明了方向，奠定了行动的理论基础。

新质生产力的发展与非暴露空间技术的突破息息相关。非暴露空间技术旨在解决传统导航系统在复杂环境中定位精度不足的问题，是当前科技创新和产业升级的热点方向。随着新发展理念的推进，卫星导航与位置服务技术研发及其融合应用取得了长足进展，非暴露空间时空（PNT）技术逐步形成新赛道，成为专家学者与产业界关注的焦点。习近平总书记指出：“科技创新能够催生新产业、新模式、新动

能，是发展新质生产力的核心要素。” 非暴露空间技术顺应了这一核心要求，为北斗卫星导航产业的高质量跨越发展注入了新动力，推动了经济社会的高效增长。

“非暴露空间”这一概念源于中国，并因航天、数字化、智慧交通等领域技术的快速发展而得到强化。其涵盖室内和半室内环境，如轨道交通、隧道、煤矿、商场、医院等传统定位技术受限的复杂场景。非暴露空间技术通过精准、智能和连续的导航服务满足社会需求，展示了中国科技创新在解决全球复杂定位难题上的贡献。它不仅是对定位技术的深化与扩展，也是推动高质量发展的重要工具，为全球导航领域带来了中国智慧和方案。

多年来，“两弹一星”功勋奖章获得者、中科院院士、探月工程总设计师孙家栋指出：“希望你们能将导航定位走入地下空间，走入地铁空间，走入更多的非暴露空间，并与北斗的室外导航定位相结合，全方位地做好北斗时空体系，为民生出行、智慧交通出一份力。

新质生产力的发展强调构建数字化、智能化、网络化的新平台和新空间。在这一过程中，非暴露空间技术融合了国家标准时间、北斗时空基准等关键要素，推动了跨行业的数字化转型和生产效率提升。中国航天工业在通信、导航、遥感等领域已位居世界前列，非暴露空间技术正进一步深化这些技术在智慧交通、物流及城市管理中的实际应用。通过提高定位精度和可靠性，非暴露空间技术显著增强了全要素生产率，是新质生产力发展的核心标志。车路云一体化的应用通过整合车辆、道路和云端平台，实现了室内外无缝定位与信息共享，显

著提升了轨道交通和城市交通管理的智能化水平。同时，非暴露空间技术的高精度定位能力，为数字化转型注入动力，助力智慧物流、智能调度等领域全面升级，成为提升生产效率和优化资源配置的关键技术。

截至 2023 年底，我国铁路运营总里程达 15.9 万公里，其中高铁达 4.5 万公里，全国拥有超过 5000 座高铁站。民用运输机场数量达 258 个（不含港澳台），城市轨道交通总里程超 11232 公里。这些场景对无缝定位和高精度时间同步提出了更高要求。通过智能导航、实时数据支持和资源优化，非暴露空间技术为轨道交通和城市管理提供了便捷、高效的解决方案，显著提升了公众出行体验和公共服务效率。

非暴露空间技术的应用还带来了多领域的产业变革。在物流领域，其实时追踪与调度能力大幅提升了供应链效率；在制造业领域，其高精度定位技术支持智能制造转型升级；在应急管理中，其对潜在风险的实时监控保障了公共安全。通过这些应用，非暴露空间技术在智慧交通、民用航空、城市管理等领域展现了巨大潜力，为行业数字化发展提供了强有力支撑。

由著名院士杨元喜、孙家栋、戚发轫等倡导的非暴露空间学术研究已发表了近 29000 篇论文，奠定了坚实理论基础。随着新质生产力的深入推进，非暴露空间技术将在室内外无缝定位、轨道交通隧道覆盖、海底隧道导航等方面实现更多突破。通过星链卫星与北斗系统的融合，结合人工智能的广泛应用，这一技术将全面融入社会生产与日常生活，助力构建泛在、融合、安全的智能时空服务体系。

编写单位：全图通位置网络有限公司、北京工业大学城市交通学院、北京市经济技术开发区企业协会、江苏安防科技有限公司

第一起草人：陈艳艳（交通运输部公共交通智能化行业重点实验室主任，北京工业大学教授）

张开婷（全图通位置网络有限公司董事长）

李若晗（非暴露空间学术论坛执行主席、秘书长）

编写组成员：张凤民、曹冲、张方冰、孙志昊、谢派、王雨楠、范博、曹秉新、郑舒妍、时玥、李勃麟、王子珍、刘晨淏、李亚鑫、张晓光、钟涛、周立荣、张迪

专家顾问：孙家栋、范本尧、徐冠华、金善朝、戚发轫、刘经南、杨长风、李德仁、沈荣骏、何质彬、杨元喜、Ludo Cuypers、杨方成、邓中亮、李自明、欧阳自远、陈武、薛志刚、方薇、刘建、李丽、岳勋、岳磊、唐竹、李宇杰、赵媛媛、王春玲、赵华伟、李冬航、李庆建、王冬琳

支持单位：香港物流与供应链管理科技创新中心、深圳北斗平台通信有限公司、香港理工大学（部分专家、教授）、微度科技有限公司、中关村空间信息产业技术联盟、国汽大有时空科技（安庆）有限公司

一、非暴露空间产业发展情况

（一）发展背景

随着我国国家高速增长的经济，已经形成了一个完整的商业体系和时空服务体系，室内定位、室内导航、室内电子地图、三维建模应用以及北斗授时技术共同构成了一个高精度的时空体系。这一体系不仅成为我国经济建设的蓝海和重要经济增长点，同时也是国家应急管理的重要手段。我国在建筑行业、矿山行业、航天行业、人工智能、算力、深海探测、量子技术、大飞机及造船等领域的技术突破，为非暴露空间的广泛应用奠定了坚实基础。尤其是北斗全球组网的完成，为非暴露空间 PNT（定位、导航与授时）技术提供了大地坐标的基准保障和高精度授时的时间保障，使 PNT 技术具备更广阔、更泛在的应用前景。

在智慧城市和智慧交通的建设中，为了满足不同交通模式无缝衔接、资源高效配置和运营优化的需求，提出了统一的交通大市场、统一的交通枢纽以及一体化交通标准。这些标准的提出为城市轨道、高铁、机场、高速公路和高速管网等领域的协同发展提供了技术和管理基础，从而创造了丰富的应用场景。然而，随着这些场景的深入拓展，也逐渐暴露出技术兼容性、数据共享以及复杂环境下高精度定位等关键性应用难题，行业痛点随之显现。

本白皮书不仅旨在展示我国在科技进步和成果转化方面的卓越成就，更着眼于分析非暴露空间产业发展背景下的机遇与挑战。特别是针对学术领域的难点与疑点，以及现实工作中技术攻关的关键需求，白皮书通过提出发展愿景，系统梳理行业问题，呼吁行业专家共同参与，探索跨行业的协同解决方案，为非暴露空间产业发展提供清晰方向和有效支撑。

在我国地铁领域，有许多公司专注于地图制作和导航服务，涵盖从导航电子地图制作到智能驾驶、智慧交通等多个领域。这些公司通过不断创新，为地铁及相关行业提供了重要的技术支持。

与此同时，百度地图依托人工智能技术，完成了道路数据的高效采集和处理，并与多家车企合作，共同研发自动驾驶地图，推动了“地图大脑”生态的形成。像长地万方这样的企业，则通过与百度等伙伴的合作，共同助力自动驾驶地图技术的发展。

此外，易图通¹在车载导航领域具有重要地位，特别是在前装市场中与四维图新和高德形成了三足鼎立的格局。立得空间则以移动测量和智慧城市应用为核心，通过创新的“天-空-地”技术引领测绘产业变革。滴图科技作为滴滴出行的全资子公司，也通过地图技术支持智慧出行的发展。

除了这些知名企业，凯立德²、城际高科³、光庭信息等公司也都

1 易图通是我国汽车前装导航地图和自动驾驶高精度地图的主要图商之一，在地图服务平台基础上开发了数字孪生技术，为智慧高速、智慧城市、智慧公安、智慧园区、智慧物流、智慧出行等领域的智慧化建设提供了重要的数据底座支撑服务。

2 深圳市凯立德科技股份有限公司位于广东深圳，是一家以电子地图、位置服务与汽车智能作为核心技术方向的国家高新技术企业。面向车联网、物联网、移动互联网，凯立德为广大政企用户提供地图、导航以及基础地理信息服务和解决方案。

3 北京城际高科信息技术有限公司公司专注于车载移动信息终端的研发、生产和销售，并构建全国范围的信息服务平台、建设全国移动信息应用数据库；致力于成为中国空间地理信息领域技术开发、产品应用及信息服务的行业先锋。

在地图制作与导航服务领域发挥着积极作用，为我国交通系统建设提供了坚实的技术支撑。

在时钟同步系统方面，一些公司同样为地铁运行提供了关键技术支持。比如，浙江赛思电子科技提供全面的时钟同步解决方案，满足各种高精度需求；西安驰阳仪器和西安同步电子科技专注于研发 PTP 时钟、1588 主时钟等产品，技术先进，性能可靠。

北京北斗邦泰科技结合北斗导航系统，为国防、通信等领域提供精准的授时服务。江海电子工程（江苏）则针对行业特点，推出了适用于医院和特定场景的时钟系统，甚至支持 POE 供电功能。

另外，北京天诚瑞达时钟科技和湖南中电星河电子有限公司也在授时系统领域有突出的表现，它们的产品广泛应用于建筑、交通和航空航天等高精度领域。

（二）产业链结构

非暴露空间位置服务产业作为高技术服务业的重要组成部分，正依托地理信息系统（GIS）、高精度导航定位、高精度空间信息感知与融合表达等前沿技术，在室内、地下等非暴露环境中提供日益精准的位置信息服务。这一产业的蓬勃发展，不仅推动了技术创新，还促进了产业链的细化与延伸，形成了上游、中游和下游三个紧密相连的环节。

在上游环节，基础软硬件、数据采集和设备生产研发构成了非暴露空间位置服务产业的技术基石。定位芯片、传感器模块、存储芯片等核心硬件的研发与生产，直接关系到非暴露空间定位的精度与用户

体验。这些硬件的性能优化与技术创新，是非暴露空间技术不断突破的关键。同时，数据采集与处理工作涉及遥感数据、二维地图数据、三维地图数据等多种 GIS 基础数据类型，为下游应用提供了丰富而准确的信息基础。然而，值得注意的是，GIS 基础软件市场长期被国际巨头如 ESRI 所占据，这为我国非暴露空间位置服务产业的发展带来了一定的挑战，也促使我们加快自主研发与创新的步伐。

中游环节则是终端产品与系统集成产品的开发与应用阶段。数据地图供应商在此环节发挥着举足轻重的作用，他们通过融合 GIS 与 BIM 技术，实现空间数字化，为非暴露空间定位区域提供了精准的地理信息、室内地图及兴趣点（POI）数据。这些数据是构建高效、智能导航系统的关键。定位解决方案供应商则专注于为商业定位系统提供集成技术方案，涵盖终端设备、网络（基站）设备、定位算法、地图展示以及应用开发等多个方面，确保整个系统的设计、调试与维护工作得以顺利进行。他们的努力，使得非暴露空间位置服务得以广泛应用于各个领域，如公共安全、智慧城市、智慧医疗、智能制造、应急救援等。

而下游环节的应用服务提供商，则进一步挖掘了位置数据的价值，拓展了产品应用场景和服务平台。他们通过开发各种非暴露空间位置服务应用，如室内导航、精准营销、智能调度等，不仅提升了用户体验，还推动了相关行业的智能化发展。这些应用服务提供商的创新与探索，为非暴露空间位置服务产业的持续繁荣注入了新的活力

图 1 非暴露空间位置服务产业链结构



（三）未来发展趋势

随着智能感知技术的飞速发展，时空大数据正以前所未有的速度增长，从 TB 级跃升至 PB 级乃至 EB 级，为时空大数据产业化奠定了坚实的数据基础。在北斗系统的有力支撑下，高精度时空信息、地理信息和遥感信息的融合，不仅极大地丰富了数据量，更为这些数据的深度应用和价值挖掘提供了广阔空间。

人工智能大模型的兴起，为时空大数据产业的发展注入了新的活力。借助知识工程和先进的人工智能算法，这些大模型能够进行智能化分析，从海量的数据中提炼出有价值的信息和知识，为决策提供科学依据。它们还能实现统一感知、关联分析与态势预测，进一步推动时空大数据平台的建设和完善，提升平台的智能化水平和应用效能。

与此同时，多源融合技术正逐渐成为产业发展的必然趋势。面对众多不同的定位和通信网络，以及它们在定位性能、覆盖范围、功耗成本等方面的差异，通过融合传统技术实现泛在融合定位，成为解决

非暴露空间定位难题的关键。非暴露空间相较于暴露空间环境更为复杂，因此，非暴露空间导航与位置服务技术的突破成为未来发展的核心要点。

现阶段，非暴露空间定位技术的研究已经取得了显著进展，主要集中在视觉、音频和光源等技术领域。然而，这些技术尚未实现工业化规模生产和商业化常态应用，仍处于理论研究和试验阶段。为了推动非暴露空间定位技术向工业化规模生产和商业化常态应用迈进，我们需要持续突破技术壁垒，探索更低成本、更高精度的解决方案。与此同时，将多种互补性定位技术如超宽带（UWB）、蓝牙、Wi-Fi、地磁等，以实现优于单一技术的定位性能，已成为目前非暴露空间定位技术的主流发展方向。

未来，随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，非暴露空间定位技术将在智慧城市、智慧交通、智能制造等领域发挥越来越重要的作用。通过提供精准、可靠的位置服务，这些技术将助力各行各业实现数字化转型和智能化升级，推动经济社会的高质量发展。同时，我们也需要关注数据安全和个人隐私保护等问题，确保技术的健康、可持续发展。

二、产业发展格局及重点企业发展情况

（一）市场格局

1. 市场规模

全球市场规模：根据最新的市场研究报告，2024 年全球定位技术市场的总规模约为 320 亿美元，并预计到 2028 年将达到 540 亿美元，年均增长率约为 14.5%。随着定位技术在智能交通、自动驾驶、无人机和物联网等领域的应用持续增长，这一市场将在未来几年继续扩展。

高精度定位市场：高精度定位技术（如 RTK、PPP）正在成为主流，特别是在自动驾驶、无人驾驶飞机（UAV）、航空器、精准农业和智慧城市等领域。预计到 2028 年，全球高精度定位技术市场将占定位市场的 35% 以上，推动高精度定位设备的销售增长。

2. 技术进展

GNSS 技术的演进：全球主要的卫星导航系统（GPS、北斗、Galileo 等）都在持续改进，精度、抗干扰能力和全球覆盖范围不断提高。例如，北斗三号系统已经完成建设，进一步增强了全球定位能力。GPS 3 代卫星的发射提升了信号精度和稳定性，尤其在高密度城市环境中得到了显著改善。

高精度定位技术：RTK（实时动态定位）和 PPP（精密单点定位）技术已经逐步进入工业应用，提供厘米级、亚米级定位精度。这些技术广泛应用于自动驾驶、无人机航拍、工程测量等领域。根据数据显示，2024 年全球高精度定位技术市场规模约为 50 亿美元，预计到 2028 年将增长至 95 亿美元。

室内定位技术的创新：随着蓝牙、UWB（超宽带）、Wi-Fi 等技

术的应用，室内定位技术在商场、博物馆、机场等多场景中的应用越来越广泛。UWB 和毫米波雷达等新兴技术的应用，进一步提高了定位精度和可靠性，推动了这一领域的发展。

5G 与定位技术融合：5G 技术的快速部署为精准定位提供了低延迟、高带宽的网络支持。5G 网络不仅可以提供高速数据传输，还为高精度定位提供了更低的延迟和更高的可靠性。预计 5G 与定位技术的融合将在 2025 年成为行业的重要发展趋势，特别是在自动驾驶、智能物流和物联网等领域。

3. 应用领域

自动驾驶：自动驾驶依赖高精度定位技术来确保车辆在复杂环境中的精确导航。2024 年，自动驾驶领域对高精度定位的需求已经达到数十亿美元，预计到 2028 年，这一需求将增长至近 100 亿美元。

智能交通：在智慧城市建设过程中，智能交通系统对定位技术的依赖越来越大。精准的交通监控、智能停车、公共安全等领域均需要高精度的定位数据。2024 年，智能交通领域对定位技术的需求已达到约 40 亿美元，预计到 2028 年将超过 80 亿美元。

物联网（IoT）：物联网的快速发展使得精准定位成为不可或缺的技术。2024 年，物联网领域的定位需求约为 30 亿美元，预计到 2028 年这一市场需求将增长至 70 亿美元，主要应用于智能家居、物流、智慧农业等领域。

无人机：无人机领域对精准定位的需求也在逐年增加。2024 年，

无人机市场对高精度定位技术的需求已接近 10 亿美元，预计到 2028 年将突破 20 亿美元，特别是在航拍、农业监测、快递配送等领域。

智慧城市：在智慧城市中，非暴露空间定位技术广泛应用于交通管理、公共安全、智慧停车、环境监测等多个领域。通过集成高精度地图、实时交通数据、智能监控等系统，非暴露空间定位技术能够实现交通流量的精准监测与分析，优化交通信号控制，提高道路通行能力，减少交通拥堵。同时，该技术还能为公共安全领域提供精准的人员定位与追踪服务，提升应急响应速度和救援效率。

精准农业：在精准农业中，非暴露空间定位技术主要应用于农田环境监测、智能灌溉、精准施肥、农业机械自动驾驶等方面。通过集成无人机、地面传感器、卫星遥感等系统，非暴露空间定位技术能够实时监测农田的土壤湿度、温度、养分等参数，为农业生产提供精准的数据支持。同时，该技术还能根据农田的实际情况，制定智能灌溉和精准施肥方案，提高水肥利用效率，减少资源浪费。

地下轨道交通与矿井：这类环境对定位技术的要求极高，需要实现高精度、实时、可靠的定位，以保障人员安全、提高作业效率。例如，在矿井中，定位技术可以帮助监控人员位置，预防事故；在地铁中，则能优化乘客体验，提高运营效率。

大型商场与医院：这类环境对定位技术的需求更加多样化，包括导航、寻车、紧急疏散等。商场可以通过定位技术提供个性化购物体验，医院则可以利用定位技术优化医疗流程，提高服务质量。

写字楼与智能园区：这类环境对定位技术的需求主要集中在资产管理、人员调度等方面。通过定位技术，企业可以实时监控资产位置，优化资源配置，提高运营效率。

二、产业发展格局

技术路径多样化

非暴露空间定位技术结合了多种传感器与算法，包括但不限于：

超宽带（UWB）：基于脉冲信号传输，提供厘米级定位精度，适用于高价值资产跟踪和工业场景。

蓝牙与 Wi-Fi：成本低、普及率高，适合公共场所导航及零售场景。

地磁与视觉辅助定位：利用环境特征构建更稳定的室内导航网络。

应用场景广泛化：非暴露空间定位广泛应用于多个行业，包括零售、制造业、交通运输、医疗、公共服务和军事。

零售与商业：通过分析用户在购物中心的行为数据，优化商品布局 and 营销策略。

物流与工业：实时追踪工作人员与设备位置，改善安全管理并提升生产效率。

医疗与公共安全：实现急救资源的精准分配，支持人员调度与风险控制。

区域集群化显著：国内形成了以京津冀、长三角、粤港澳大湾区为核心的产业集群。2022 年，这些区域的卫星导航与位置服务产业总产值约 3778 亿元，占全国比重超 75%。在国家重大区域发展战略

引导下，产业集群在政策扶持、技术创新和市场推广方面表现出显著协同效应。

（二）国内外重点企业

截至 2024 年，我国卫星导航与位置服务领域的企事业单位总数量已增长至约 16000 家，相比 2022 年增长了约 14.3%。从业人员数量也显著增加，已超过 60 万人，显示出行业的蓬勃发展和对人才的强烈需求。

在上市公司方面，截至 2024 年底，境内上市的业内相关企业（含新三板）总数已达到 110 家，相比 2022 年底的 92 家增长了近 19.6%。这些上市公司涉及的卫星导航与位置服务相关产值占全国总体产值的比例也有所提升，达到了约 10.5%。

从全球市场竞争格局来看，CloudNav、Inpixon、PoleStar 等国外公司研发了多种非暴露空间定位方案，国内包括清华大学、北京邮电大学、大连理工大学、华中科技大学等在内的多个研究团队正在积极开展相关定位技术研究。就企业竞争情况而言，国内非暴露空间定位企业竞争格局相对分散，参与者大体可分为四大类型：地图先行者、技术服务商、硬件研发商、工业级室内定位专营商等。

表 1 国内外部分企业定位服务解决方案

国别	公司(解决方案)	主要技术	公布精度	主要应用
美国	Iway	WiFi/GSM/3G/4G	3m(均值)	室内服务
瑞典	Ericsson	WiFi/LTE	10~50m	物体追踪
英国	Meridian	BLE/WiFi	1~3m	室内导航
美国	Sensewhere	WiFi/BLE	10m	移动广告
日本	9Solutions	BLE/RFID	1m	健康/安保
美国	InvisiTrack	LTE	3m(单方向)	用户追踪
美国	Loctronix	GSM	15m	E911 急救
日本	NaeiFloor	RFID	50cm	机器人
美国	Motorola Solutions	IMU+RF+Map	<7 m(在线);<4m(离线)	军用/急救
美国	Qualcomm Atheros	WiFi+IMU	3~5m	芯片
瑞典	Pole Star	WiFi+BLE+IMU	5 m(均值)	机场
美国	Zebra	UWB	亚米级	物流
日本	My-bodyguard	Zigbee	房间级	物品追踪
德国	Trimble	伪卫星	厘米级至分米级	矿井
美国	Cricket	超声波	1~2cm	物品追踪
英国	ByteLight	LED	亚米级	商场
美国	SkyGazer	Camera	厘米级	机器人
新西兰	ALCONProCam	红外	0.1mm	工业车辆
芬兰	IndoorAtlas	磁场特征	1~2m	消费电子
中国	羲和北斗	TC-OFDM+ BDS	1~5m	消费电子
中国	千云地图	智能手机+地图	<3m	地下停车场

数据来源：互联网数据整理

CloudNav: CloudNav 是一家美国私营企业，总部位于加利福尼亚州圣何塞，正在解决音频、运动跟踪和定位方面的多个已知算法问题。其软件产品套件包括传感器融合、上下文感知、计步器、位置跟踪、室内导航/行人航位推算和可专利算法，以帮助校准传感器以实现世界一流的消费和工业电子产品。CloudNav 软件解决方案旨在轻

松集成到客户平台中。

DecaWave: 总部位于爱尔兰，其市场占有率高达 99%，用户遍布爱尔兰、中国、法国、韩国、美国、英国、俄罗斯等国家。目前 Decawave 的芯片已经在超过 500 万台设备上部署，受到全球 2500 多家企业的青睐，被广泛应用于工业、汽车、消费级应用等行业，为这些行业的高精度定位服务提供了保障。作为目前已知唯一支持 IEEE802.15.4 的 UWB 定位芯片厂商，DecaWave 提供低成本的芯片出售，零售价格在几美元。型号为 DW1000 的芯片，符合 IEEE802.15.4-2011UWB 标准协议（在理想条件下，最大可测量范围为 300m）。应用于政府大楼、高货值仓库、超级市场、大型制造车间、医院、敬老院、幼儿园、酒店、大型餐馆、娱乐场所、监狱、住宅小区、物流公司、博物馆、科研机构、实验室等人员和重要物资的定位监控。

Ubisense: Ubisense 公司成立于 2003 年 1 月，由来自剑桥大学的工程师队伍组成，实时定位系统领导者，提供高精度、可靠性的定位解决方案，适用于室内/室外环境。Ubisense UWB 的显著特点是精确可靠的实时定位，有源射频标签适用于室内/户外环境且高精度，可达到 15 厘米，基座设施可互相替换，具备高可靠性（两个感应器跟踪三维定位），为客户端提供成熟的软件平台。应用范围包括物流、工业、危险环境、医疗保健、军事等。其研发的 SmartSpace 平台通过在工具和物品上放置标签，并与传感器连接，从而实现实时定位及

工厂运作监控，并监测和控制计划外活动。Ubisense 目前已成功运用于主要汽车制造生产工厂。

恩智浦：UWB 重要的芯片供应商。在 2019 年 6 月的年度开发者大会上，恩智浦宣布推出 UWB 技术，旨在服务包括移动终端、汽车、物联网和工业等多个应用市场。恩智浦与大众合作，将 UWB 技术应用到汽车门锁。恩智浦的产品方案是以手环或手机为移动终端，采用蓝牙+UWB 双重控制，即 UWB 技术用于精准定位，蓝牙用于数据交换和认证，同时采用 NFC 作为备份保证，确保移动终端在没有电的情况下，仍然能打开车门。恩智浦 UWB 芯片在视距下其定位精度在 10 厘米之内，复杂环境下也有 1 米的精确度。

华大北斗：深圳华大北斗科技股份有限公司脱胎于中国电子信息产业集团有限公司（CEC）旗下导航芯片设计业务，是国家级高新技术企业、深圳市高新技术企业、中关村高新技术企业，也是深圳市政府 2016 年度重点引进的产业链薄弱环节企业，同时，孙家栋院士领衔的院士（专家）工作站以及广东省北斗卫星导航和定位技术工程技术研究中心也落户在此。华大北斗专注从事导航定位芯片、算法及产品的自主设计、研发、销售及相关业务。目标面向民用消费类电子市场和国家命脉行业、汽车领域、物联网领域等专用终端市场，提供芯片及应用解决方案。华大北斗针对行业应用的不同需求，重点围绕共享单车、车载应用、无人机、智能终端、高精度等应用，规划了完整的芯片产品线。同时根据不同的应用需求，设计了多款可以和市面上

其它主流 GNSS 模组管脚兼容的标准精度、高精度、惯导模组。公司开发了北斗芯片开放平台，该平台基于其自主研发的 Cynosure III 北斗三号信号体制多系统多频高精度系列 GNSS 芯片，面向核心算法研发，开放芯片原始测量数据；面向应用集成研发，开放芯片内核接口资源。为产业链上分散的算法研发和应用集成研发团队提供芯片硬件和技术支持，在共同打造“核心硬件”+“核心算法”的国产北斗导航定位芯片“双核心”研发和产品架构的同时，使产业链企业有条件根据自身需求，针对芯片资源进行应用功能的二次开发，使芯片的综合能力得到再一次提升。

全图通：全图通位置网络有限公司成立于 2016 年 4 月，以北斗地基增强系统全国一张网为基础，将卫星遥感技术、通信技术、物联网技术、大数据云服务等技术有效融合，构建高精度位置服务平台，提供米级、亚米级、厘米级的高精准位置服务，以满足国家、行业、公众对精准位置服务的需求。公司提供基于高精度定位的智能设备软硬件的解决方案，面向用户，不仅提供包含芯片、模块、终端生产的硬件装备，也提供包含 SDK、OS 改造的软件方案，并在开发过程中提供技术支持服务。适用于测绘、交通、农业以及大众穿戴设备、车载电子等领域，并且支持定制服务，灵活提供符合用户需求的解决方案。综合运用蓝牙、wifi、UWB 等技术，实现室内高精度定位，结合卫星定位技术，提供室内外一体化定位，为智慧工地、智慧工厂、石油石化等领域提供技术支持。

千寻位置：千寻位置网络有限公司是全球领先的精准位置服务公

司，公司基于北斗卫星系统（兼容 GPS、GLONASS、Galileo）基础定位数据，利用遍及全国的超过 2000 个地基增强站及自主研发的定位算法，通过互联网技术进行大数据运算，为遍布全国的用户提供精准定位及延展服务，是 IoT 时代重要的基础设施之一。公司成立于 2015 年 8 月，由中国兵器工业集团和阿里巴巴集团共同发起成立。2017 年 10 月 11 日，千寻位置发布了三大解决方案，在业内首次将产业级市场上应用的高精准定位服务全面引入消费级市场。这将在未来 3 年，带来上亿终端定位能力的升级，人们日常使用的手机、单车、可穿戴设备等各类终端将可全面获得 3 秒完成初始定位，定位精度高达 1 米的强大能力。

精彩旅图：一家国际领先的高科技导航及信息技术位置服务公司，也是一家服务于中国的专注 3D 数字孪生世界的人工智能公司，为运营商、系统集成商、行业解决方案商、项目方提供覆盖全行业、多领域的高质量数字技术服务。通过多年技术深耕，精彩旅图开发和拥有了全球仅 5 家企业才有的 3D 拓扑 GIS 地图平台、先进算法的导航软件引擎等技术，开发了三维模型处理等多个工具库，以及全球地标模型等多个资源库，拥有全球 232 个国家和地区的精准全面的地图和导航地图数据。目前，精彩旅图有以 GIS 沉浸式地图、工业元宇宙及 VR MR 虚拟培训三大产品体系为代表的众多受行业高度认可的产品。其中全球 3D 沉浸式地图更是全球首个推出，远早于同行业其他公司的 3D 沉浸式地图。

四维图新：四维图新（NavInfo）是中国领先的导航地图与位置

服务提供商，专注于高精度地图、自动驾驶、智能交通和位置大数据领域。公司通过自主研发，提供覆盖汽车、智能设备、无人驾驶和智慧城市的综合解决方案。其高精度地图技术支持自动驾驶与车联网应用，结合大数据分析和智能交通管理，为用户和企业提升出行效率与运营决策能力。四维图新在自动驾驶地图与智能交通系统方面具有行业领先的技术优势，助力未来智慧出行的发展。

长地万方：北京长地万方科技有限公司是一家致力于高精度定位与空间信息技术的创新企业，专注于提供基于先进技术的智能解决方案。公司拥有强大的研发能力，涵盖高精度定位、空间数字化平台、三维建模、传感器数据融合等多个领域。凭借自主研发的核心技术和完善的产品体系，长地万方科技在智能交通、智慧城市、工业自动化等多个行业中具有广泛的应用。公司秉承创新、协作和持续发展的理念，致力于为客户提供高效、安全的技术服务，推动行业技术进步与应用落地。

Autodesk：成立于 1982 年，总部位于美国，是全球领先的设计软件公司，致力于为建筑、工程、制造、媒体和娱乐等多个行业提供创新的解决方案。Autodesk 的 Revit 和 AutoCAD 是业内最为知名的三维建模软件，前者专注于建筑信息建模（BIM），允许用户在同一模型中进行设计、分析和施工，极大提升了建筑设计的效率和准确性；而 AutoCAD 则是广泛应用于二维和三维设计的基础工具，具备强大的绘图和建模功能。Autodesk 在全球拥有数百万用户，其软件解决方案帮助设计师和工程师优化设计流程，提升工作效率。此外，Autodesk

积极推动云计算技术的应用，通过 Autodesk Construction Cloud 提供集成化的项目管理和协作平台，进一步促进了行业数字化转型。

Esri: 成立于 1969 年，总部位于美国加州，Esri (Environmental Systems Research Institute) 是地理信息系统 (GIS) 领域的领军企业，以其创新的技术和解决方案而闻名。Esri 的 ArcGIS 平台是行业内最强大的 GIS 工具之一，提供丰富的三维数据分析和可视化功能，支持用户进行空间数据的获取、管理和分析。ArcGIS Pro 是其主要的桌面 GIS 软件，具有强大的三维建模和分析能力，广泛应用于城市规划、环境监测、交通管理等多个领域。Esri 的解决方案不仅帮助政府和企业更好地理解和管理空间数据，还积极推动开放数据和共享平台的建设，促进了公共数据的可视化和利用，推动了社会各界对地理信息技术的广泛应用。

Bentley Systems: 成立于 1984 年，总部位于美国，Bentley Systems 是一家专注于基础设施工程软件的公司，致力于为全球工程师和设计师提供高效的工具和解决方案。其 MicroStation 软件是行业内领先的三维建模和设计工具，广泛应用于建筑、土木工程和设施管理等领域。此外，Bentley 还提供 ProjectWise 和 AssetWise 等解决方案，支持项目协作和资产管理，提升了项目的透明度和效率。Bentley Systems 在全球基础设施建设中发挥着重要作用，通过其强大的软件和服务，帮助工程师和设计师实现高效的项目管理和设计优化。公司还积极参与智慧城市建设，致力于为城市管理提供数字化解决方案，推动基础设施的可持续发展。

Trimble: 成立于 1978 年，总部位于美国，Trimble 是一家专注于定位技术和三维数据解决方案的公司，致力于通过创新技术推动各行业的数字化转型。Trimble 提供多种三维数据获取和处理解决方案，包括激光扫描、摄影测量和建筑信息建模（BIM），其 SketchUp 软件在建筑设计和可视化方面广受欢迎，因其用户友好的界面和强大的功能，成为建筑师和设计师的首选工具。Trimble 的技术在建筑、农业、运输和矿业等多个行业中得到了广泛应用，推动了行业的数字化转型。公司通过收购多家初创企业，不断增强其技术能力和市场竞争力，确保在快速发展的市场中保持领先地位。

超图软件（SuperMap）: 成立于 1997 年，总部位于中国北京，超图软件专注于 GIS 软件的研发和应用，致力于为用户提供高效的地理信息解决方案。超图的 SuperMap GIS 平台支持三维地理信息的可视化和分析，能够处理大规模的三维数据，适用于城市规划、交通管理和公共安全等多个领域。超图软件在国内外多个重大项目中应用其三维 GIS 解决方案，推动了地理信息技术的创新与发展。公司通过持续的技术研发和市场拓展，积极参与智慧城市建设，助力社会的可持续发展，成为行业内的重要参与者。

三、非暴露空间产业技术创新进展

（一）定位技术发展动态

1、UWB 室内定位技术

北斗定位技术，作为中国自主研发的全球卫星导航系统，已经实现了从区域到全球的覆盖，并在全球范围内提供服务。而高精度室内定位技术能提供更加连续和无缝的定位服务，如何利用超宽带（Ultra Wide Band,UWB）定位技术在室内复杂环境下高精度定位，是当前室内定位研究领域发展的一个重要方向。它的优势为精度高，抗干扰能力强，受电磁干扰影响小，在视距情况下性能优越。

UWB 定位技术利用纳秒级极窄脉冲的无线通信技术，具有实现厘米级的高精度定位能力。作为一种新兴的室内定位解决方案，与传统的 Wi-Fi、蓝牙等室内定位技术相比，UWB 定位技术在定位精度和抗干扰能力方面具有显著优势。UWB 定位技术通常利用到达时间、到达时间差、到达角度等几何定位算法作为测距依据。尽管 UWB 信号在视距（Line of Sight,LOS）情况下传输能取得很好的定位性能，但在非视距（Non-Line of Sight,NLOS）情况下，数据传输过程中信号衰减对定位精度也会产生强烈影响。

为应对室内定位中信号干扰、多径效应导致的数据质量差与定位精度低等问题，创新性地提出 AKF-AM-Bi-GRU 优化的 UWB 定位方法。该方法通过在多个标签的 LOS 和 NLOS 环境下开展实验验证，借助自适应卡尔曼滤波（AKF）处理原始数据，有效降低定位误差，准确识别并抑制 NLOS 下的定位误差及异常值。在此基础上，运用 AM-Bi-GRU 优化距离值数据，最后以标准差调整加权因子的最小二乘法进行坐标最优估计解算。实验结果表明，AKF-AM-Bi-GRU 在

LOS 和 NLOS 环境下均展现出最高定位精度，为 UWB 室内定位技术在复杂环境下实现高精度、高鲁棒性定位提供了有效解决方案，推动室内定位技术不断发展进步，有望在众多室内场景中实现更加精准、连续和无缝的定位服务，满足日益增长的室内定位需求，提升室内空间位置信息服务的质量与可靠性。

2、基于 5G 融合的室内定位技术

随着室内定位需求的不断增长，基于 5G 网络特性的定位技术应运而生，通过融合不同定位技术，为实现高精度、低延迟、稳定可靠的室内定位提供了创新解决方案。

（1）5G UTDOA 与 V SLAM 融合技术

这一技术方向创新性地将 5G UTDOA 定位技术与 V SLAM 技术相结合，充分利用两者的优势，实现亚米级的室内定位精度。5G UTDOA (Uplink Time Difference of Arrival) 定位技术通过多个 5G 基站测量用户终端发送的上行参考信号的到达时差，利用多基站协同计算精确定用户终端的位置。这一技术依托 5G 网络的高密度基站布局和低延迟通信特性，能够提供稳定的基础定位能力，尤其适用于广域室内场景。V SLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping) 技术通过实时采集图像和点云数据，与预先构建的地图匹配计算，获取精确的位置信息。它在小范围内具有极高的定位精度，但传统 V SLAM 技术容易受到场景复杂度（如遮挡、多路径）影响，导致位置丢失或识别错误。通过融合，5G 网络为 V SLAM 提供稳定的通信支持和初步位置范围圈定，使其能够在更小的范围内开展精确的视觉定

位。V SLAM 技术则进一步提升了 5G UTDOA 的定位精度，克服了 UTDOA 在复杂环境下的精度不足问题。两者的协同优化显著增强了系统的鲁棒性和动态环境适应性，特别适合智能制造、智慧物流和智能家居等高动态场景。

（2）基于 5G 蜂窝网络的载波相位高精度定位技术

另一技术方向是利用 5G 蜂窝网络的载波相位信息，实现高精度定位。该技术通过测量 5G 信号的载波相位并结合差分算法（如 RTK, Real-Time Kinematic）进行定位计算，能够在复杂环境中实现厘米级精度。载波相位定位技术的核心在于测量信号载波的相位变化，结合多基站协同的差分计算，获得用户终端的精确位置。与传统的到达时间测量方法相比，载波相位信息的波长更短，因此定位精度更高。同时，通过差分技术消除了信号传播中的系统性误差（如多径效应和大气延迟），进一步提升了定位的稳定性。载波相位定位技术依托 5G 网络的高频段信号和超密集网络架构，特别适合复杂室内环境中的高精度定位需求。这一技术广泛适用于高精度需求的室内场景，例如自动驾驶、工业机器人定位、智慧城市管理等领域，为室内定位提供了更高效、稳定的解决方案，在未来室内定位市场中展现出广阔的应用前景与巨大的发展潜力。

3、UHF RFID 定位技术

在室内定位技术领域，UHF RFID 定位技术凭借其独特的技术特性和创新应用方式，展现出卓越的发展潜力与创新价值。

UHF RFID 作为 RFID 技术的一种变体，工作于更高频率范围，

由被动式标签和阅读器两大关键组件构成。标签在无额外电源时，借助接收阅读器电磁场能量实现通信，其内部天线与电路在接收到信号后能按指令处理并反馈信息。基于此技术架构，在室内定位应用中，它与传统方法相比具有显著优势。其出色的穿透性能可有效应对室内墙壁、地板等障碍物，降低环境对定位精度的干扰，提升识别效率，实现远距离通信，为室内定位提供了更为稳定可靠的信号传输基础。通过对标签读取器接收到的回复信号进行处理，能够提取超高频信号相位信息，进而计算不同载波信号源间的相位差，并将其转化为欧式距离数据以获取更精准定位结果，成功解决了相位差超波长导致的相位模糊问题，大幅提高了无源超高频定位的精度与可靠性，在复杂信道传播环境下仍能保持良好定位效果。

经过大量实验验证，基于 UHF RFID 技术的室内定位方法在准确性和可靠性方面表现突出，能有效克服传统室内定位方法在多路径干扰下定位结果易受影响的难题，为高精度、可靠的室内定位提供了切实可行的解决方案，在众多室内定位需求场景中展现出广阔的应用前景，有望推动室内定位技术在实际应用中的进一步发展，为各类室内定位相关行业提供更优质、高效的定位服务支撑，助力行业数字化转型与智能化升级进程。

4、室内视觉定位技术

相较于传统的室内定位方法，室内视觉定位技术具有独特的优势。首先，室内视觉定位技术不依赖于 GPS 或其他外部设备，这意味着在室内环境中，用户和设备在定位时不受信号覆盖或多径干扰的影响。

这对于在建筑物内部、地下停车场、医院等场所的定位工作来说至关重要。其次，室内视觉定位技术具有广泛的应用前景。除了用于导航，它还可以用于室内环境的三维建模、虚拟现实的增强和室内监控等领域。这一技术的普及将极大地推动智能化和自动化系统的发展。因此，利用图像数据进行室内定位已成为解决室内定位和导航问题的重要研究方向之一。

由于室内环境的复杂性，图像可能会受到多种因素的影响而失真，其中最常见的是图像模糊。为解决室内视觉定位中由于图像模糊所带来的挑战，基于模糊图像的室内视觉定位系统应运而生。该方法创新性地实现了图像去模糊、图像检索与室内定位 3 个领域的结合，不仅可以提高室内定位的精度和效率，还可以为室内环境监控、安防监控等方面提供更全面的数据支持，在推动室内智能化发展、拓展应用领域等方面具有重要意义，对于提升用户体验、推动智能家庭建设具有积极的促进作用。

5、光导航技术

在非暴露空间中，传统的卫星导航系统如 GPS 和北斗因信号屏蔽和多路径效应而性能下降，光导航技术则提供了有效的解决方案。光导航技术，特别是可见光室内定位技术（Visible Light Indoor Positioning, VLIP），以其无电磁辐射、成本低、精度高、安全性强、不易受电磁干扰等优势，成为室内定位技术中的新星。

光导航技术的发展动态体现在多个方面。首先，技术上的突破使得光导航系统能够实现高精度定位。例如，基于可见光通信（VLC）

的室内定位技术，通过利用 LED 光源进行信号传输，结合几何测距定位技术和指纹定位技术，如 TOA (Time of Arrival)、TDOA (Time Difference of Arrival)、AOA (Angle of Arrival) 和 RSSI (Received Signal Strength Indication)，实现了对目标的精确定位。这些技术通过测量光信号的到达时间、时间差、到达角度或信号强度，提供了厘米级别的定位精度。

其次，光导航技术的应用案例不断丰富。在商业零售领域，光导航技术能够提供顾客流量分析和商品定位服务；在物流仓储领域，它能够提高货物的追踪效率；在医疗健康领域，光导航技术能够辅助医护人员快速定位医疗设备和紧急响应。此外，光导航技术也被应用于智能交通系统，如自动驾驶车辆的室内导航，以及工业自动化领域，如机器人的精确定位和路径规划。光导航技术的另一个发展趋势是与物联网 (IoT) 的深度融合。通过可见光通信技术，光导航系统不仅能够提供定位服务，还能够实现数据传输和网络连接，推动物联网设备的智慧化和互联互通。

在系统实现方面，光导航技术的研究不断深入。例如，通过设计无闪烁线路编码方案和轻量级图像处理算法，降低了定位时延，同时具有抑制调制闪烁和支持多级调光的优点。这些研究成果不仅提高了光导航系统的实用性，也为其在更广泛领域的应用奠定了基础。

6、地磁导航技术

地磁定位技术主要由定位终端、传输网络以及服务端软件三部分组成，部署成本低，部署方式简易，不受电磁干扰影响。定位终

端负责采集地磁场数据，这些数据通过 4G 网络上传至本地的定位服务器进行位置解算。若工作区域内无线网络覆盖不佳，数据可暂存于终端，待进入网络覆盖区域后自动上传。定位服务器负责计算人员位置，并将时间、终端 ID 和位置数据发送至平台服务器。平台服务器则负责处理与位置数据相关的显示、跟踪、分析等操作。

无论是飞行器、地面车辆，还是水下潜航器，都可以采用地磁定位技术进行导航或定位跟踪。特别是在建筑等封闭空间内，地磁场与人工铁磁性材料的相互作用，使得磁场空间差异的分辨率高达 10cm，为室内位置测量提供了天然的坐标系。

目前，地磁定位市场上的商家并不多，其中北京麦钉艾特科技有限公司是较为活跃的一家；另外，芬兰的 IndoorAtlas 公司目前利用磁场进行定位，导航精度可达 0.1 至 2 米。此外，地磁导航技术也被应用于地下和水下等卫星信号接收受限的场景，展现出广泛的应用前景。技术的进步不仅提高了定位精度，还增强了系统的抗干扰能力，使其能够在复杂多变的环境中稳定工作。随着地磁场模型的不断完善和传感器技术的进步，地磁导航技术的应用范围将进一步扩大，为室内定位提供更加可靠的技术支持。

在应用方面，地磁导航技术因其低成本、高精度和高安全性的特点，在商业、公共安全、应急救援等领域展现出巨大潜力。例如，在大型购物中心、机场、车站等人流密集的室内环境，地磁导航技术能够提供精确的室内导航服务，改善用户体验。在应急救援领域，地磁导航技术能够协助救援人员在复杂环境中快速定位受灾人员，提高救

援效率。随着技术的进一步发展，预计地磁导航技术将在智慧城市建设、智能交通系统以及个人导航设备中发挥更加关键的作用，为人们的日常生活和专业领域提供更加精准的定位服务。

7、全景导航技术

全景导航技术通过整合多个摄像头捕捉的图像数据，利用先进的图像处理算法将这些分散的视角拼接成一个无缝的 360 度全景视图，为用户提供了一个全方位的视角，从而在室内或半室内环境中实现精确导航。全景导航技术的工作原理基于数据采集、图像拼接和图像校正等多个环节。在数据采集阶段，通过选择适合的摄像头，如鱼镜头或普通镜头，静态或动态地采集环境图像。随后，在图像拼接算法的帮助下，通过特征点匹配和几何变换实现图像间的精确对齐，再经过透视校正和亮度校正，最终实现图像的无缝拼接。

随着技术的发展，全景导航技术已经从最初的概念验证阶段，发展到了多个垂直行业的实际应用，其发展动态显示了其在智慧博物馆、智慧医院、智慧园区等多个领域的应用潜力。例如，在中国目前规模最大的室内空间导航定位系统——地铁北斗定位系统中，全景导航技术结合室内外定位技术，通过 5G 融合定位基站实现高精度的室内定位。此外，全景导航技术在商业领域的应用也在不断拓展，如在线逛街、虚拟旅游等，为用户提供了沉浸式体验的同时，也为商家聚集客流、渠道变现提供了新的可能性。

8、伪卫星技术

在全球导航卫星系统（GNSS）无法提供有效服务的非暴露空间，

如室内、隧道和城市峡谷等复杂环境下，伪卫星技术提供了一种有效的导航定位解决方案。伪卫星技术的核心在于模拟 GNSS 卫星信号，通过在地面部署的发射器生成与 GNSS 类似的信号，以在 GNSS 拒止环境中为用户提供连续的位置和速度信息。发射器通常设计为单频，以简化结构和降低成本，主要有简单式、脉冲式或同步式等不同类型，以适应不同的应用场景和需求。

伪卫星系统的工作原理基于 GNSS 相对定位中的“双差”方法，通过地面基站模拟卫星信号，与用户的 GNSS 接收机进行通信，从而实现定位。由于其高度角很低，信号不需要通过电离层，这使得伪卫星系统能够有效改善几何图形结构，提高垂直方向的定位精度。系统主要由四部分组成：伪卫星基站、伪卫星监测站、伪卫星信号网络运行管理系统和相应的伪卫星用户接收机。该系统可以理解为将导航卫星固定在地面上，利用组网伪卫星基站的坐标预先精确测量，并在导航信息中广播。伪卫星系统不仅可以在复杂环境中增强 GNSS 系统，还可以在 GNSS 拒止环境下提供独立的导航定位服务。

伪卫星技术的发展动态显示，它在自动驾驶、室内导航、自动机器人等领域具有重要的应用前景。例如，在室内导航中，该技术可以提供精确的定位服务，帮助用户在大型商场、交通枢纽、医院等公共室内场所实现人流监测和路径优化。在智能交通系统中，伪卫星技术可以用于车辆导航、交通监控和自动驾驶等应用，通过整合 GNSS、惯性导航和地图匹配技术，实现更高精度的车辆定位。此外，伪卫星技术还可以应用于隧道、地下建筑等 GNSS 信号难以覆盖的场所，提

供独立的导航定位服务，展现出其在非暴露空间定位领域的重要价值和广阔应用空间。

9、激光点云的实际应用

激光雷达技术在 3D 建模领域展现了卓越的应用价值，特别是在文化遗产保护和修复中发挥了重要作用。在 2019 年巴黎圣母院的大火中，这座世界著名的哥特式建筑遭受了严重损毁。然而，得益于火灾前通过激光雷达技术所进行的详细数字扫描与 3D 建模，修复工作得以精准开展。激光雷达技术通过发射激光脉冲并接收反射信号，生成大量高精度的点云数据。这些数据经过复杂的算法处理，转化为三维模型，精确还原建筑的形态和结构。在巴黎圣母院修复项目中，研究人员结合灾前的详细激光扫描数据与最新的现场采集信息，通过建筑信息建模（BIM）技术和云计算工具，生成了一个高度精细的 3D 模型。该模型包含超过 12,000 个建筑对象、30,000 平方米的石墙、3,900 平方米的铅制屋顶及 186 个拱顶，能够细致地展现每一块石材和每一个装饰细节。这项技术的应用不仅让专家全面了解火灾对巴黎圣母院造成的损毁，还为制定科学的修复方案提供了关键依据。通过与 Autodesk 等公司的合作，以及 Art Graphique & Patrimoine（AGP）团队先前捕获的大量激光扫描数据，修复团队成功复现了巴黎圣母院的历史面貌。激光雷达技术结合现代 3D 建模工具，使这一建筑修复工程成为文化遗产保护领域的里程碑，充分展现了 3D 建模技术在历史建筑复原中的巨大潜力。

（二）全时程服务要素构建关键技术

1、乘客画像分析技术

在城市轨道交通领域，乘客画像分析技术正处于持续创新与深度发展的进程中，对运营管理和服务水平的提升发挥着日益关键的作用。一方面，技术发展体现在对乘客出行特征的精准把握与多源数据的深度融合。通过对自动售检票（AFC）、地铁 APP 及土地等数据的综合分析，挖掘出通勤、休闲娱乐等不同类型乘客的出行时空规律，构建起高度贴合实际的乘客画像指标体系。基于此，不仅能为乘客提供全出行链诱导服务，如进站前的出行方案规划、行程中的车厢拥挤度及娱乐广告推送、出站后的交通接驳与周边商家信息，还能助力轨道交通管理者精准优化列车运行与车站资源配置。根据乘客画像优化列车交路、停站间隔，及时调整运力投放，并结合车站商业布局设置广告，实现运营效率与经济效益的双重提升。另一方面，在应用创新层面，地铁乘客画像分析技术成果显著。其核心标签化建模方式，将乘客信息转化为标签化模型，为精细化运营管理提供坚实数据基础，有力支持运营决策。尤其在客流预测方面，引入乘客个体出行特征，如返程客流等因素，大幅提高了预测精度，有效改善乘客出行体验，推动车站运营管理水平提升。随着移动支付乘车数据等更多元数据的广泛应用以及技术的不断进步，乘客画像分析技术将在城市轨道交通领域持续深化应用，引领行业迈向更智能、高效、个性化的发展新阶段，为打造智慧运输服务管理体系、实现“出行即服务”愿景提供不可或缺的支撑。

2、乘客全时程出行交互服务技术

车站拥挤度查询关键技术

车站拥挤度查询的技术进步主要体现在实时客流预测、智能引导和优化资源配置等方面。利用大数据分析和机器学习算法，地铁运营单位能够对客流进行实时预测，为运营调度提供科学依据。通过对历史数据的分析，预测未来一段时间内的客流情况，有效缓解高峰期地铁拥挤现象，提升城市公共交通的运营效率和服务质量。

进一步地，智能算法在地铁拥挤缓解中的应用也取得了突破。实时客流预测技术的发展，使得运营单位能够根据客流高峰期和低谷期调整设备维护周期和能源消耗，优化资源配置。此外，智能引导系统的实施，通过在站台和车厢内发布拥挤度信息，引导乘客选择相对宽松的车厢，均衡分布客流，提升出行舒适度。例如，深圳地铁自主研发的车厢拥挤度智能显示系统，通过实时采集列车载重、列车位置信息，动态显示列车各车厢的载客拥挤情况，帮助乘客更舒适地搭乘地铁，进一步提升客流安全。北京地铁技术创新研究院下一代地铁实验室也展示了未来智慧车站的模拟环境，通过智能感知装备自动统计车站各个区域的乘客数，在客流高峰期提醒车站工作人员注意，避免拥挤踩踏。这些技术的融合不仅提高了乘客出行的舒适度，也为运营管理提供了决策支持，降低了大客流集中的风险，提升了轨道交通的安全运营管理水平。

列车车厢拥挤度查询关键技术

随着城市轨道交通的快速发展，对列车拥挤度的实时监控和查询需求日益增长。技术的发展主要集中在利用大数据和人工智能算法对列车拥挤度进行实时分析和预测。通过集成先进的视频监控系统和车载传感器，系统能够实时采集车厢内的乘客人数和位置信息，进而计算出车厢的拥挤程度。此外，通过云平台的数据处理和无线传输，列车运行数据得以动态反馈，实现了对列车载客运营情况的实时监控。这些技术的融合不仅提高了乘客出行的舒适度，也为运营管理提供了决策支持，降低了大客流集中的风险，提升了轨道交通的安全运营管理水平。

进一步地，在客流密度分析技术的应用上也迎来了一系列创新，通过视频分析服务器实时分析车厢内乘客人数和位置，利用人群密度算法计算出车厢不同区域的客流密集程度。系统通过以太网通讯，在列车每站到站关闭车门后，视频分析服务器接收列车控制与管理系统的关门信号，对各车厢的监控视频进行乘客密度分析，并上报车载客流密度级别数据至地面 PIS 服务器，实现密度数据在站台信息显示屏上的发布显示。此外，车厢拥挤度智能监测系统通过人工智能、大数据分析等技术，实时分析各线路列车的车厢乘客分布状态，计算出每节车厢的拥挤度数据，并通过 PIS 系统和官方 APP 进行集成显示。这些技术的实施，不仅提升了乘客的出行体验，也为地铁运营提供了精细化管理的手段，确保了运营安全和服务质量。

（三）非暴露空间复杂环境高精度快速空间数字化技术

在超大规模城市轨道交通系统中，为解决信息来源多样性、覆盖范围复杂性及采集与传递效率低的问题，基于北斗的时间和空间基准被引入，通过融合多种传感器技术，实现复杂环境内高精度、快速的空间数字化。核心技术包括实时梳理、归纳、判断数据并统一引入三维数字化平台，通过多维度描述提升数据的丰富性，为未来智慧地铁的智能化决策提供技术支持。这一体系突破了传统数据采集和处理的瓶颈，显著提高了地铁空间信息的精确性和可靠性。

基于轨道先验信息约束的空间数据匹配技术

针对城市轨道交通复杂环境下的非暴露空间（如地铁隧道、站台等），提出了非暴露空间 SLAM/CORS/INS/LiDAR/DMI 综合感知模式，结合轨道先验信息，突破了复杂环境中高精度空间定位和数据匹配效率低的难题。通过将 SLAM、北斗 CORS、惯性导航（INS）、激光雷达（LiDAR）和里程计（DMI）结合，建立绝对与相对定位的组合技术，从而提升了定位精度。

此外，针对隧道区间特性，提出了一维线性地理特征匹配技术，通过轨道宽度、激光入射角等约束条件优化点云数据分割和匹配效率。室内外统一的时空基准精度达到了 $\leq 10\text{mm}$ ，确保了复杂非暴露空间内的定位与数据一致性。

轨道交通先验隧道轨道约束的一维线性地理特征匹配技术

为了实现复杂隧道环境中的轨道中心线动态基准体系，该技术利用车载移动激光扫描系统提取轨道激光点云。通过轨道宽度、激光入射角度等约束条件，快速分割路基及轨道点云，并基于平行直线模型

和线性采样一致性算法（RANSAC）提取轨道中心线，进而建立动态基准体系，并与国家 CGCS2000 坐标系对接。

在隧道出口和远端（500 米范围内），对采集数据进行动态基准核校，结合平滑滤波算法，优化导航精度。实验结果表明，优化后导航精度显著提高，室内外时空基准精度 $\leq 10\text{mm}$ ，为隧道环境的精准导航提供了支撑。

基于轨道先验信息约束的空间数据匹配技术

针对城市轨道交通复杂环境下的非暴露空间（如地铁隧道、站台等），提出了非暴露空间 SLAM/CORS/INS/LiDAR/DMI 综合感知模式，结合轨道先验信息，突破了复杂环境中高精度空间定位和数据匹配效率低的难题。通过将 SLAM、北斗 CORS、惯性导航（INS）、激光雷达（LiDAR）和里程计（DMI）结合，建立绝对与相对定位的组合技术，从而提升了定位精度。

此外，针对隧道区间特性，提出了一维线性地理特征匹配技术，通过轨道宽度、激光入射角等约束条件优化点云数据分割和匹配效率。室内外统一的时空基准精度达到了 $\leq 10\text{mm}$ ，确保了复杂非暴露空间内的定位与数据一致性。

主成分分析（PCA）与 ICP 相结合的视觉匹配算法

利用 SLAM/BDS CORS/INS/LiDAR/DMI 组合感知模式，提出了 PCA 与 ICP 融合的视觉匹配算法，实现了三维点云高精度配准和非暴露空间的基准传递。通过光流法和改进的 PL-VIO 算法优化视觉惯性导航（VINS-Fusion）的状态估计，增强复杂环境下的鲁棒性。在地铁站

厅和站台中，利用多传感器融合实时感知设备动态变化，确保数据同步性和可靠性，并实现了点云的 360° 动态采集和基准建设。

在数据处理方面，结合 PCA 与 ICP 算法，通过主成分分析优化点云匹配初始位置，再利用 ICP 算法进行精配准。该算法有效解决了传统 ICP 易陷入局部最优和计算效率低的问题，大幅提高了点云匹配精度和速度，从而为复杂环境下的高精度三维感知提供了技术保障。

点云空间基准框架约束的 BIM/GIS 融合算法

该算法提出在复杂环境下，通过激光点云与 SLAM 影像结合的方式，提取环境特征点并构建室内外一体化动态基准。通过统一 BIM/GIS 时空基准，整合不同数据源，优化数据融合过程，实现了高精度、快速的三维建模和数据管理。

具体步骤包括从复杂环境中提取关键特征点，利用自适应算法实现点云和影像数据的三维自动拼接，同时对原点坐标进行校正与清洗，确保数据的一致性。此外，引入 TIN 方法对空间实体进行构建，突破传统 GIS 建模维度限制，显著提升了建模精度与效率。

海量 BIM/GIS 异构数据的矢量与影像压缩技术

为了应对轨道交通中海量异构数据的存储和传输压力，提出了基于点云空间基准的矢量与影像压缩技术。通过分块矢量数据和小波变换影像数据，降低存储与传输成本，同时保持数据质量。这一技术实现了异构 BIM/GIS 数据的高效转换与展示，统一了地铁非暴露空间的数据标准，显著提升了数据共享和应用能力。

（四）轨道交通无人化客服

随着城市轨道交通的发展，乘客对便捷化、智能化服务的需求日益增强。基于这一趋势，我们研发了一套集前沿技术与多功能性于一体的无人化智慧客服系统，旨在解决信息发布单一、实时服务信息不足等痛点，为乘客提供全时程、全场景的智能服务体验。

系统概述

智慧客服系统是首都智慧地铁“1+4”核心业务之一，依托大数据分析、人工智能、语音识别、语义理解等技术，构建了集中心与现场双管理、线上线下双驱动的新型服务模式。系统实现了多元化、全维度、全时程的服务目标，涵盖路径规划、票务处理、智能召援、紧急响应等功能，为轨道交通领域树立了无人化客服服务的标杆。

车站客服机器人

车站客服机器人是智慧客服系统的重要组成部分，通过深度学习技术和高精度定位，提供语音交互、实时路径规划、线路拥挤度查询等核心服务。乘客通过语音或文字即可与机器人互动，获取天气信息、地铁公告、线路规划及站内导航等服务。在紧急情况下，机器人还能发布应急信息，引导客流，保障乘客安全。此外，机器人支持二维码扫描功能，乘客可借此与后台客服团队进行文字或语音交流，为医疗急救、事故响应等突发情况提供即时支持。

一体化综合服务台

一体化综合服务台整合了传统票务设备（如自助售票机、自助补票机）与问询设备功能，构建了高度集中化的自助服务平台。

票务功能：集成售票、补票、查询服务，满足付费区与非付费区乘客的需求，同时预留了人脸识别、身份证读卡模块，为后续刷脸支付和实名制注册提供技术支持。

问询功能：通过综合信息查询和可视化召援系统，乘客可获得站点信息、运营公告等服务，进一步提升了问询效率。

四、非暴露空间产业应用场景

（一）日常场景应用

（1）**购物中心与商场导航：**购物中心、博物馆等公共场所提供导航服务。通过在购物中心内部署定位传感器和网络，可以实时跟踪用户的动态位置，并为其提供个性化的路径规划。不仅可以引导用户找到商店和餐厅，还能够根据用户的偏好推荐相关的商品、促销活动或店铺信息，提升购物过程的便捷性和体验感。此外，还能在用户接近洗手间、电梯或停车场等设施时提供自动化的提示，减少寻找和排队的时间。

（2）**大型单体建筑：**对于大型机场、体育馆类大型单体建筑，其通常具有复杂的空间布局，人流量巨大，用户可能面临迷路、寻找特定设施困难等问题，且手机信号易受干扰。通过部署定位传感器和联网设备，可为日常运营和特殊活动期间缓解人流管理的压力，优化用户出行体验，为整体环境带来更高的智能化和便捷性。例如，在机场内，借助非暴露空间定位技术，乘客可快速找到登机口、行李提取点、休息区等位置，并在候机期间时间临近时接受推送提醒，减少因

迷路或耽搁造成的延误。在体育馆中，导航服务可引导观众找到座位、卫生间、食品摊位等设施，特别是在大型赛事期间，高效的导航服务能够减少人流拥堵，提升体验。

（3）会议展演等大型活动：在展览馆或会议中心，参会者可以通过智能手机应用或其他设备，实时获取展位、会议室或其他重要设施的位置，并获得最佳路线引导。展品、会议内容、讲座等信息可以实时更新和展示，参会者可以根据自身需求选择感兴趣的内容进行快速导航。通过对不同展位、讲座和设施设置电子围栏，为参会者提供有针对性的语音提示和解说，极大地提升了活动的智能化体验。

（4）地下停车场导航：在大型地下停车场等地下密闭空间中，传统的寻车方式耗时费力，常导致车主在寻找车辆时的困扰。借助非暴露空间定位技术，通过在停车场内布置定位传感器，实时跟踪车位占用情况和车主位置，车主可以通过智能手机应用实时获取停车场内空闲车位的信息，精准导航到自己停车的位置，为客户提供停车诱导服务，极大地提升了车主的停车体验和效率。此外，若结合车主的历史停车数据和偏好，推荐更符合需求的车位，还可使停车过程更加智能化与个性化。不仅减少车主寻找停车位的时间，还能够提升停车场的管理效率和资源利用率。

（5）地铁站内导航：站内导航。高铁站、机场等人流量大、结构复杂的公共场所，传统的站内导航方式主要依赖于路标或二维平面图纸进行引导。借助非暴露空间定位技术和智慧导航系统，可以为乘客提供精准的站内路径规划和实时导航。通过在车站内设置智能化的

定位设备，可以有效规避障碍物并动态优化路径，为乘客提供最优的路线和出行体验，同时减少车站对传统导航方式的依赖，提升站内智能化管理水平。如：西安地铁 8 号线在全自动驾驶系统中采用了先进的通信、导航和定位技术，确保列车安全、高效、精准地运行。车地通信技术通过 LTE-M 或 Wi-Fi 实现实时数据传输，保障自动驾驶指令的精准传达。导航系统结合轨道电路、里程计和惯性导航，实现列车的精确路径规划与监控。同时，采用 GNSS、地磁和多传感器融合技术提升列车在隧道等复杂环境中的定位精度，为自动驾驶提供坚实的技术支撑。这些技术的应用使得 8 号线成为我国首条全自动驾驶地铁，标志着城市轨道交通技术的突破与创新。

（6）增强现实应用：AR 室内导航利用增强现实技术，通过准确的室内定位，提供与实际环境结合的虚拟信息，通过智能手机、平板电脑等设备，为用户提供实时的室内定位和导航服务，精确地识别用户的位置和方向，然后在屏幕上显示虚拟的箭头、标签或地图，指导用户到达目的地。目前，借助非暴露空间技术，AR 已被广泛运用于图书馆、车站/医院等场景的导航中。

（7）物流行业应用场景

自动化无人仓库：使用机器人和自动化系统来管理库存，减少人力接触和外部干扰。

封闭式运输系统：采用封闭的传输管道或电动车辆进行货物运输，确保货物在运输过程中的安全。

智能锁和监控系统：结合智能锁和视频监控技术，确保只有授权

人员可以接触货物，提高安全性。

无人机配送：在特定区域内使用无人机进行货物配送，避免与公共交通的交集。

数据加密与区块链技术：通过数据加密和区块链技术确保物流信息的安全传输和存储，防止信息泄露。

冷链物流：在封闭环境中监控温度和湿度，以确保敏感货物（如食品和药品）的安全。

（二）专业场景应用

（1）香港地区及大湾区仓储物流管理：通过物联网（IoT）技术，货物的实时监控和定位可以提高透明度和效率。AR 和 VR 技术可以在仓储和配送过程中用于培训和操作支持。历史数据分析可以预测需求、优化路线和管理库存。实时数据分析可以及时获取货物位置和状态的信息，快速做出决策，优化资源分配。无人车、无人机和水下航行器正在逐步应用于货物运输与远程维修检测，提高配送效率并降低人力成本。区块链提供了一种安全透明的方式来跟踪货物的移动，确保数据完整性并降低欺诈风险。

在非暴露空间的物流中，各方的合作变得尤为重要。通过建立跨行业的合作网络，物流公司可以共享资源和数据，提高整体效率。

（2）智慧矿山：在矿山、隧道等开展高危作业的地下空间、封闭场所，环境复杂多变，地下空间信号极差，数据传输非常不稳定，人员安全难以保证。借助非暴露空间技术，可以开发井下人员定位系统、综合自动化监测监控系统、应急救援系统等，推进相关行业智慧

化、信息化建设，强化重大灾害风险管控能力。

（3）**市政地下综合管廊**：城市地下综合管廊通过将城市给水、通信、电力等各种管线管网进行集约化建设，对城市管理和维护具有重要意义。城市地下综合管廊长度长，舱室多、结构复杂，对于人员定位较为困难且精度较低。借助非暴露空间定位技术，可实现对人员位置、行动轨迹实时监控管理和识别人员行为状态，并在遇到突发情况时（如洪涝、火灾）可从最近路线逃生，提高人员安全管理水平及工作效率。

（4）**地下建筑救灾减灾**：地下建筑由于其特殊的建筑特点，一旦发生火灾，浓烟积聚，高温不散，其危险性、扑救难度以及火灾所造成的危害都远超过地面建筑。借助非暴露空间定位技术，能够实现救援人员各种环境条件下的无死角、无盲区、无间隔定位，并实时掌握救援人员与被救援人员的位置关系，提高救援效率，保证人员安全。

地下空间救援中，除人员营救外，高价值设备与物资抢救同样是关键。利用非暴露空间定位技术，可以对救援人员，物资进行精准跟踪和动态分配，根据现场需求迅速调配至救援人员附近，抢救高价值救援目标。

五、经济模式创新进展

非暴露空间产业技术创新进展催生了多元经济模式创新。一方面，技术创新使高精度定位等服务成为可能，推动按使用次数或订阅收费模式兴起，如地下停车场导航服务收费。另一方面，数据作为关键资

源，开启数据增值服务收费模式，企业分析非暴露空间收集的数据为商业决策提供依据并收费。再者，产业技术创新促进跨领域合作，形成产业联盟与合作经济模式，整合各方资源实现优势互补，并通过共享收益、共担风险来拓展市场，提升整体经济效益与竞争力，从而推动整个非暴露空间产业经济模式向精细化、多元化与协同化方向迈进。

（一）交通出行方面

在地下停车场和城市轨道交通系统等非暴露空间，车辆或列车的卫星导航系统无法正常工作。这会给驾驶者或乘客带来不便。

1、按使用次数或订阅收费模式

非暴露空间精准定位技术的发展，使得在高铁站、地铁站等交通枢纽以及隧道、地下停车场等场所能够提供高精度的定位与导航服务。相关企业可针对这些场所的运营方、商家或个人用户，按使用次数、服务时长或订阅等方式收取定位导航服务费用。

2、基于位置的增值服务收费

基于精准定位数据，为交通领域的各类用户提供增值服务，如交通流量监测与分析、智能路径规划、精准营销等，并据此收取相应的服务费用。例如通过室内导航系统，将乘客引导至车站内的商业设施，提高了商业设施的客流量和销售额。地铁运营方可以通过与商业设施的合作，收取更高的租金或者商业分成。例如，对于一些热门的店铺位置，根据其通过导航系统带来的额外客流量，调整租金价格。

（二）物流与仓储方面

对于物流配送来说，在大型物流中心的仓库区，无法利用卫星导航精确定位货物，会使得包裹在仓储和分拣环节出现混乱，可能导致包裹错发、漏发等情况，延长配送时间，降低客户满意度。在大型仓储设施中，卫星导航定位系统无法工作，会对自动化仓储设备的精准定位功能产生影响，自动导引车（AGV）在仓库内不能准确地定位货物存储位置，大大降低了货物的出入库效率。

1、室内外定位衔接与物流平台合作

物流企业可以采用能够自动切换室内外定位的设备，在进入仓库等非暴露空间时，利用高精度室内定位系统（如 UWB 定位）与室外的卫星导航系统无缝衔接。物流平台可以与非暴露空间的运营方合作，共同建立物流配送优化机制。例如，物流平台根据仓库内的实时人、机械手、货品、分拣配货、发运等定位信息，提前安排装卸设备和人员，提高包裹的装卸效率。物流平台可以向仓库运营方支付一定的合作费用，同时向发货方和收货方收取更精准的物流配送服务费用。

2、智能仓储系统升级与服务收费

仓储设施可以升级为智能仓储系统，采用如自动导引车（AGV）与激光导航、视觉导航相结合的方式。激光导航为 AGV 在仓库通道提供高精度定位，视觉导航用于识别货架和货物的特征进行精准定位。此外自动导引车（AGV）还可与地磁导航相结合地磁导航可以为 AGV 不易受光线、灰尘、天气等环境因素的干扰，在复杂和动态环境中依然能保持高精度导航。仓储设备供应商可以向物流企业收取智能仓储系统的设备采购费用和系统维护费用。此外，还可以根据仓库货物存

储量、出入库频率等因素收取一定的运营服务费用，如基于货物存储周期的收费模式，存储时间越长，单位费用越低，以此激励物流企业提高库存周转率。

（三）应急救援方面

在隧道、煤矿等非暴露空间发生事故时，救援人员无法直接利用卫星导航准确确定被困人员的位置。这会延迟救援时间，增加救援的难度和危险系数。

应急救援联盟与保险合作经济模式：建立应急救援联盟，联合救援队伍、科研机构、设备供应商等各方力量。联盟通过共享技术、资源和数据，提高应急救援定位的效率。同时，可以与保险公司合作，推出针对非暴露空间事故救援的保险产品。例如，矿山企业为井下工人购买救援保险，保险公司在事故发生时支付救援费用，其中一部分费用用于支持应急救援联盟的运营和技术升级。

（四）资源开发方面

在非暴露空间产业领域，大型昂贵设备与设施的共享模式正逐渐成为推动行业发展与资源高效利用的重要力量。以深海探测船为例，这类先进设备往往蕴含着高度复杂的技术集成，造价十分昂贵。一艘具备深海探测、采样以及复杂海况适应能力的探测船，不仅在船舶工程技术上要求顶尖水准，还需配备高精度的探测仪器、先进的通信与导航系统以及专业的科研支持设施。如此高昂的造价，对于单个科研机构或企业而言，无疑是沉重的经济负担。

共享经济模式：非暴露空间产业中，一些大型昂贵的设备和设施，如深海探测船，可以通过共享模式提高利用率，降低单个用户的投资成本。不同的科研机构或企业在深海勘探时共享探测船和潜水设备，按照使用时间或项目需求分摊费用。另外，室内外定位设备和相关技术设施的建设成本较高，通过合作，物流平台可以与定位技术提供商共享这些基础设施。例如，在一个物流园区内，由园区管理方或物流平台统一建设和部署室内外定位系统，包括基站、传感器等设备，然后供园区内的多家物流企业共同使用，降低了每家企业单独建设的成本，提高了设施的利用率。除此之外，物流平台还可与定位技术提供商之间共享定位数据，从而实现数据的互联互通和协同应用。物流企业可以根据共享的定位数据，实时了解货物在室内外不同环境下的位置和状态，优化物流配送流程；同时，定位技术提供商也可以根据物流平台反馈的数据，不断优化和改进定位算法和技术，提高定位精度和可靠性，双方共同受益于数据共享带来的价值提升。

六、2024 年非暴露空间产业热点事件

（一）国家政策支持推动非暴露空间定位技术应用

2024 年，中国政府继续加大对非暴露空间定位技术的政策支持力度，明确将该技术列入《国家新兴产业发展规划（2024-2030）》。相关政策重点推动以下几个方面：

北斗地基增强系统的升级改造：以覆盖全国的厘米级定位网络为基础，重点支持智慧交通和智慧城市建设。

关键技术攻关专项：支持企业和科研机构联合攻克多模融合定位、高精度算法优化、低功耗芯片设计等核心难题。

公共服务领域试点推广：在医疗、消防和物流等领域大规模推广精准定位技术，为智慧社会建设奠定基础。

（二）非暴露定位技术在智慧交通领域的突破

2024 年，北京市推出了首批“智能交通非暴露定位示范区”，实现了市内多条地铁线路的精确室内导航和人流监控。

地铁场景的全面覆盖：通过蓝牙信标、Wi-Fi 指纹、UWB 等多技术组合实现厘米级定位精度，为乘客提供精准导航服务，同时提升紧急情况下的疏散效率。

机场无缝导航系统上线：北京大兴机场正式引入基于北斗增强的全覆盖导航服务，为旅客提供停车场、候机楼和登机口的全流程引导。

（三）企业融资与技术创新

2024 年，非暴露空间定位相关企业迎来资本热潮，众多初创公司和传统企业获得大额融资，进一步加速技术发展和商业化：

千寻位置完成 E 轮融资：融资规模达 20 亿元，资金将用于升级北斗精准服务网络和拓展 To C 消费级市场。

精彩旅图发布全场景 3D 定位平台：该平台结合点云与视觉算法，支持室内外无缝切换导航，精准度可达 5 厘米，并宣布与国内电商巨头合作，首次将技术应用于商场数字化升级。

华为发布非暴露空间定位解决方案：搭载自研低功耗定位芯片和多模融合算法，该解决方案已应用于智慧工厂和高价值物流资产追踪

场景。

（四）国际合作推动全球化应用

2024 年，中国企业积极参与国际合作，推动非暴露空间定位技术全球标准化和商业化：

北斗与 GPS、Galileo 实现兼容互操作：多模全球定位的技术突破显著提升跨境物流和国际航空的精准度。

中欧企业签署技术转让协议：中国的非暴露定位解决方案首次输出至欧洲智慧医疗领域，帮助构建跨国急救网络。

UWB 技术全球市场渗透率提升：得益于中国企业的积极推广，基于 UWB 的精准定位方案进入更多消费级应用场景，包括智能穿戴设备和智能家居。

（五）消费市场爆发，定位服务走进日常生活

随着技术成熟，2024 年非暴露空间定位技术进一步渗透至消费市场：

高端智能手机全面支持非暴露空间定位：苹果、华为、小米等厂商推出新机型，均集成了基于 UWB 和北斗的精准室内导航功能，让消费者在购物中心、停车场、地铁等场景获得更高效的体验。

智能穿戴设备成热门消费品：小型化、低功耗定位芯片推动可穿戴设备全面升级，新一代智能手表具备运动导航、老年人追踪、儿童安全防护等多种功能。

数字商业场景扩展：非暴露定位技术成为智慧商场的标配，通过实时定位与行为数据分析优化消费者动线，大幅提升销售转化率。

（六）行业标准化与数据安全问题备受关注

2024 年，随着非暴露空间定位技术的快速应用，行业标准化和数据安全问题成为焦点：

行业标准发布：由中国牵头的《非暴露空间定位系统技术要求及应用指南》正式发布，覆盖多模融合算法、精度等级划分、系统兼容性等内容，推动技术标准化。

数据安全立法加强：随着消费者对位置隐私的关注增加，中国推出《精准定位数据安全保护法》，明确企业责任，保护用户隐私数据，促进技术合规应用。

（七）特殊场景中的首次应用

矿山与石油开采安全提升：2024 年，基于非暴露空间定位的工人追踪与设备定位系统成功部署于西部矿区与海上钻井平台，显著降低安全事故发生率。

文化遗产保护新突破：在国家重点文物保护单位推出智能导览服务，通过 UWB 和视觉定位，提供历史建筑的全景讲解和游客导航。

军事领域首次亮相：中国军队在联合演习中首次公开展示非暴露定位技术，用于复杂环境中的战场资源管理和人员调度。

2024 年，非暴露空间定位产业在政策、技术、市场和国际化方面取得了全面突破，不仅加速了该技术在重点领域的落地应用，也为其全球化发展奠定了坚实基础。这些热点事件展现了行业的蓬勃生机，为未来的发展指明了方向。

七、面临的问题

（一）技术兼容性、数据共享问题：

随着非暴露空间技术应用场景的深入拓展，技术兼容性成为了一个关键问题。不同系统、设备之间的兼容性问题可能导致定位精度下降或无法正常工作。

数据共享也是一大挑战。不同机构、企业之间的数据壁垒可能导致信息无法有效流通，从而影响非暴露空间技术的整体应用效果。

（二）复杂环境下高精度定位难题：

在一些复杂环境中，如隧道、地下建筑等 GNSS 信号难以覆盖的场所，实现高精度定位仍然是一个技术难题。

这些环境中的定位精度和可靠性对于许多应用至关重要，如应急救援、智能制造等。

（三）行业标准与数据安全问题：

随着非暴露空间技术的快速发展，行业标准化成为了一个迫切需求。缺乏统一的标准可能导致不同系统之间的互操作性下降，影响整体应用效果。

同时，随着定位服务的广泛应用，数据安全问题也日益凸显。如何保护用户隐私和数据安全，防止数据泄露和滥用，成为了一个亟待解决的问题。

（四）技术创新与产业升级压力：

非暴露空间技术需要不断创新以应对日益复杂的应用场景和用户需求。然而，技术创新需要投入大量的人力、物力和财力，这对于

许多企业来说是一个巨大的压力。

此外，产业升级也需要时间和资源来推动，如何平衡技术创新与产业升级的关系，实现可持续发展，也是行业面临的一个重要问题

（五）基础设施与配套服务能力不足：

非暴露空间技术的应用需要完善的基础设施和配套服务来支持。然而，在一些地区或领域，基础设施和配套服务可能还存在不足或不完善的情况。这可能导致非暴露空间技术的应用受到限制或无法充分发挥其潜力。

八、产业发展建议

（一）夯实政策基础，推动产业集聚化发展

系统性政策支持：加强系统谋划和顶层设计，完善政策环境，明确高精度非暴露空间产业发展的中长期目标。将室内外无缝导航定位技术作为子体系纳入国家综合 PNT（Positioning, Navigation, and Timing）系统，推动导航定位与实体经济的深度融合，覆盖物流、智慧城市、医疗等多领域应用。

支持产业集聚：优化产业布局，鼓励非暴露空间企业向重点区域集聚，形成规模化效应，打造全国领先的产业集群，提升区域竞争力。

拓展服务范围：以政策引导与企业创新为核心，推动技术逐步渗透至社会经济各层面，加速形成泛在化、融合化、智能化的全场景时空服务体系。

（二）强化创新驱动，助力产业链协同升级

创新平台建设：依托高校和科研院所技术优势，建设多学科协同的产学研技术创新平台，推动理论研究和共性技术的突破，促进技术孵化、成果转化与规模化应用。

强化企业主体地位：以企业为科技创新的主导力量，整合高校、科研院所和产业链资源，实现多方协同攻关，快速推进技术研发与应用落地。

上下游资源整合：通过项目联合、技术融合、人才汇聚等方式，整合上下游企业资源，推动非暴露空间技术在大众用户与行业市场中的创新应用，探索满足实际需求的服务模式。

（三）构建标准体系，提升行业技术规范水平

科学标准化体系：坚持科学与系统性原则，利用国内外标准资源，逐步建立开放兼容的技术规范体系，涵盖室内外定位技术的国家及行业标准。

融合多元技术：在标准体系中充分兼容北斗导航、5G、蓝牙、Wi-Fi、UWB、声波等技术，推动跨领域的标准化，形成统一的产业规范、协议与接口框架。

推动创新应用标准：深化测绘地理信息自主创新和标准化，包括智慧城市地理空间平台、实时地图动态更新、以及时空信息服务系统的建设，推动创新应用的规范化和大规模普及。

（四）深化国际合作，拓展全球市场空间

低成本化发展：推动定位基站系统建设的成本优化，普及非暴露空间定位的基础网络，提升网络化基础设施覆盖水平，为产业发展提

供稳定支撑。

动态数据维护：加强非暴露空间地图引擎的开发与实时更新机制，提高动态数据处理效率，优化用户体验，增强系统的沉浸感和便捷性。

智能化应用开发：结合人工智能技术，推动非暴露空间导航在复杂场景中的深度应用，如精准导航、智慧场馆定位以及沉浸式 AR 体验服务等。

（五）优化基础设施，完善产业配套服务能力

引入先进资源：通过国际合作机制，吸引全球优质技术、资金与人才资源，加强技术研发能力，提升我国非暴露空间技术的国际竞争力。

推动国际标准制定：积极参与全球技术标准的制定，确保非暴露空间产业与国际接轨，提高我国技术在国际市场中的认可度和竞争力。

深化“一带一路”合作：以“一带一路”沿线国家为重点市场，推动非暴露空间技术与服务的出口，扩大我国在全球市场的覆盖率，实现互利共赢的发展模式。

通过多层次的政策支持、技术创新、产业协同及国际化合作，非暴露空间产业将快速成长，成为我国经济高质量发展的重要驱动力。

免责声明

本白皮书由北京工业大学交通运输部公共交通智能化行业重点实验室、北京市经济技术开发区企业协会、全图通位置网络有限公司、深圳北斗平台通信有限公司等相关学术研究机构共同编写，三维可视化与三维数据由德国 NavVis 公司提供技术支持，其版权归北京市经济技术开发区企业协会和全图通位置网络有限公司所有。未经全图通位置网络有限公司的明确书面许可，任何组织或个人不得以任何形式擅自发布、出版、改编本白皮书内容。

如需转载、引用或以其他方式使用本白皮书内容，须注明“来源：北京经济技术开发区等学术单位”。任何未经授权使用本白皮书的商业行为均属违法，违反者将面临《中华人民共和国著作权法》及相关法律法规和国际公约的追究。北京市经济技术开发区企业协会保留对侵权行为采取法律行动的权利。

本白皮书由北京市经济技术开发区企业协会和全图通位置网络有限公司的编纂人员，采用大数据捕捉、信息研究、专家会议及调查研究等方法编制而成，并结合 50 家行业协会企业、上百个高铁站、地铁站及民航机场的实际应用数据进行研究。本白皮书部分内容引用公开资料，部分数据基于协会行业数据库通过统计预测模型估算得出。

鉴于行业内信息、地理信息、测绘信息及卫星导航定位信息资源的限制，本白皮书仅供用户作为参考资料。编纂人员已尽最大努力确保白皮书内容的准确性、及时性、完整性及可靠性，但对此不作任何保证。本白皮书中所载的任何意见、推测仅反映白皮书发布当日的判断，并可能随时在不另行通知的情况下调整。本白皮书的内容或观点不构成任何形式的建议，白皮书编纂人员及行业协会对因阅读或使用本白皮书所做的决策不承担任何法律责任。

