

# 人机友好空间探索

ROBOTIC URBANi5m:  
EXPLORING THE FUTURE OF HUMAN-BOT-FRIENDLY SPACE

腾讯研究院

腾讯Robotics X实验室  
腾讯基建

清华大学未来实验室  
清华大学无障碍发展研究院

帝都绘  
机器人大讲堂



# 寄语

高质量发展作为中国新时代的硬道理，科技创新引领是现代化产业体系建设的必由之路。在世界将进入物理与数字空间紧密结合的全真互联时代，全面数字化已经来临的当下，智能机器人作为一种具备完整连接计算能力、突破时空限制的产业升级新单元，已经成为中国高质量发展模式和人类生活方式的新探索范式。

我们无比欣喜地看到，这份关于人机友好空间探索的报告，不仅全面、深入地阐述了机器人技术在现代城市空间中的应用，描绘一个符合人、环境和机器人友好的空间体系的特征与范式。腾讯更身体力行的在前海总部，探索人机友好、环境友好、系统友好的城市空间建设。

当下，智能机器人这类战略性新兴产业和未来产业，正是推动产业优化升级、引领产业发展的重要方向，这份报告所揭示的机器人技术在各个领域的应用，以及它们对改善人们生活质量、提高工作效率的巨大贡献，让我们深刻感受到机器人对人类生产生活环境的影响，也让我们机器人工作者深感责任重大。“机器人友好的适应性改造”则为人类整合科技创新资源，形成新质生产力提出了非常新颖的解决思路。

展望未来，我们深信，随着机器人技术的不断进步和应用领域的不断拓展，未来的机器人将更加智能、更加人性化，为人类的的生活和工作带来更多便利。同时，我们也期待在人机共生的新时代中，机器人技术能够在医疗、教育、工业、服务等众多领域发挥更大的作用，推动社会的进步与发展，为中国抓住新一轮科技革命和产业变革机遇，形成新产业新动能作出更大贡献。

王耀南  
中国工程院院士  
湖南大学教授  
机器人视觉感知与控制技术国家工程研究中心主任

人类的物理宇宙与数字化的虚拟空间正前所未有地彼此靠拢。线上的生活由原先的短时例外状态成为常态，线上与线下打通，人类的现实生活开始大规模向虚拟世界迁徙，人成为现实与数字的两栖物种。数字建筑/城市不仅是社会个体相互沟通的网络，也是人类空间文明的数字赋形。

科技已经催生了另外一个世界（元宇宙），然而我们的城市还是传统的城市。

任何类型的机器人都至少会给城市带来一种新的空间灵感，现有的空间实体可能因此需要重新安排和设计，我们愿意以实验的方式率先打造机器人友好空间，期待见到它不断更新成熟。在科技和算力主导和影响人类生存方式的今天，我们希望将建筑想象成城市里的大型机器，令泛机器人科技加持人文建筑学，引导畅想新建筑空间类型和新城市生活场景。

人的“数字化”同时伴随着数字世界的“拟人化”，机器人作为制造业皇冠顶端的明珠，是人工智能无可替代的终极载体。从替代人类劳作，逐渐发展到替代人类做决策；从“仆人”到“助手”，机器人具有很强的感知和数据分析能力，对实体空间的适应也像极了人类千万年来在环境中的演化。机器人研发体现出显著的多学科交叉特征，恰恰如此，它的舞台才不仅仅在测试间和高科技办公室，也在挤满人群的城市中。

至此，人类和机器人作为虚实共生的两个物种，一方从线下走向线上，一方从线上走向线下，两者都急需一个公共的“新空间”来承载日常的生活和业务。

从神奇的“数字建筑”到现实中的“建筑机器”，人机友好空间的探索，也许只是智慧建筑的一小步，却是人类科技文明的一大步。

徐迎庆  
清华大学教授  
清华大学未来实验室主任

科技的飞速发展正在不断拓宽我们的认知边界，同时也带来了新的挑战和机遇。作为科技进步的重要推动力，人工智能和机器人已经深入渗透到我们的生活、工作和娱乐之中，与人类的联系日益紧密。我们可能正面临一个机器人数量超过人类的未来。如何实现人类与机器人的友好互动和协作，已成为我们必须面对和解决的重要问题。

腾讯Robotics X实验室致力于通过攻克本体、控制、感知、智能等多个核心技术点，探索可进化的人机协作机器人，以期实现虚实集成世界，并迎接人机共生、共创、共赢的未来，让机器人成为人类的守护天使[Guardian Angel]。这个守护天使机器人不仅仅是一个独立的实体，它还需要与部署在环境中的智能传感器、其他机器人以及人类和世界保持互联和互动，以更好地服务人类，提升我们的生活质量。

大语言模型以及多模态大模型的迅速演进，让我们看到了机器人具身智能大模型的可能性。这些先进的模型可以帮助机器人更好地理解环境、与人类和周围环境互动，并自主完成任务。然而，机器人与人类之间的交互协作并非仅仅是一个技术问题，我们还需要全面调整“人-机-空间”的关系。在这个调整过程中，人类需要学会适应新技术、新环境和社会变革，而机器人则通过学习、调整参数和优化算法来适应不断变化的需求和环境。然而，我们往往忽略了空间和环境的调整。原本为人类设计的空间，对于不断进化的机器人来说往往并不友好。因此，我们需要重新审视空间设计，让空间成为改善人机关系的纽带，助力形成新的“人-机-空间”友好的虚实集成体验。这将有助于我们更好地适应并利用新兴技术，为未来的人机共生创造更美好的环境。

未来，当我们开始与机器人共享生活和工作空间时，我们期望这些机器人能成为我们的合作伙伴，像我们一样从容自如地运用空间，而不仅仅是单纯的工具。实现这些宏伟目标和理想充满挑战，需要我们共同努力，携手攻克难题。

张正友  
腾讯首席科学家  
腾讯Robotics X实验室主任

新一轮AI技术方兴未艾，数实融合创新持续进发，智能科技迈入新一轮剧变期。在大模型加持下，具身智能、人形机器人的发展迎来更多可能性，腾讯可跳梅花桩的四足机器狗、能调酒的灵巧手机机器人，特斯拉的人形机器人，越来越多的机器人新物种正在到来，人机共生的未来城市仿佛就在眼前。

可以预见，不久的将来，人形和专用机器人会较大规模进入人居空间，成为人类的帮手。以人体工程学量身打造的现代城市，做好准备迎接机器人这一未来新物种了吗？从数千年前适配马车的城市、到上百年适配汽车的城市，未来适配机器人、自动驾驶、甚至飞行汽车的未来城市又会有哪些新变化？城市设计理念将迎来怎样的全新变革？

基于此，腾讯研究院联合腾讯Robotics X实验室、清华大学未来实验室、清华大学无障碍发展研究院和帝都绘工作室等机构，先后调研走访了数十家机器人厂商、机器人研发办公空间和行业专家，形成了这份手册。《手册》基于机器人友好建筑的设计实践，总结了设计和建设人机友好空间的指导原则和实践经验，从空间布局、设备配置、交互界面设计、安全性考虑等方面，介绍了人机友好空间的要点和案例，旨在探索对数字空间和物理空间开展“机器人友好”的适应性改造，让机器人为城市发展带来更多可能性，最终更好地为人服务；与此同时，也希望推动人机空间的无障碍改造，适配含儿童、老人和特殊群体在内的全龄人群，这也是科技向善的新尝试。

这份报告是未来城市探索计划[WeCityX] 的一项理论研究成果。WeCityX是基于腾讯总部园区1.2平方公里的真实城市场景，从零开始，思考科技将如何改变城市的规划、建设、运营与治理。腾讯总部园区正在规划建设一个以前沿科技实验室集群为驱动的**科创街区，将机器人、无人驾驶汽车、人机友好无障碍体系持续落地实践。特别期待，前海总部作为试验田，能吸引更多产学研各界共同研究、共同探索，未来人机友好的新模式、新场景、新应用。**

司晓  
腾讯研究院院长

## 一 走向人机共生时代

- 02 机器人兼具工具性与社会性，正在逐步参与我们社会生活的方方面面
- 03 服务机器人包含专业服务和个人/家庭服务两个类别
- 04 聚焦当下，个人/家庭服务机器人中有三类细分场景提升服务效率，提高体验效果
- 05 专用服务机器人也可以在三类场景中发挥降本增效等经济价值
- 07 人形和专用造型机器人未来会大规模进入人居环境，成为人类的智能助手，探讨其在实体空间的应用正当其时
- 08 作为城市新物种，机器人对城市管理和社会生活带来全方位的机遇和挑战
- 09 机器人技术正在经历高速迭代，并与人、人居环境和其他技术系统的产生深度交集
- 10 尽管如此，正在经历“幼升小”阶段的机器人仍然面临着三类不适应症

- 11 城市环境对话的行为主体日益丰富和多样化
- 12 打造人-环境-机器人的友好体系可以“缓解”不适应症
- 13 放眼全球，各地在建筑、园区甚至城市层面已开始进行了三个友好体系的探索
- 14 腾讯总部园区作为数实融合的综合技术试验区，也致力于为打造机器人友好城市提供腾讯思考

### 二 环境友好：高效的空间适配

- 16 为机器人做适度空间适配是现阶段“环境友好”的核心方式
- 17 机器人在人居空间“生存”面临四类挑战
- 18 综合考虑机器人模数和空间需求，应该为机器人提供四类新空间
- 19 机器人行动友好新空间
- 21 机器人工作环境友好新空间

- 22 机器人维护测试友好新空间
- 24 机器人与建筑一体化友好新空间
- 系统友好：可持续的系统支持**
- 26 信息支持系统为机器人高效运行提供数字化支持系统
- 27 机器人和各类物联网设备互通互联，实现室内外一体的综合服务

- 28 同时，信息支持系统也为机器人提供海量、真实训练数据
- 29 机器人和低碳建筑都需要纳入未来能源系统综合考虑
- 32 将机器人作为新物种提供园区尺度的运营支持

### 四 人机友好空间示意

- 35 探索人机交互新方式
- 36 智能建筑也是“机器人”

- 37 机器人友好空间示意：机器人探索中心
- 38 近未来，服务机器人将更加智能，为综合场景提供全天候服务
- 39 畅想：机器人十二时辰之早上
- 40 畅想：机器人十二时辰之午后
- 41 畅想：机器人十二时辰之晚间
- 42 畅想：机器人十二时辰之深夜
- 迈向人机友好的通用无障碍**
- 44 通用无障碍发展理念：从理论框架到实施原则
- 45 人机友好的通用无障碍发展理念畅想：从包容性环境到未来发展的更多可能
- 46 人机友好的通用无障碍发展理念应用场景



# 走向人机共生新时代

全面数字化已经来临，世界将进入物理与数字空间紧密结合的全真互联时代。智能机器人作为一种具备完整连接和计算能力、突破时空限制的城市新物种，将引发城市发展模式和人类生活方式的新探索。为此，我们需要做好准备，探索智能机器人，特别是智能服务机器人在实体空间的应用正当其时。

# 机器人兼具工具性与社会性，正在逐步参与我们社会生活的方方面面

数字化和智能化的发展赋予了机器人更多认知、思考、决策的能力，突破了传统工具的边界，逐渐具备了独立工作的能力，也在对人行行为能力的支持中发挥了更大的作用；在与人的交互中，逐渐具备了情感支持和社会交往的能力，多样化的交互促进对各类人群的包容，也赋能社会网络的构建。机器人正在逐步参与我们社会生活的方方面面。



专业清洁



交通与物流



农业



二十一世纪以来，以外骨骼、智能假肢等为代表的机器人更似人类的形式与特征。



2017年沙特阿拉伯授予美国机器人索菲亚公民身份。

日本陪伴阿尔茨海默症的海豹型机器人PARO在多国引进健康领域。



不只是决策、已然开始创作。

S OpenAI

机器人兼具了工具性和社会性，一方面，智能化赋予机器人像人一样思考与决策的能力，能够独立完成工作，成为基本需求的产生源头；另一方面，在对人类的赋能关系中，与人建立了更加密切的关系，形成了多样的人机融合场景，行为能力、情感社交支持等。



智能灯杆



智能交通站牌



智能接待机器人

## 多样化的交互支持



顾客款待与服务



搜寻、营救与安防



医疗

## 参与社会生活网络

## 更加独立和高效



家庭护理



智能交互



智能辅助

## 更好地赋能人体

# 服务机器人包含专业服务和 个人/家庭服务两个类别

机器人的种类繁多。按照功能划分，国际机器人联合会将机器人分为工业机器人和服务机器人，后者是本报告的主要研究范畴。服务机器人又可以被分为专用服务机器人和个人/家庭服务机器人两大类。

本报告的主要研究范畴!

## 机器人

可编程的、在两个或更多轴上具有一定程度自主性的驱动机构，能够在其环境中移动以执行预定任务。

### 服务机器人

指除工业机器人之外的，用于非制造业并服务于人类的多种高技术集成的先进机器人。

### 工业机器人

指在工业生产加工过程中通过自动控制来代替人类执行某些单调、频繁和重复的长时间作业的机器人。



组装

分类

焊接

其他工业用途

### 专业服务机器人

用于商业任务的**服务机器人**，一般由经过合理培训的专业人员操作。



农业

专业清洁

检查与维护

建设与拆除

交通与物流

医疗

搜寻、营救与安防

顾客款待与服务

其他专业服务

### 个人/家庭服务机器人

用于非商业任务的服务机器人，一般由非专业人士操作。

家用作业

家用护理

社交与教育

其他个人/家庭服务

# 聚焦当下，个人/家庭服务机器人中有三类 细分场景提升服务效率，提高体验效果

个人和家庭服务机器人集成了人工智能、语音识别等多种技术，为人们提供家庭助理、娱乐休闲、安全防护等服务。日常生活中，机器人可以成为老人、儿童的陪伴伙伴，提供医疗护理、课外玩教、迎宾接待等服务。

成熟度

>>> 大规模应用 >>>>> 小规模试点 >>>>>> 远期探索中 >>>

## 类型简介

## 发展趋势



康复养老型机器人的目标是通过技术手段来提高老年人和有康复需要的人的生活质量，使他们能够在舒适的环境中独立、健康地生活



陪伴儿童，并帮助他们在玩耍、学习和成长过程中获得支持，如提供陪伴、开发智力、帮助儿童发展社交技能和情绪管理技能等等



在酒店、商场、医院、展览馆等公共服务型场所中，用户与机器人进行实时交互，机器人提供回答问题、介绍说明、地点引导等服务

- **理解情感**：机器人的交互将从单纯的语音交互，发展为理解人类情感，准确判断实时需求的能力
- **功能扩展**：机器人会从单一的对话和风险识别模式向扩充机体能力与目标物理交互的方向演化

- **个性化**：机器人可以定制学习内容，并根据儿童的情绪和行为进行适应性反馈，提高学习效果
- **社交属性**：机器人的社交功能也将增强，能更好地满足儿童的情感需求，成为他们的真正伙伴

- **真实交互**：将不再以固定语料库、回放预埋讲解内容等手段和用户交互，而是根据人类的实时情感判断和决策，提供个性化和综合化的服务
- **主动服务**：机器人将掌握主动推荐内容等技能



语音助手



陪伴机器人



康复按摩机器人



外骨骼



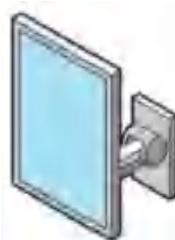
语音助手



机器狗



人型管家



智慧大屏



导览机器人



综合接待机器人



综合服务机器人

# 专用服务机器人也可以在三类场景中发挥降本增效等经济价值

专用服务机器人主要应用于养护、物流、安防等服务行业。专用服务机器人集成了如导航、避障、人脸识别等技术，除了可以实现清扫保洁、递送派送、安防巡检等基础功能外，还可以进行高空、高危地区作业，完成人类难以胜任的工作。

## 类型简介



保洁

机器人自主移动完成清洁工作，为人们提供更加便捷的日常清洁服务或代替人员完成特定场景下的难度较高的清洁工作



物流

机器人通过接受系统指令自动进行货物配送，提高配送效率，降低人力成本



安防

机器人代替人工进行巡检工作，发现设备损坏异物悬挂或外人出入等异常现象，自动报警或进行预先设置好的故障处理

## 发展趋势

- **功能拓展**: 形态更多样化，清洁性能更立体化，从清洁单一地面转变为高楼、水下等更复杂的场景
- **服务全城**: 清洁场景的多样化意味着清洁机器人将走出楼内封闭空间，扩展到整个城市中

- **时空拓展**: 全天候维持运作，服务范围也从封闭的小空间变为整座城市

- **集约空间**: 增多的配送诉求将对机器人物流的空间利用效率提出更高要求

- **空地一体**: 无人机与地面机器人互补形成全覆盖

- **场景拓展**: 从目前业已广泛覆盖的工业区向商业、住宅区辐射

- **性能升级**: 单体巡检能力升级，通过强化感知，提升多模态危险识别率，并达成巡检维修一体化

- **群智能**: 实现多设备协同

## 成熟度

>>> 大规模应用 >>>>> 小规模试点 >>>>>> 远期探索中 >>>



商用/家用清洁机器人



城市清洁机器人



特种清洁机器人



建筑内配送机器人



城市中配送机器人



无人机



工业\商业巡检机器人



救援机器人



多机器人同步安防



我们总结了六类场景发现：个人、家庭服务机器人的核心价值在于效率提升，以及娱乐、教育价值；而商用专业服务机器人的市场化主要依靠产业驱动，在降本增效、缓解劳动力不足方面提供核心价值。

大规模应用就要跳脱出技术视角本身。综合考虑成本、商业模式、用户体验等多种因素，以及政策、技术、社会伦理等综合视角。波士顿动力的大狗三易其主，其中一个原因是没有找到合适的商业模式。需要要有足够的场景和空间去支撑技术研发、响应人机交互时代的新交互范式，再集成产业链能力去将有价值的产品落地。

# 人形和专用造型机器人未来会大规模进入人居环境，成为人类的智能助手，探讨其在实体空间的应用正当其时

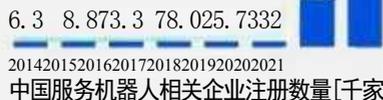
机器人早已不是仅存在于科幻小说中的未来畅想，它们的高速发展和全面进入人类生活就发生在当下。在政策、市场、社会和技术层面，服务机器人都有了诸多实践探索和现实机遇，但同时也存在不小的挑战，这使相关讨论变得更加迫切。

政策  
基础设施  
市场

## 机遇

**中国:** 15部联合发布《“十四五”机器人产业发展规划》;北京市提出“加紧布局人形机器人”;上海开始统计机器人在每万人口中的比例  
**全球:** 美国多州通过机器人路权;美国剑桥市政府成立机器人委员会

全球服务类机器人市场蓬勃发展,成为投资的新热点



**人力短缺:** 随着全球人口老龄化,某些地区和行业可能会面临劳动力短缺问题,机器人有望填补缺口  
**需求提升:** 而人类在教育、文娱、医疗、公共安全等方面不断提升的需求也让机器人大有可为

社会

**本体技术:** 近年来,多模态融合感知、非结构化场景AI分析、柔性本体等核心技术  
**AI:** ChatGPT 为代表的生成式人工智能实现了颠覆性发展

技术

## 挑战

**法律法规:** 机器人和人工智能的相关法律法规尚未形成体系,需完善  
**基础设施:** 传统基础设施[如道路、建筑物等]需考虑与机器人的适配,而数字基础设施层面需要价格低廉且广泛布设的物联传感系统、5G网络和自动驾驶环境等

**市场定位:** 诸多场景仍处于创新探索期,机器人产品、技术与市场匹配度有待进一步明确  
**商业模式:** 在一些尚不成熟的市场,存在变现难的问题  
**产品同质化:** 因为对市场需求认识不充分而导致明星产品被简单复制的情况

**伦理争议:** 随着机器人智能水平的提高,其引发的伦理争议难以避免,可能会成为潜在的社会问题  
**接纳程度:** 未来,人类可能会更加依赖、更易接受机器人,也可能会因为工作机会和潜在的社会关系改变等原因排斥机器人

**硬件:** 核心零部件国产化存在挑战,多模态传感器、新材料等相关技术未大规模应用  
**能耗问题:** 机器人在生产、运行、冷却等环节都十分耗能,可再生能源尚无法满足  
**人机交互安全:** 包括物理安全、数据安全、机器人自主决策带来的安全问题等

2023年,谷歌研发出多模态视觉语言模型[VLM],集成了可控制机器人的视觉和语言能力

2023年,《人形机器人创新发展指导意见》部署,到2025年,人形机器人创新体系初步建立

2022年,两个机器人参与了北京冬奥会火炬的水下接力

2022年,腾讯机器人狗Max在“梅花桩”上从容移动

2022年,类人机器人Ameca接入GPT-3后与人类互动,称“被激活的那天最快乐”

2020年,丰田提出Woven City计划,无人车是其中的重要组成部分

2021年,特斯拉开始将车上的超声波传感器换为视觉传感器

2019年,Jeff Bezo5远程操作机器人抓起一个球

2017年,波士顿动力的人形机器人实现了搬箱子等复杂动作

2016年,人工智能AlphaGo以4:1战胜顶尖职业棋手李世石

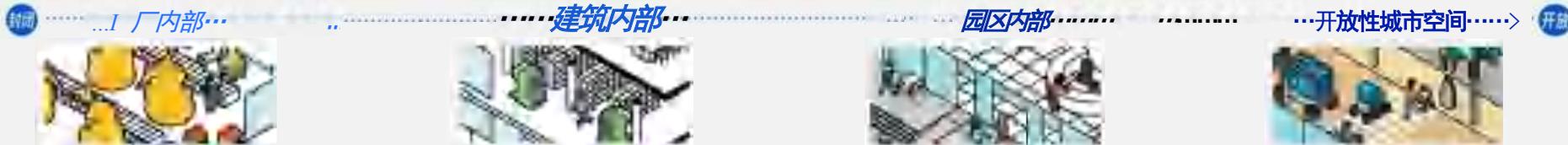
我们认为:服务机器人将成为智慧城市新蓝海,进入家庭生活。未来3-5年,公共空间和家庭场景的服务机器人有望实现更自然的人机交互、完成更复杂的操作任务,逐步成为消费、娱乐、教育、陪伴等细分场景的生活助手。

# 作为城市新物种，机器人对城市管理和 社会生活带来全方位的机遇和挑战

城市是机器人最大的应用场景，也是人机互动的主要空间。如今的城市是按照人体工学规划、建设的，因此，在不同形态的机器人中，现阶段仿生和人形机器人的适应力最强，城市需要为之改造的也最少。那未来的城市应该怎样做呢？

## 机器人发展方向

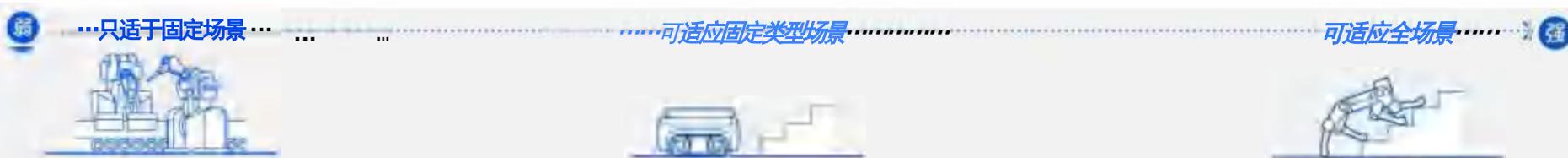
机器人的  
应用场景



环境需要  
改造的程度



机器人适应  
环境的能力



机器人形态



AI的发展

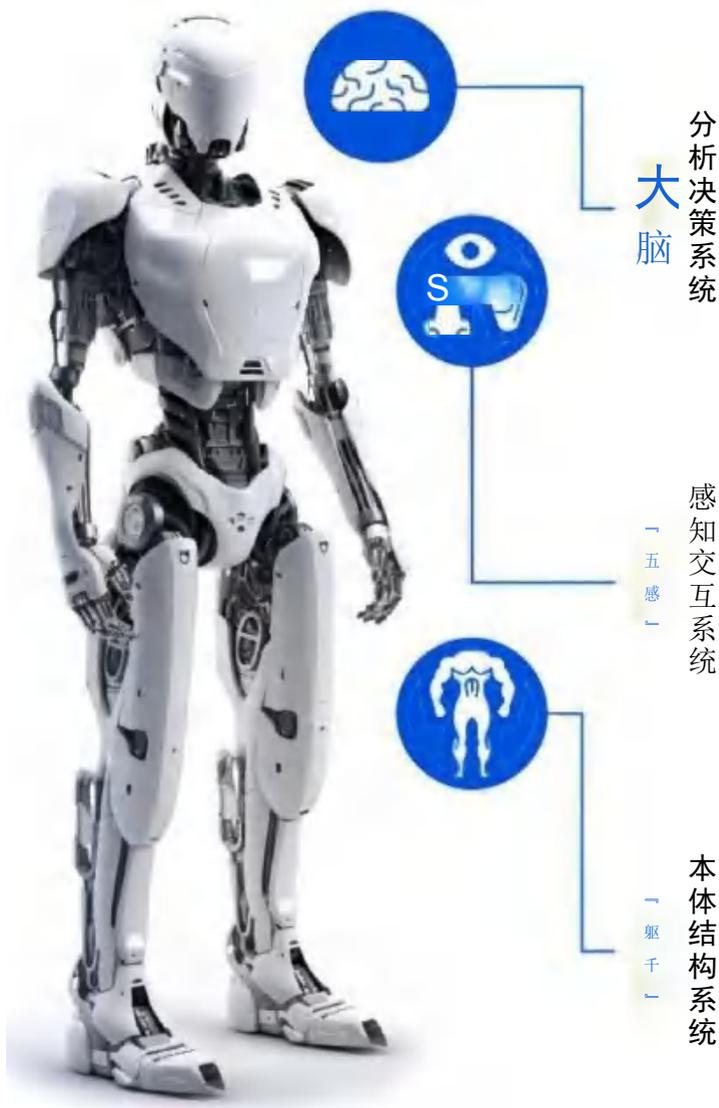


AI是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器。该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。

自上世纪以来，人工智能和机器人的技术曲线就在不断靠近，甚至有多次交汇。从波士顿动力、特斯拉擎天柱、GPT聊天机器人等代表事件来看，我们已经迈入了人机交互时代，机器人也从自动化的工具逐步向拥有一定自主性智能——甚至智慧——迈进。

# 机器人技术正在经历高速迭代，并与人、 人居环境和其他技术系统产生深度交集

尽管机器人三大技术系统——本体结构、感知交互、分析决策的迭代速度不一，但整体上对于人、环境以及机器人间的理解和交互能力都在不断加深。



## 技术进步

- **深度学习**: 使用了深度学习和强化学习的AlphaGo 展示了AI处理复杂任务的潜力
- **大模型**: ChatGPT、Midjourney 等平台的普及标志着AIGC时代的到来, Ameca 机器人接入GPT-3 后可以和人密切交流, 谷歌的Everyday Robot则可以通过大模型智能分析执行任务

- **硬件设施**: 多模态传感器和柔性皮肤等新材料提高了机器人的感知能力
- **数字基础设施**: 云计算、5G等数字基础设施提高了机器人通讯和计算能力
- **智能设备**: VR、外骨骼、脑机接口等更多智能设备带来沉浸式的人机交互体验, 如Meta 手套, 和Jeff Bezo5远程操纵机器人

- **控制理论**: 控制理论与机器学习相结合, 用于设计更智能的机器人控制系统
- **核心零部件**: 减速器等核心零部件更轻更灵活
- **电池技术**: 电池的能量密度、充电速度、寿命和安全性均有所提升, 智能的电池管理系统和各种新型电池也得以发展

## 未来趋势

- **自主决策**: 随着人工智能发展、计算能力提升[如量子计算、高性能计算]、软硬件整合等技术进步, 机器人将更擅长自主决策
- **理解行为和情感**: 未来机器人不仅能理解语言, 还能通过观察和分析理解人类的行为和意图, 甚至通过表情识别、语音情感分析等技术, 识别和理解人的情感状态

- **更理解环境**: 通过高级感知技术如深度学习和计算机视觉更准确地识别和理解周边环境, 并持续学习和适应
- **自然交互**: 机器人将可以使用自然语言、肢体语言、表情等更自然的方式与人交互
- **群智能**: 机器人将可以通过群体协作来完成复杂的任务

- **更平衡**: 增强的感知能力使机器人能更精确地识别自身姿势和运动信息, 并了解周边环境; 在此基础上, 更高效的控制算法和优化的物理机械设计将提升机器人的平衡性
- **更灵活**: 软体机器人、多关节机器人等新型机器人可以在复杂环境中灵活运动, 而飞速发展的控制算法让其运动能力进一步提升

# 尽管如此，正在经历“幼升小”阶段的机器人仍然面临着三类不适应症

如果将机器人的智力水平类比人类的话，目前还处于“幼升小”阶段。由于技术、产业发展、基础设施等驱动因素发展不充分，机器人大规模进入城市空间面临着诸多不适应症。



## 从业者说

俞志晨（北京光年无限科技有限公司创始人&CEO）：个人认为现在人形机器人远没有到所谓的“iPhone时刻”，顶多算是摩托罗拉手机、大哥大时代。因为iPhone时刻至少是说手机本身是一个得到大规模普及的场景，目前人形机器人还在开创期。其中一个原因是，硬件产品迭代比我们想象的时间要更长。举个例子，人形机器人的产品造型是不是长我们现在看到的样子尚需更长时间验证。就像寒武纪，各种智能生物大爆发，但是形状不是不会太统一。机器人的大规模应用，也会是不同造型。有的是卡通的，有的是像狗一样。

## 面临的挑战

- **缺乏数据**：机器人需要大量数据来理解环境，预测可能性，并制定决策，数据在数量和质量上的欠缺都可能影响机器人的决策
- **缺乏训练环境**：某些罕见或复杂的任务难以获得足够的训练环境
- **难以响应综合需求**：如今的生成式AI善于处理单一需求，但难以理解人的综合需求

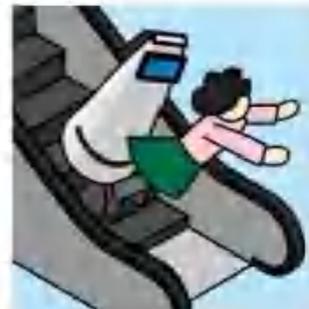
- **复杂环境**：机器人对复杂环境的理解能力仍然较弱
- **人机交互安全性**：人与机器人之间的交互仍然存在安全隐患
- **通讯能力**：机器人与其他设备、机器人的通讯交互能力不足
- **工程化能力**：多设备集成的成本仍然较高

- **形态单一**：现阶段机器人的形态仍然相对单一，以轮式为主，难以适应复杂、多样的城市环境
- **电机重量**：普遍笨重的电机影响机器人灵活轻巧地执行任务
- **电池技术**：电池会影响到机器人的尺寸、重量、运行时间等多个方面

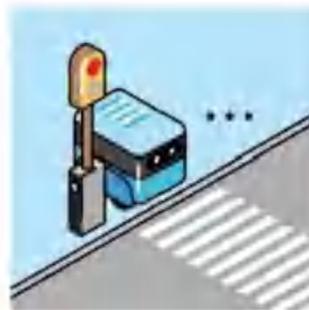
## “不适应症”实例



**不理解人**：某国际象棋公开赛上，象棋机器人夹伤人类棋手的手。原因是对方落棋后想要进行调整，但机器人无法理解



**不理解环境**：某商场中导购机器人试图乘坐自动扶梯下楼失败，跌落扶梯撞伤两名乘客



**难以融入城市**：因为无法按控制红绿灯的按钮而无法过马路

# 城市环境对话的行为主体 日益丰富和多样化

城市环境对话主体的多样化发展是必然的趋势，环境也在螺旋上升的通用无障碍发展中实现对多元主体的包容。机器人的参与，一方面应延续数字友好，践行以人为本的发展理念，以“为人赋能”为核心目标地优化支持机器人的城市环境；另一方面，当前技术下以人为主要参照的机器人，同样会面临环境障碍，需要城市环境更加通用友好。

## 数字友好

“世界数字友好城市”，人类面向未来、和谐友好、科技创新、以人为本、具有数字化互操性的地球村居民生活和产业集群单元。不仅是积极采用物联网、云计算、人工智能等技术的城市建设，更注重以人为本的创新理念。

## 残疾人友好

为残障人士提供无障碍的物理、信息和服务环境，促进、保护和确保所有残疾人充分和平等地享有一切人权和基本自由，并促进对残疾人固有尊严的尊重。

## 儿童友好

从儿童视角出发，以儿童需求为导向，以儿童更好成长为目标，完善儿童政策体系，优化儿童公共服务，加强儿童权利保障，拓展儿童成长空间，改善儿童发展环境，全面保障儿童生存、发展、受保护和参与的权利。



机器人友好...

## 老年人友好

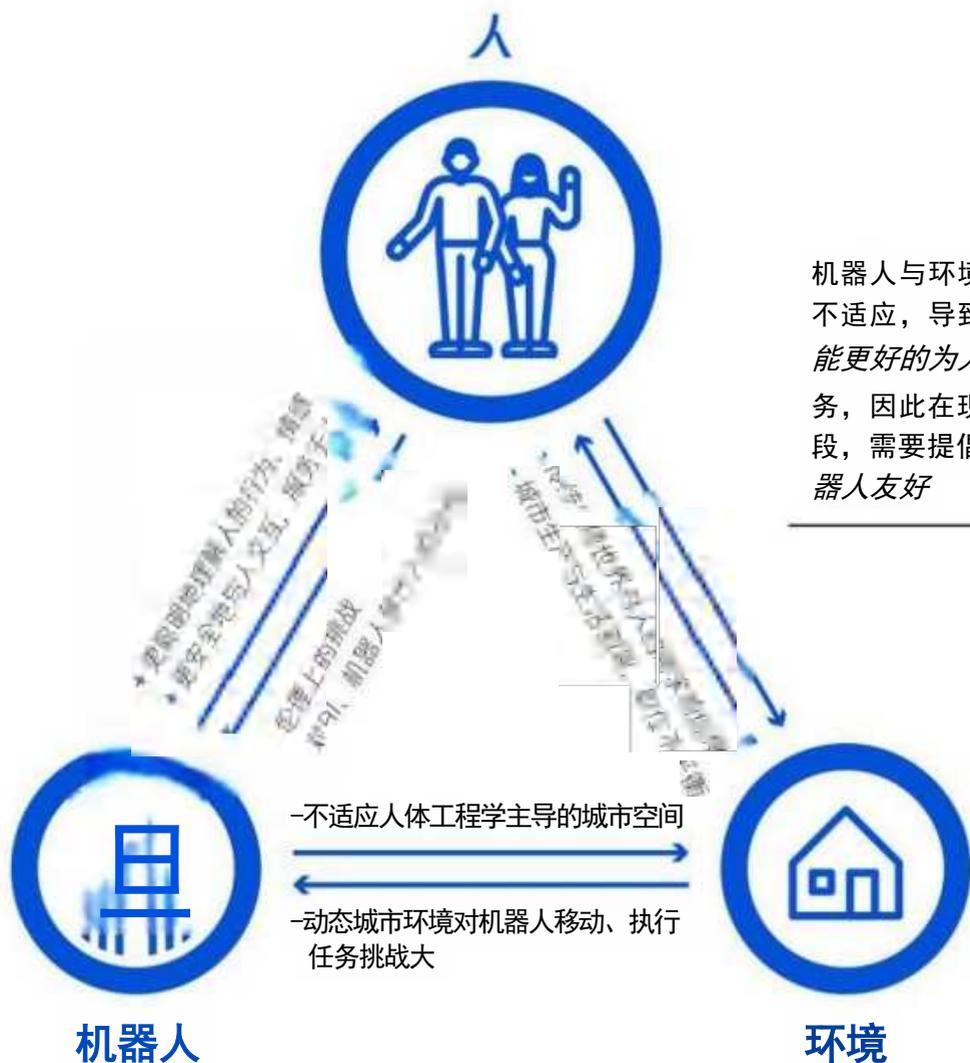
“世界数字友好城市”，人类面向未来、和谐友好、科技创新、以人为本、具有数字化互操性的地球村居民生活和产业集群单元。不仅是积极采用物联网、云计算、人工智能等技术的城市建设，更注重以人为本的创新理念。

## 交通出行友好

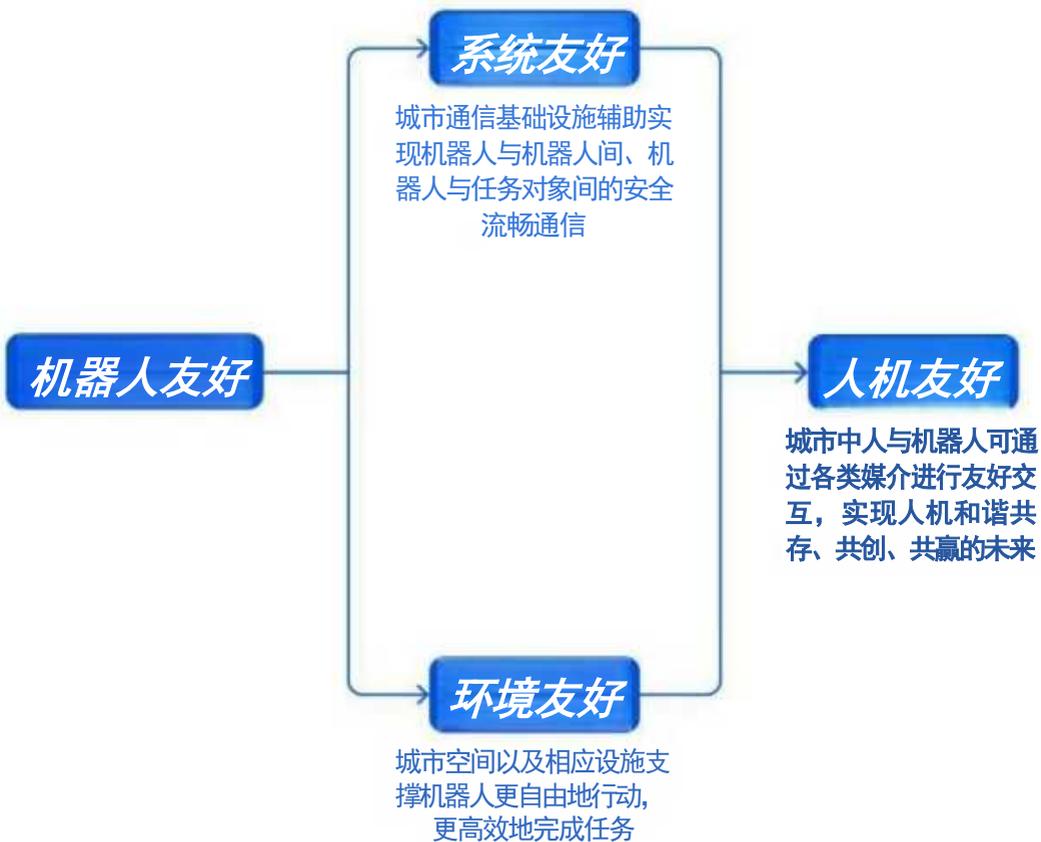
新城市主义中以公共交通为导向的发展模式，或是邻里单元中人车友好的人车分离体系都体现着面向交通出行城市友好环境的探索。

# 打造人-环境-机器人友好体系 可以“缓解”不适应症

因为现代城市是按照人体功能学规划建设。从形态来讲，只有完全的人型机器人才能完全适应现有的城市环境。而机器人形态多样，还没能做到“手脚灵活、耳聪目明”，所以需要打造符合机器人功能学的建筑——即机器人友好空间。



人、机器人、环境适应关系图



# 放眼全球，各地在建筑、园区甚至城市层面已开始进行了三个友好体系的探索

在机器人大规模应用前，需要足够多的落地实验。目前，在全球范围内，已经有了一些示范项目。本页将从“三个友好”视角对6个项目进行分析比较。

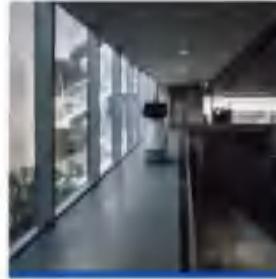
波士顿动力总部  
沃尔瑟姆美国



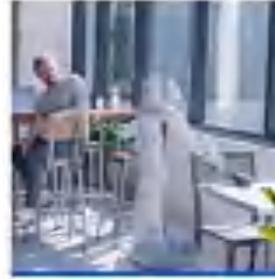
Naver 1784大楼  
首尔韩国



特斯联总部  
重庆中国



谷歌湾景新园区  
山景城美国



MIT 媒体实验室  
波士顿美国



首尔市  
首尔美国



## 人机友好

城市中人与机器人可通过各类媒介进行友好交互，实现人机和谐共生

**高度仿真：**波士顿动力的系列人形机器人已经实现了高度仿真，如模仿人类跑酷、舞团跳舞等

**定位明确：**机器人被定位为办公场所中的“秘书”，负责配送、清洁等多种任务

**展示功能：**建筑包含机器人展厅，还设置了基于光电玻璃和投影的展示立面，可以提高公众对机器人的认知

**Everyday Robot：**超过100种原型机器人在办公室、茶水间等公共空间通行并自动执行任务，成为能够在随时变化的人类环境中自主运行的机器人

**模块化：**采用模块化的临时性分隔方法，方便随时开敞闭合。复合的多种功能同时方便人与机器人使用，搭配可移动家具，如演讲/展览/集会/测试等

**机器人博物馆：**首尔计划建造全球首座专注于机器人科学的博物馆，博物馆本身也将由机器人建造  
**机器人官员：**在市政厅运送文件包裹，并接待游客

## 系统友好

城市通信基础设施辅助实现机器人与机器人间、机器人与任务对象间的安全流畅通信

**灵活供电：**机器人研发区悬垂了大量充电设施

**辅助导航：**在通道中设置二维码以辅助机器人导航

**数字孪生：**数字孪生模型与机器人定位系统使机器人准确了解自己所在位置，视觉读取与空间导视亦可提高通行效率

**其他技术：**云端大脑、5G

**充电空间：**设置了专门的机器人充电空间

**厂房空间：**在跨度大、净空高、承重好的厂房建筑中进行机器人测试

**减少分隔：**办公区域架空，测试区域减少隔断，多使用软性灵活隔断

**专属交通空间：**机器人专属电梯、与机器人宽高匹配的小型走廊等

**无障碍设计：**减少台阶高差、用方便轮子行驶的高摩擦材质、减少墙面隔断

**一体化设计：**轮式机器人可以自由行动的坡道成为建筑设计中的标志性元素

**一体化设计：**建筑的构件设计融合了多领域的节能舒适新技术，如地源热泵系统、雨污收集处理回收系统，可以控制温度、声学和空气质量

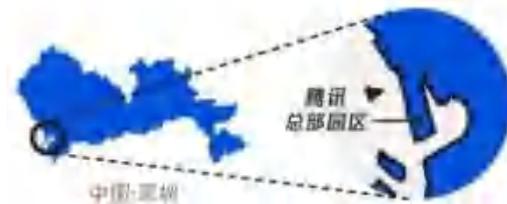
**机器人组团：**在首尔南部计划建立一个包含在机器人学院、博物馆和主题公园的机器人组团，其中的学院将在2030年前培养2000名机器人人才

## 环境友好

城市空间以及相应设施支撑机器人更自由地行动，更高效地完成任

# 腾讯总部园区作为数实融合的综合技术试验区，也致力于为打造机器人友好城市提供腾讯思考

位于中国深圳的腾讯总部园区作为一个综合技术融合试验区，也致力于为成为机器人友好城市的试验田。



## 机器人助力的未来体验岛

**园区：**让机器人切实响应痛点需求，并实现绿色低碳运营  
**员工：**为腾讯总部园区居民的工作和生活提供更多便利  
**访客：**使访客亲身体验“未来”



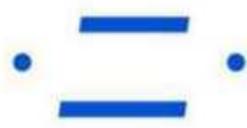
## 技术融合的机器人试验场

**展示：**提供机器人前沿技术的展示空间  
**试验：**在真实场景下探索人机共存、协作、共融  
**融合：**提供更多场景下机器人和AI碰撞、融合、孵化的机会



## 科技向善的机器人示范区

**平台：**为相关企业和产品提供可落地的机会  
**标准：**通过前瞻性实践探索机器人在城市中大规模应用的标准  
**使命：**科技向善，让机器人更好、更可持续地服务更多人



## 环境友好： 高效的空间适配

*建筑和城市进化的核心议题始终如一：为了提高人们的生活水平和社会运行效率，即人居空间的最优解问题。当下，人工智能和机器人技术爆发前夜，建筑和城市空间如何接纳机器人作为人们生活、工作的有力助手的议题也随之而来。*

当机器人在效率、成本上可以接替部分社会服务功能时，原本为人体工程学量身打造的空间是否会给机器人的高效运作带来挑战？建筑和城市空间的建构过程中是否需要考虑人机共生的逻辑和**需求**？

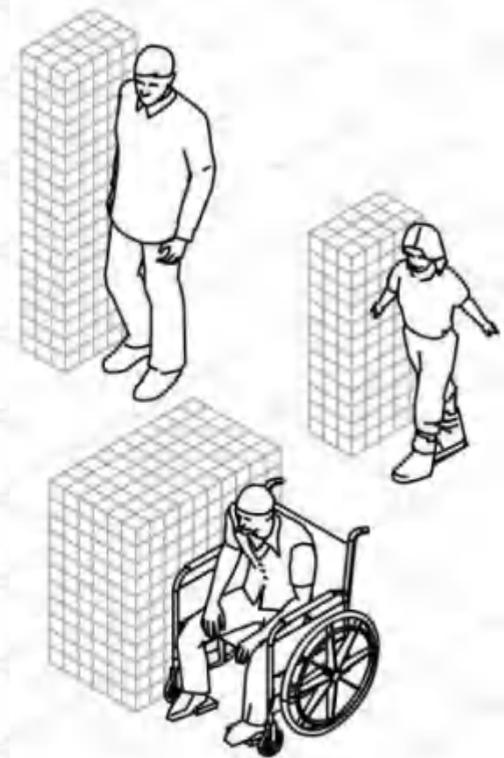
现阶段的机器人主要是专用功能、专用造型的非人形机器人，它们的智力水平类似儿童，而行动能力又似腿脚不够灵便的老人。类比我们在倡导的**儿童友好城市、老龄友好城市**，那对于机器人这个城市新物种，我们如何对建成环境做成本可控的微改造，使两者之间能更好的适配？

# 为机器人做适度空间适配是现阶段“环境友好”的核心方式

传统的空间设计仅以人体工程学为依据，而人机共生的新空间设计则需要考虑人和机器人之间的协作。新空间需要综合考量人体和机器人的尺寸和行为方式，确保人类在空间内的舒适度和效率，同时给予机器人足够的空间来移动、转向和操作。因此，我们对比了人体和机器人的尺寸，以期建立适合人类和机器人共同生活、工作的新空间。

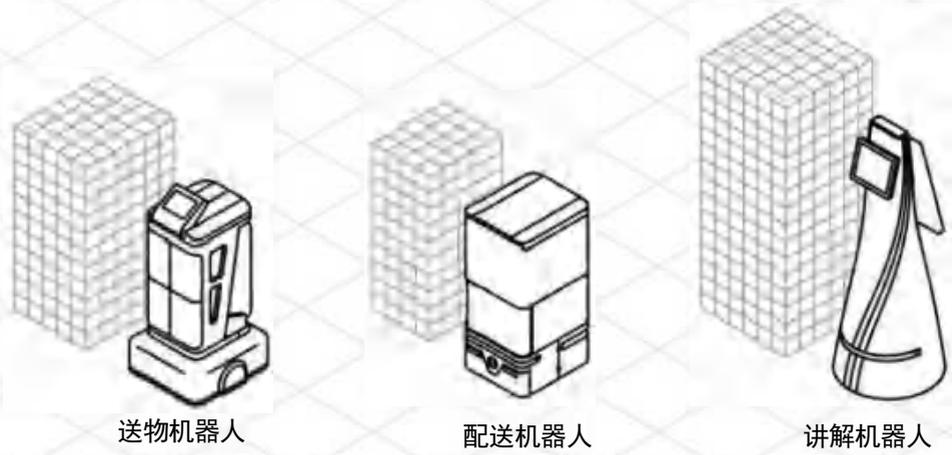
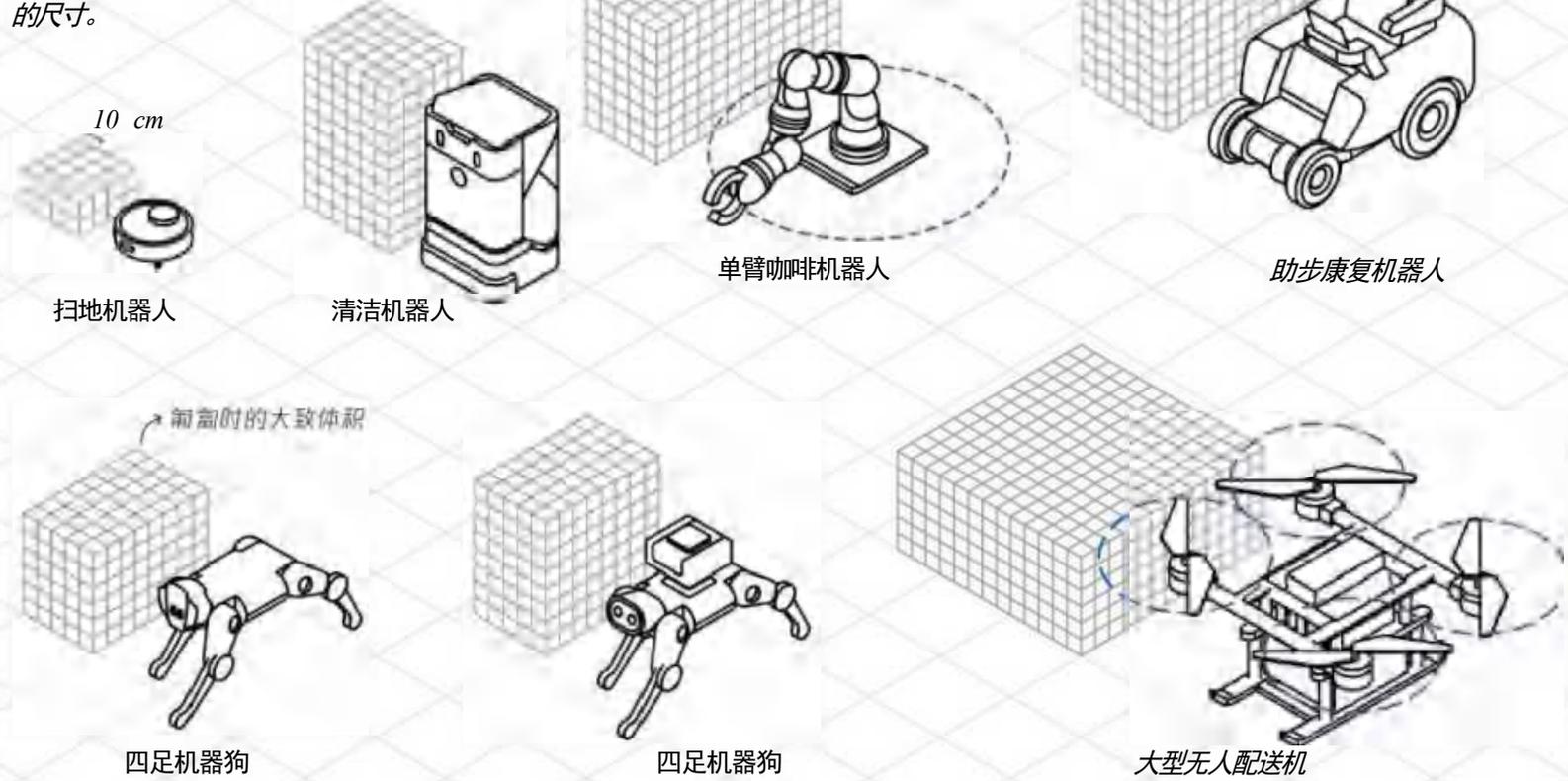
## 人体基本尺寸

目前关于人体基本尺寸的研究已经有多年历史，被广泛应用于建筑、工业、产品设计、医学等领域。由于人类的身体结构和形态是相对稳定的，因此人体基本尺寸的标准数据也相对稳定。以下展示了成年人、行动障碍人士和儿童的常见尺寸。



## 机器人基本尺寸

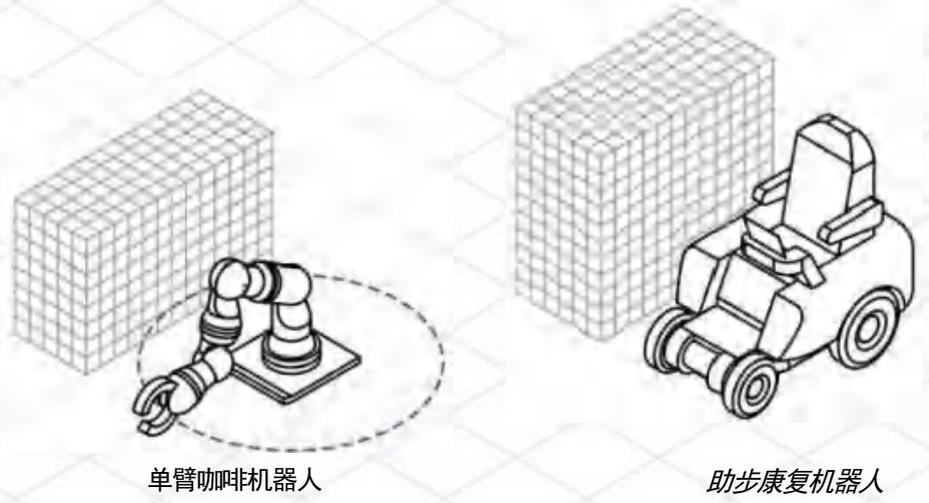
相比于人体基本尺寸，机器人的基本尺寸更加多样化。因为机器人的功能和工作环境不同，而产生了不同的通过方式和工作方式，所以出现了不同的形态和尺寸，难以形成统一的标准。以下展示了几种常见机器人类型的尺寸。



送物机器人

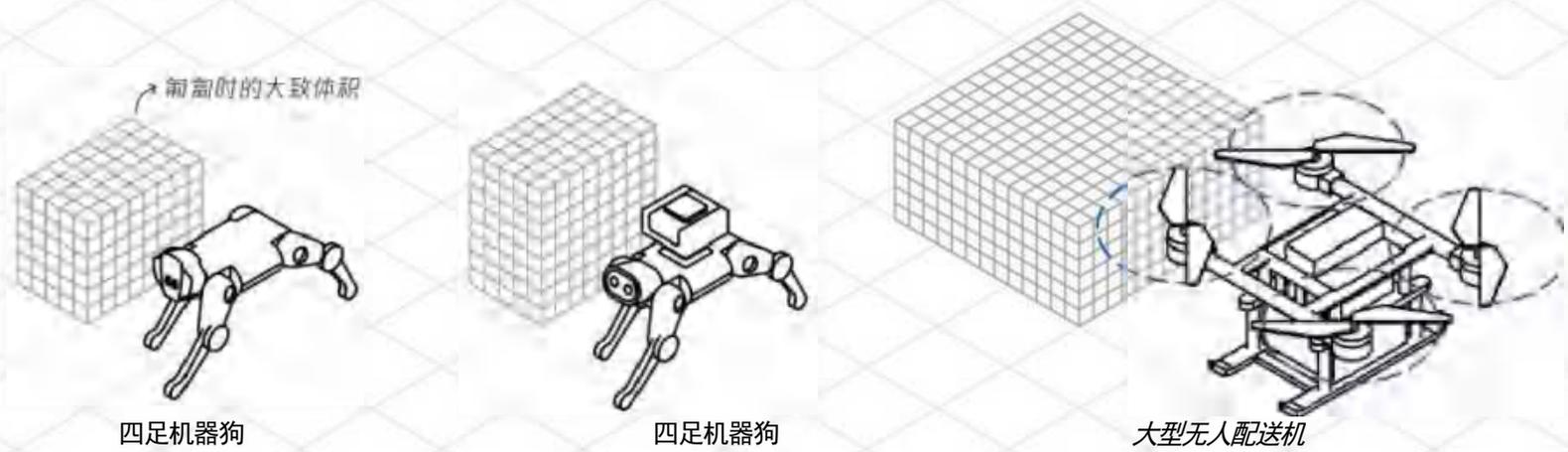
配送机器人

讲解机器人



单臂咖啡机器人

助步康复机器人

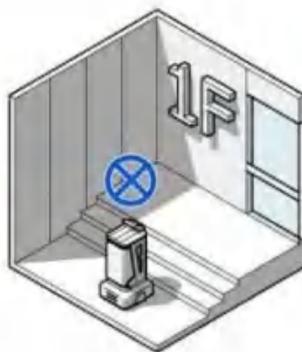
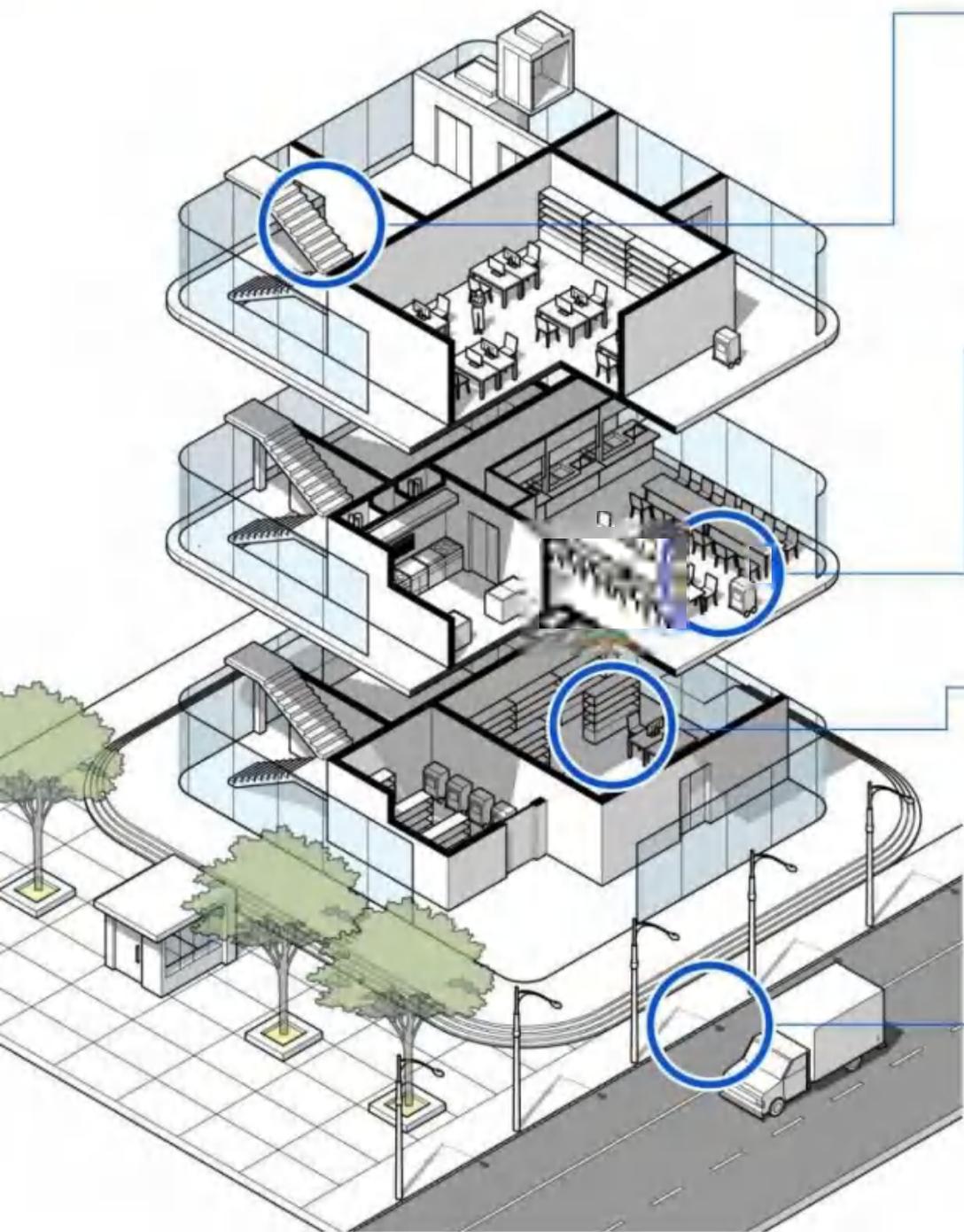


四足机器狗

四足机器狗

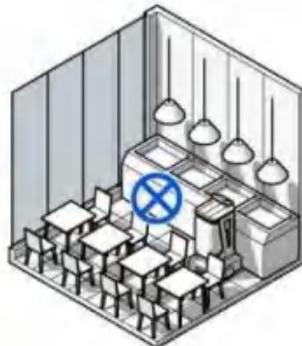
大型无人配送机

# 机器人在人居空间“生存” 面临四类挑战



## 1. 机器人的可靠通行、定位的挑战

在传统的建筑空间中，存在大量特定形态的机器人无法跨越的地形，如轮式机器人无法通过台阶、陡坡和地面接缝。机器人需要适合其通行的地面材质和光照环境。同时在人机混行空间里，机器人通行和工作效率受到较大影响。



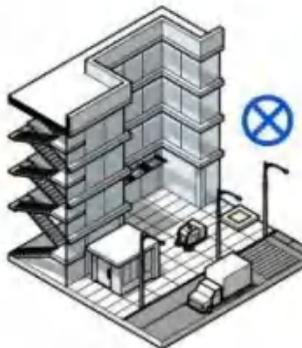
## 2. 机器人专用的工作空间设计和布局的挑战

机器人在现有的工作空间中面临着无法直接进入或使用的问题，因为这些空间的设计布局是按照人类的需求和 workflow 进行的，而与机器人的尺寸和设备要求不匹配。现有的空间配套无法满足机器人专用工作空间的外围尺寸和设备需求。



## 3. 机器人补给、维护、测试空间设计和布局的挑战

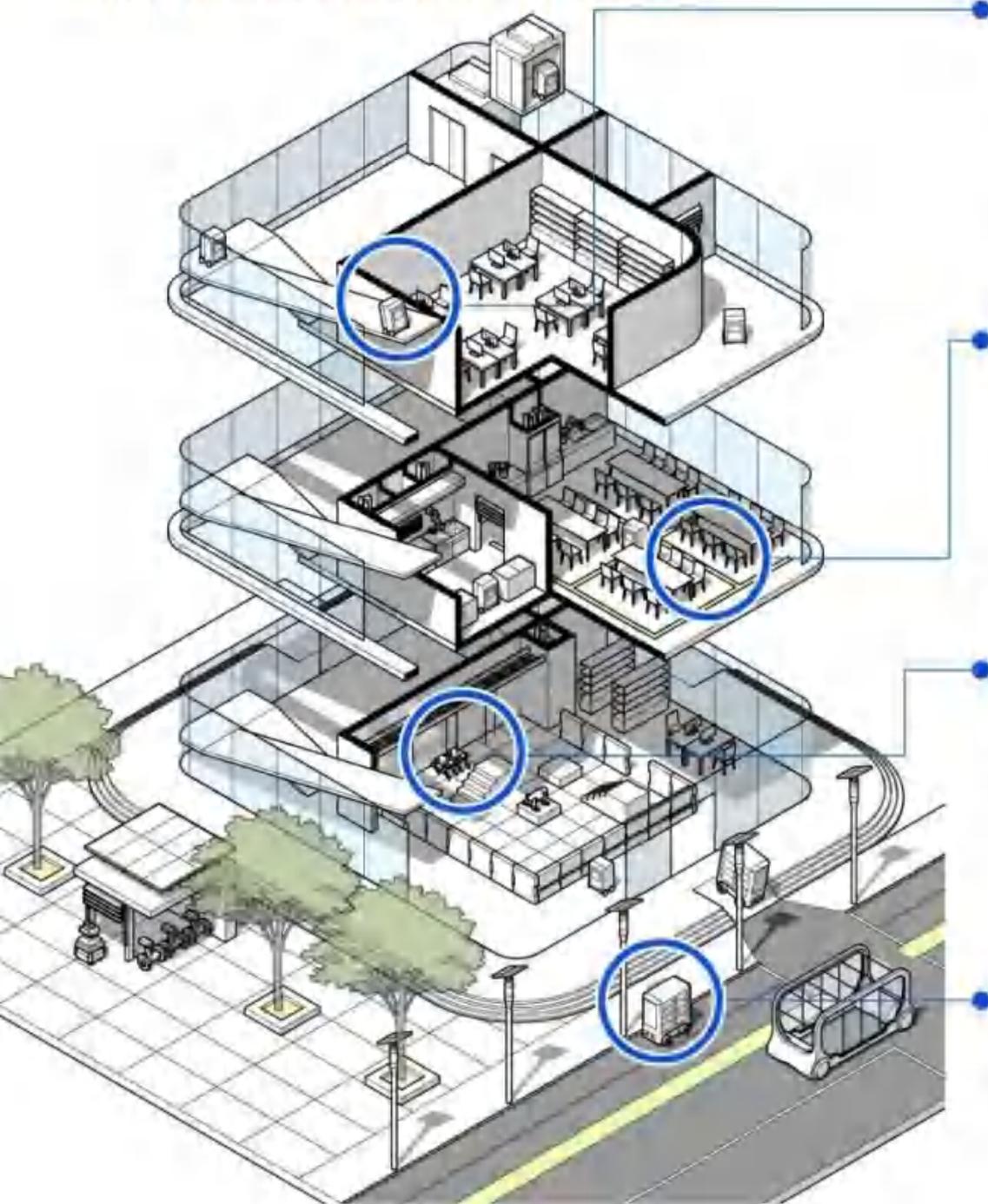
由于机器人需要定期充电和维护，缺乏专用的充电和维护空间可能导致操作效率低下和工作中断。现有的大楼后勤空间可能无法提供机器人所需的电源插座和充电设备，并且可能缺乏适当的存放和维护机器人所需工具和备件的后勤空间。



## 4. 机器人主导的活动空间与人类活动空间组织、整合的挑战

现有建筑的平面布局无法让机器人技术支撑下的系统发挥最大效率，也没有做到尽可能节省面积或利用起本应可以被机器人利用的空间。园区和建筑的整体流线和运作策划没有将机器人的需要纳入到考虑之中。

# 综合考虑机器人模数和空间需求， 应该为机器人提供四类新空间



## 1. 机器人行动友好新空间

在这一类新空间指南中，描述了机器人通行、出入、定位识别等方面的空间设计要求。从调研案例总结出的机器人形态、尺寸、通行能力等指标出发，在水平和垂直交通空间设置、流线组织、户外场景配套等方面提出建议性导则。以更高效率的专用交通空间提升机器人运作效率并减少可能的事故，在人机共处场景下增加安全性。



## 2. 机器人工作环境友好新空间

在这一类新空间指南中，描述了供机器人工作的专用空间的设计要求。在以机器人为中心的原则出发，在空间结构处理、室内外空间界面、功能布局等方面提出建议性导则。机器人专用的工作空间根据服务场景不同需设置不同类型的设备预留接口，建筑内此类工作空间的排布方式也可根据机器人的工作模式特点做出调整。



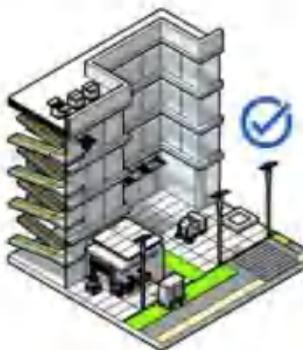
## 3. 机器人维护测试友好新空间

在这一类新空间指南中，描述了支撑机器人系统运作的辅助空间设计要求。根据不同机器人结束工作后所需的充电、停放和维护需求，以及不同研发阶段机器人的测试需求，在辅助空间如何与城市和建筑空间结合的方面提出建议性导则。维护测试类空间尽可能利用城市和建筑内不适合人类久居的空间，由此提高空间利用的效率。



## 4. 机器人与建筑一体化友好新空间

在这一类新空间指南中，从顶层策划的视角描述了机器人友好新空间的设计要求。根据上述所有涉及的机器人友好空间类型，对这些空间的组合方式、与建筑形态的结合方式等方面提出建议性导则。通过集中设置机器人工作和对应辅助空间，将可供人类使用的空间尽可能放大，并且在必要的位置留出供保障人员进入的通道，保证系统安全运行。



# 机器人行动友好新空间

## 1. 建筑内部水平交通

保证轮式、四足式等不同行走平台的机器人可以顺利到达建筑各处

0 在建筑中设机器人坡道：轮式机器人的坡道不宜过大。[坡度上限 $8^{\circ}$  -  $13^{\circ}$ ]

② 台阶、高差：供四足机器人通过的台阶和高差不宜过大。10cm-20cm/ 台阶

③ 门和闸机：宽度设计、门扇形式考虑机器人的通过需求。

④ 机器人专用通道宽度应至少容纳两个机器人双向通行，保证机器人停下进行操作时通道不被堵塞。

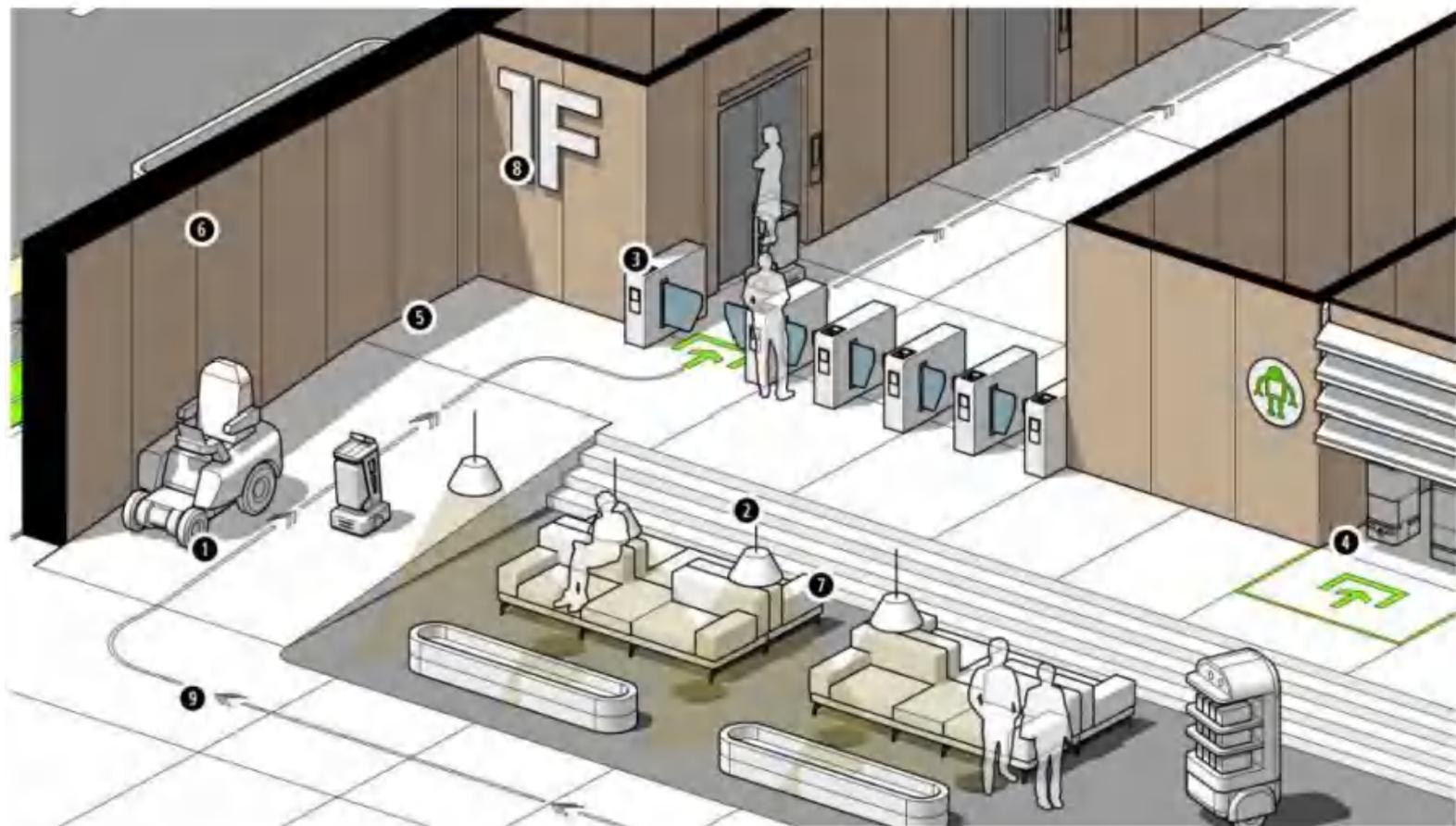
⑤ 选择地板材料时考虑机器人的特性，主要考虑的是防止机器人打滑，摩擦系数需要达到一定指标。

0 选择墙体装饰材料时考虑其与机器人的硬接触，防止机器人损伤墙壁，可以作为特殊情况酌情考虑。

① 强光环境下，机器人视觉算法有失灵风险。因此在室内考虑减少机器人视觉干扰的灯光设计，面积较大的开阔空间考虑设置引导装置。

③ VI设计应考虑AI视觉的技术特点，如提高标识的对比度和清晰度、标准化的尺寸和位置、考虑光照环境和材质的反光性等。

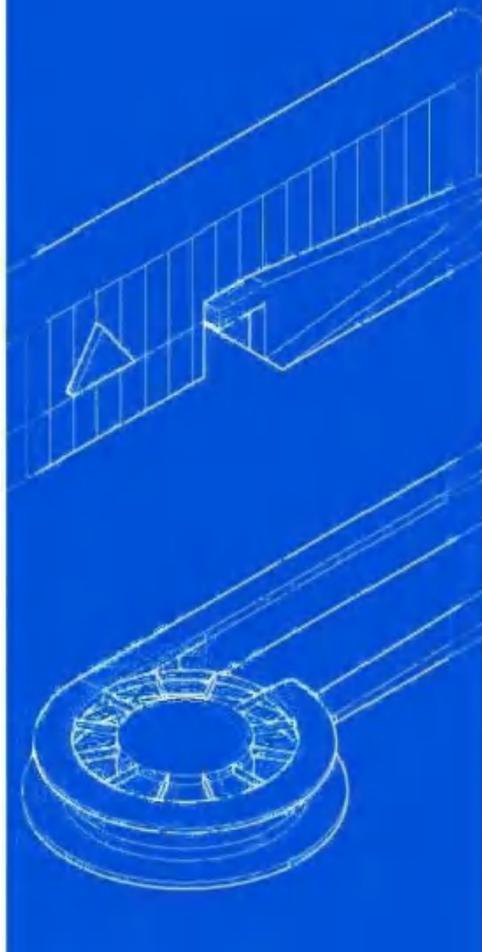
⑨ 根据机器人的自动寻路技术进行空间适配，目前大部分服务机器人具有综合视觉导航能力，部分特殊空间可能需要对AGV机器人进行物理导航，比如贴路标指引。



## 案例介绍

### 特斯联，机器人进出坡道和带顶棚充电区域

在重庆特斯联公司总部，建筑师设计出供机器人进出建筑、上下楼的室内外坡道，轮式机器人可以经由坡道到达展示厅、工作区、户外平台、充电区等空间，并且在户外设置的机器人充电区域配有遮盖结构，保证雨雪天气下机器人的正常工作。



## 2. 建筑内部垂直交通

### 机器人专用场景：

- ① 为机器人配备高效、安全的上下楼专用通道是一种解决方案。
- ② 与各个厂商达成统一的通讯协议，便于机器人呼梯、派梯。
- ③ 必要时，可以为机器人配备专用直梯；甚至在特殊情况下设置多部电梯，将运送快递物资和垃圾、运送餐食和商品的机器人分配乘坐。出于卫生需求，运送餐食的通道一般不宜和运送垃圾的通道混合

④ 在展示型等特殊空间类型建筑中，视条件建设专用坡道。

### 人机混行场景：

⑤ 人、机器人混行的垂直交通需要关注机器人尺寸，以人体功能学尺寸模数为标准。

⑥ 在电梯间墙面、轿厢内部安装指示装置，用于提醒人员机器人即将进入混行，并在轿厢内显示机器人停留位置的标识。提升安全性。

## 3. 设置机器人专用的建筑出入口

⑦ 根据物资进出的需要，设置一个或多个机器人专用出入口。

⑧ 城市配送机器人和楼宇内配送机器人交接用空间、出入口。

## 4. 园区内户外通行的保障

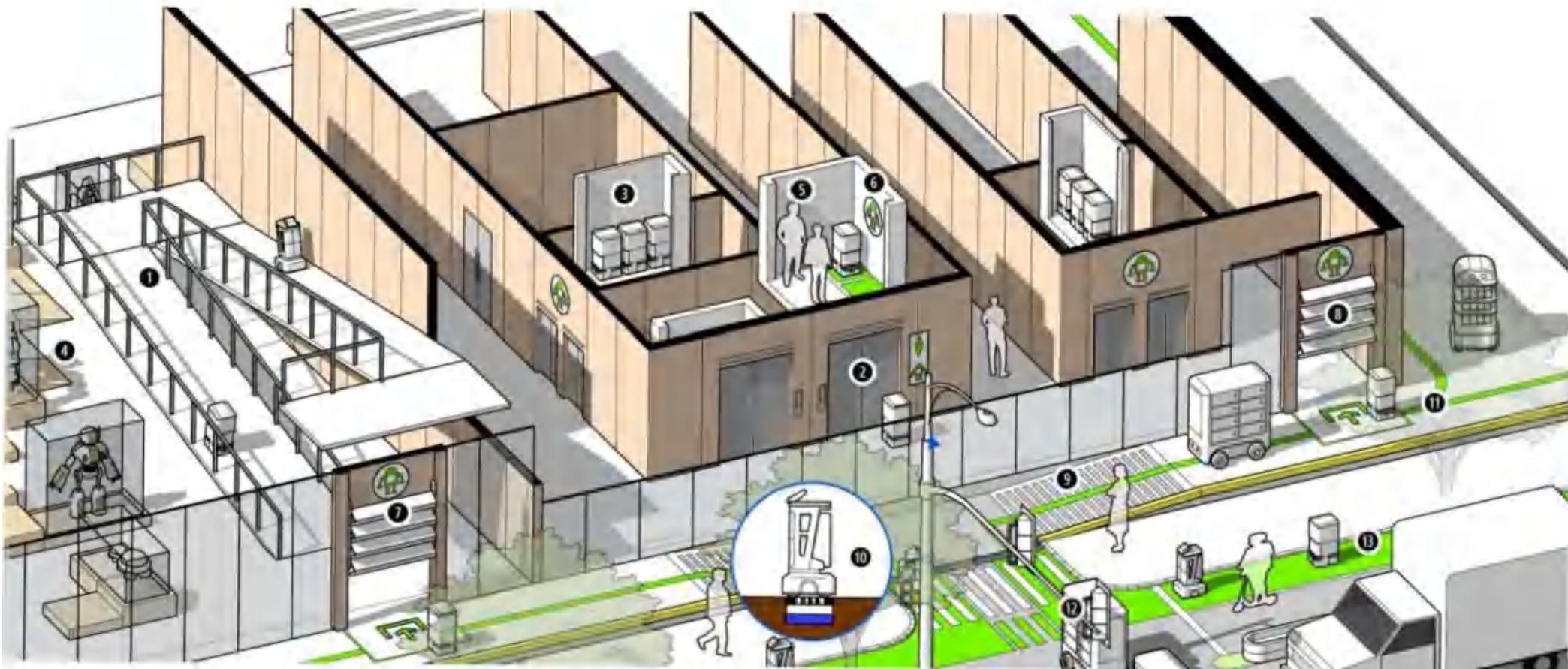
⑨ 室外无障碍坡道可用于轮式机器人的通行，坡度不宜过大，上限为 $8^{\circ}$  - $13\%$ 。

⑩ 地面接缝、排水槽；避免过宽的局部地沟，如无法避免则应预留出可供机器人通过的节点。

⑪ 户外无人车通行路径设置标识：在景观休闲区域、行人步行区域内无人零售车、无人物流车可能通过的路径，配备无障碍坡道和提醒行人的标识。

⑫ 中远期，建议机器人与红绿灯等交通设施打通通讯交互。

⑬ 城市道路配送无人车车速较慢，为避免与高速行驶机动车发生碰撞，可以考虑为其赋予路权并设置无人车专用的通行断面，例如考虑与城市慢行系统共用断面。



# 机器人工作环境友好新空间

## 1. 建筑空间模块预留

建筑内部为机器人工作空间预留出安装位置，以装配式房间模块、嵌入式设备的形式安装。按需规划水、电、物流、排风等接口

0 餐点、咖啡、小食制作机器人专用的工空间，以模块化形式在建筑内部预留出空间、设备安装用的水、电、物流接口

② 消费类空间的室内墙壁：按需留出嵌入点单、交互界面的可更换接口

③ 消费类空间面向城市的立面：按需配备遮阳、防雨装置的接口

① 无人机配送机器人需要在建筑立面和阳台预留停放平台

## 2. 机器人专用空间前后台接口的预留

接口类型包括：空间布局上预留机器人使用的前台、后台接口。用于物流取货、物资补给和更换、进出运营空间

⑥ 在室内墙壁上预留各类服务机器人进出后台区域进行充电和维护的出入口，尺寸和形式符合机器人的通过标准，且配有面向人员的提醒标识

⑥ 物流机器人每层设置固定的取送点，模块化嵌入墙体

① 消费类机器人工作空间在室内、室外留出与配送机器人对接专用的消费品物流取货口

0 无人餐厅采用适配机器人送餐、送餐模式的餐椅布局



# 机器人维护测试友好新空间

## 1. 充电、停放和补给空间

0 根据机器人的尺寸和数量规划空间面积和楼层分布；待机空间配备充电和换电设备，设备与墙壁预先集成，且预留后期更换升级的接口。

② 每层或隔层设置清洁机器人专用维护区域，进行垃圾回收、上下水、清洁剂补充、配件更换等工作。

① 为园区户外清洁机器人在建筑物内部或园区适当位置配备充电、垃圾回收点。

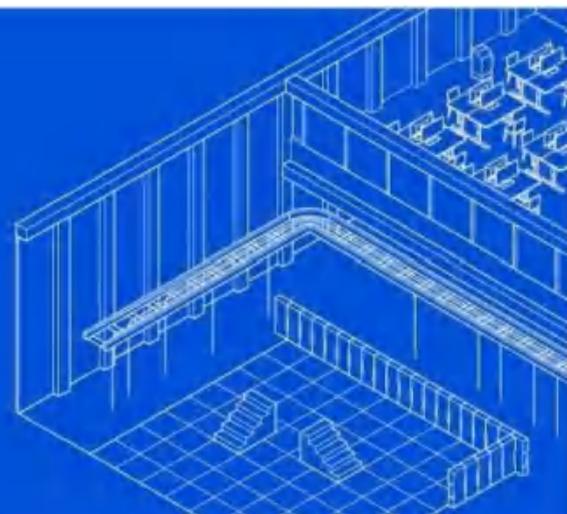
④ 在屋顶和建筑外立面适宜位置为无人机预留停放和充电的区域。

⑤ 为园区配送、巡检无人车在建筑物内部或园区适当位置配备停车空间，配备充电、换电设施。

### 案例介绍

波士顿动力总部研发空间的设施配套和空间划分

波士顿动力总部办公和研发空间由邮政仓库改造而来，一层部分设为灵活布局的机器人研发和测试空间，办公工位区设置在二层。研发和测试空间配有大量的电源接口，供机器人充电、供电、研发设备供电。开放无隔断的一层空间局部还可根据需要设立带围栏的测试区。



## 2. 在建筑和园区不同位置为不同机器人设置作业辅助空间

0短途交通与室外公共空间结合，设置代步车还车点和取车点。

② 市政管廊预留检修机器人进入的通道。

③ 为餐点后厨制作区域预留空间，预留水、电、排风、物流接口。

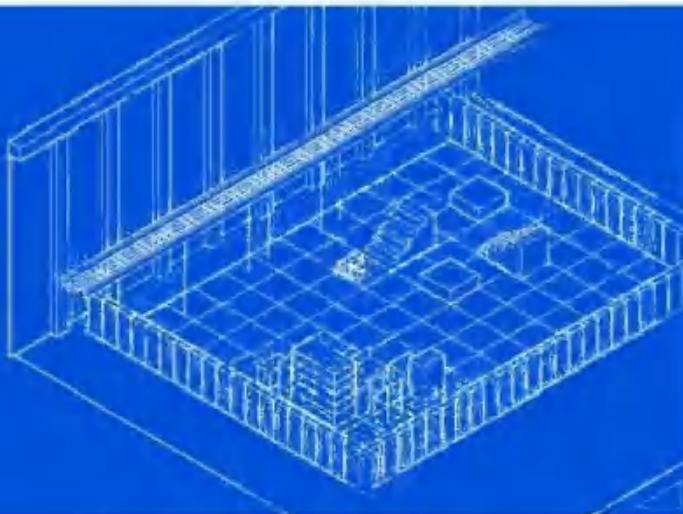
0为各类物资的储存区域预留空间，按需要预留出冷柜、物品柜、工具柜等，并为机器人提供拿取物资的出入口。

⑤ 预留机械臂、物流机器人专用的货物分拣空间。

### 案例介绍

#### 波士顿动力总部测试空间

波士顿动力总部的机器人测试区在开放空间内划分出一片独立区域。设立临时围栏，地面铺设地垫并配有研发测试用主机等设备，移动重量较大的机器人时需要使用搬运架。



## 3. 人机共存的维护和测试空间

0机器人通道避免过多的狭窄转弯，转弯和交汇处可适当放大空间节点。

① 建筑和园区内灵活设置机器人测试区，测试阶段的机器人具有明显的提醒标识，测试区的边界也配备进入测试区的提示。

③ 建筑楼板的荷载设计标准应充分考虑重型机器人地面放置、天花吊装的情况。

0机器人所在维护和测试空间围护墙体按需求应当增加隔音、气体密闭等安全措施。



# 机器人与建筑一体化友好新空间

通过将机器人友好系统与智慧建筑系统紧密结合，我们可以在策划、设计和工程实施过程中协同推进和整合落地。这种耦合意味着考虑机器人友好因素，如路径规划、工作空间布局等，以实现机器人与智慧建筑的协同工作。

## 1. 空间布局

尽可能将机器人工作空间的后台接口相近布置或串行布置，提高系统的运转效率；并建议与建筑的核心筒等功能向结合，尽量利用黑空间，以利于将更适宜的空间留给使用者。

## 2. 建筑形态

可结合不同类型机器人的流线规划来塑造具有特色的建筑形态，如结合轮式机器人的坡道等，结合无人机的降落空间打造露台和屋顶的特色空间等。

## 3. 立面风格

可选用与机器人元素较为匹配的科技型、交互性新材料作为立面元素。同时结合建筑功能尽量保证立面的通透度，以便于对机器人的室内外活动做更好的观察。立面材料的选择应同时保证便于机器人识别和信息通信。

## 4. 交通流线

专业的服务机器人如配送、清洁、巡检等机器人需要考虑人机混行的工作流程中如何保障人机安全问题。可设置专用或分时复用的机器人通道和出入口。接待类机器人活动空间较为灵活，可与户外广场等结合设置。





## 系统友好： 可持续的系统支持

在更适配的物理空间之外，机器人要在建成环境中自由行走和高效工作，还需要配套的基础设施支持。其中，敏捷协同的信息系统和可持续的能源系统是最基础的两个要素。

与此同时，机器人也是连接数字空间与物理空间、连接人与空间的数字纽带的重要组成部分，在WeCityX未来城市平稳高效的运行中扮演重要角色。因此，保障机器人与城市其他系统的稳定协同，保障机器人及其系统本身的稳定和安全，也是最必要的两个支持。

# 信息支持系统为机器人高效运行提供数字化支持系统

## 应用

应用层级涉及机器人终端、场景和人机交互，将数字平台的功能应用到具体的任务和场景中。

### 交互终端： 人机交互



### 应用场景： 满足需求



### 机器人终端： 执行指令



## 平台

平台层进行数据的收集、存储、处理和分析，以及决策支持的生成。

### 平台层： 运算、决策



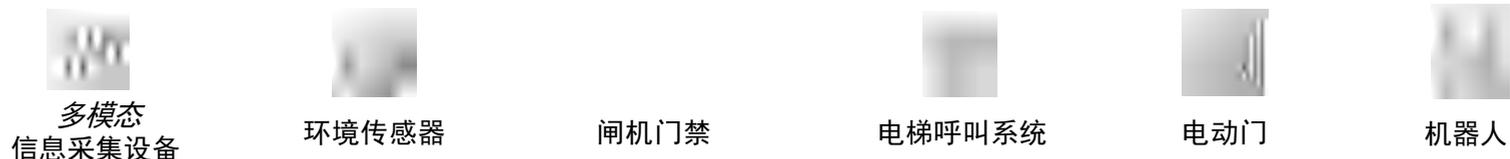
## 底座

硬件和通信设备作为底座提供机器人的空间信息采集和数据传输能力。

### 数据通信层： 信息传递



### 硬件设备层： 采集信息

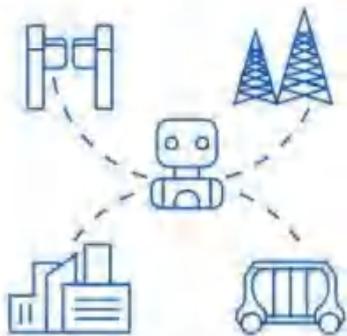


# 机器人和各类物联网设备互通互联，实现室内外一体的综合服务

## 策略一：与机器人建立标准统一的互联互通

作为一种重要的物联网设备，将机器人及其系统的物联标准[含硬件、软件、通信等]纳入建筑和城市数字纽带统一物联标准体系，确保相关设施和系统建设的一致性，便于机器人能够与建筑内的其他人、设备以及空间，实现跨系统交换信息、以及互动协同。

作为建筑和城市重要的感知终端和计算终端，将机器人及其系统的物模型等数据标准纳入城市数字纽带统一数据标准体系，确保机器人在日常的工作和协同中，交互数据和执行指令的有效性和准确性。



## 策略二：通过综合部署实现室内外一体化

机器人在室内有明确的参照物，可以依靠雷达、红外等设备实现较为准确的感知和定位；一旦机器人走出建筑内部，进入开放城市空间，就需要“穿戴”更多种采集和计算设备，比如高清摄像头等，使其可以更加敏锐的捕捉环境信息，并实现定位。但更加为复杂的户外建成环境、人机物更加高通量的交互都对其产生巨大挑战。目前的产业发展阶段，纯视觉导航不是最经济、最可行的解决方案。因此，机器人厂商在探索类似智能驾驶发展路线的“车-路-云”一体化方案。具体而言，可以考虑和自动驾驶汽车共用室外的通讯系统，例如智能灯杆、路侧雷达等。



## 策略三：

## 通过机器人群控、边缘智能实现综合服务

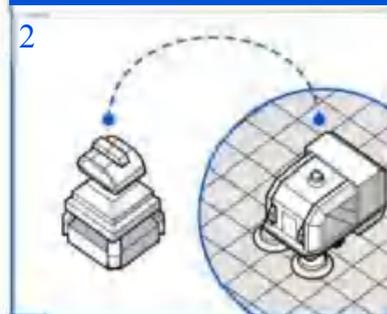
随着AIOT的发展，边缘设备除了存储以外，还可以有了更多计算的能力，甚至是在AI方面的智能化决策和模型。这就使得分布式智能成为边缘计算的新趋势。

机器人作为智能执行体，未来可以与边缘设备形成合作式边缘智能，共享算力的同时，通过机器人云端大脑，将环境也进行共享。

就像人学习一样，通过强化学习，车或者机器人就可以观察周围的环境，和其他的机器人彼此间共享这个环境和状态来学会协作的策略。进一步形成机器人群智能。从而带来更加智能的交互和更好的服务。



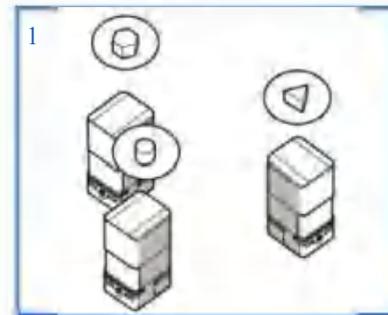
1 巡检机器人观察环境，识别到环境卫生问题。



2 巡检机器人远程呼叫清洁机器人下达清洁指令。



3 清洁机器人到达巡检机器人提供的位置，开始处理问题。



1 下达多种货物配送命令配送机器人自行安排任务。



2 配送机器人到达各自取货点与分拣机器人协同工作。



3 多台机器人分别将不同货物送达，共同完成任务。

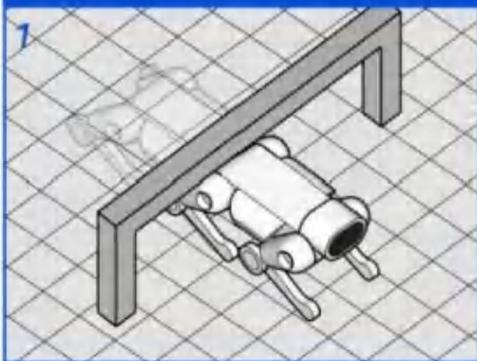
# 同时，信息支持系统也为机器人提供海量、真实训练数据

无论是工业还是服务机器人，甚至是我们生活的最后一公里，机器人逐渐进入日常生活。但是，机器人，特别是复杂任务机器人的开发过程相当复杂，时间长、挑战大、成本高。

在许多场景甚至corner case中，缺乏结构化的数据进行机器人训练。通过仿真训练平台，可以先在数字世界实现机器人大规模预训练，再在实体空间中进行测试。

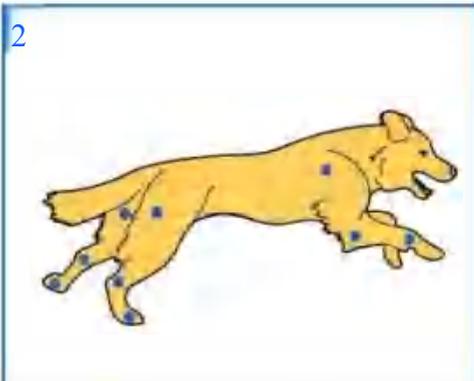
## 案例：腾讯机器人仿真训练

经过对真实动物的动作捕捉，使用AI训练过的四足机器人可以展现出逼真的灵活性和策略性。



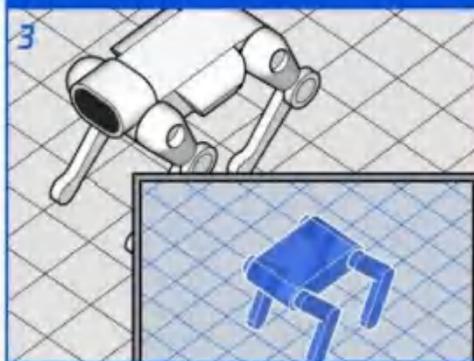
### 训练前

在未经过仿真训练时，机器人对空间环境的适应不足。例如当它通过横杆时，它会将四足下蹲，用低效的缓慢移动通过横杆。如果不借鉴自然界生物体的特性，用僵硬的动作去处理复杂的任务十分困难，因此需要对机器狗展开训练。



### 收集动作数据

通过腾讯游戏的动捕技术收集一定数量的动物狗在平地上常规的运动姿态数据，包括走、跑、跳、站立等数据，游戏研发制作过程中积累的多元动捕素材也为此提供了帮助。



### 学习动作数据

利用这些数据，工程师在仿真器中构建了一个模仿学习任务，将这些数据中的信息学习并表达成虚拟机器人的神经网络上。再利用重定向技术，可以让这些数据在仿真引擎准确和高效地映射到机器人本体。



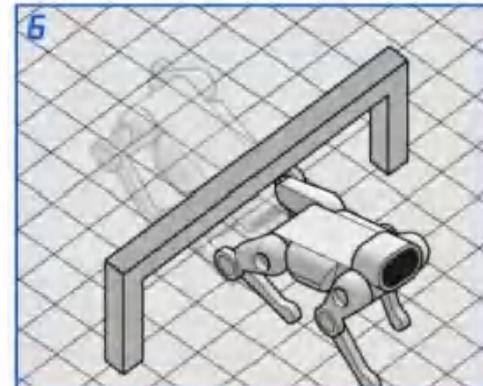
### 拟真世界受控训练

在拟真世界，感知自身的关节状态，并按照随机指令在平地练习和适应自身的动作。游戏技术以及数据对基于物理仿真的智能体训练以及真实世界机器人策略部署也起到了一定的辅助作用。



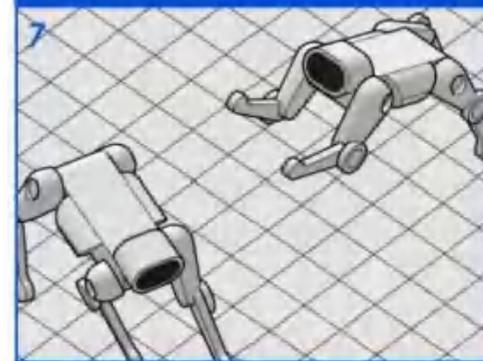
### 加入外部环境训练

在拟真世界里，加入复杂环境因素。训练虚拟机器人对动作数据的熟练度，并感知外部环境，运用学到的动作去应对外部环境造成的各种障碍。



### 训练后

在仿真器中训练好的模型，可直接拿到真机上使用，无需在真实世界中继续调优。训练后的机器人再次面对横杆时，可以采用合适姿态“下钻”，快速通过障碍。



### 模拟追逐

训练后的机器人可以模拟动物对环境的理解和行为模式，并运用这些姿态去解决新的各种障碍的任务。使用它们进行模拟追逐，它们可以动物般地对目标和环境进行判断，做出更合理的决策并灵活地执行动作，如快速躲藏、猛扑等。

# 机器人和低碳建筑都需要纳入 未来能源系统综合考虑

## 策略一：

为机器人提供便捷可达、持续稳定的电力供给

### 充电设施

在特定的区域内设置充电设施，例如充电站、充电柜、充电座等。这些设施通常位于机器人的工作区域或停放区域附近，便于机器人在需要时前往充电。

### 电源接口

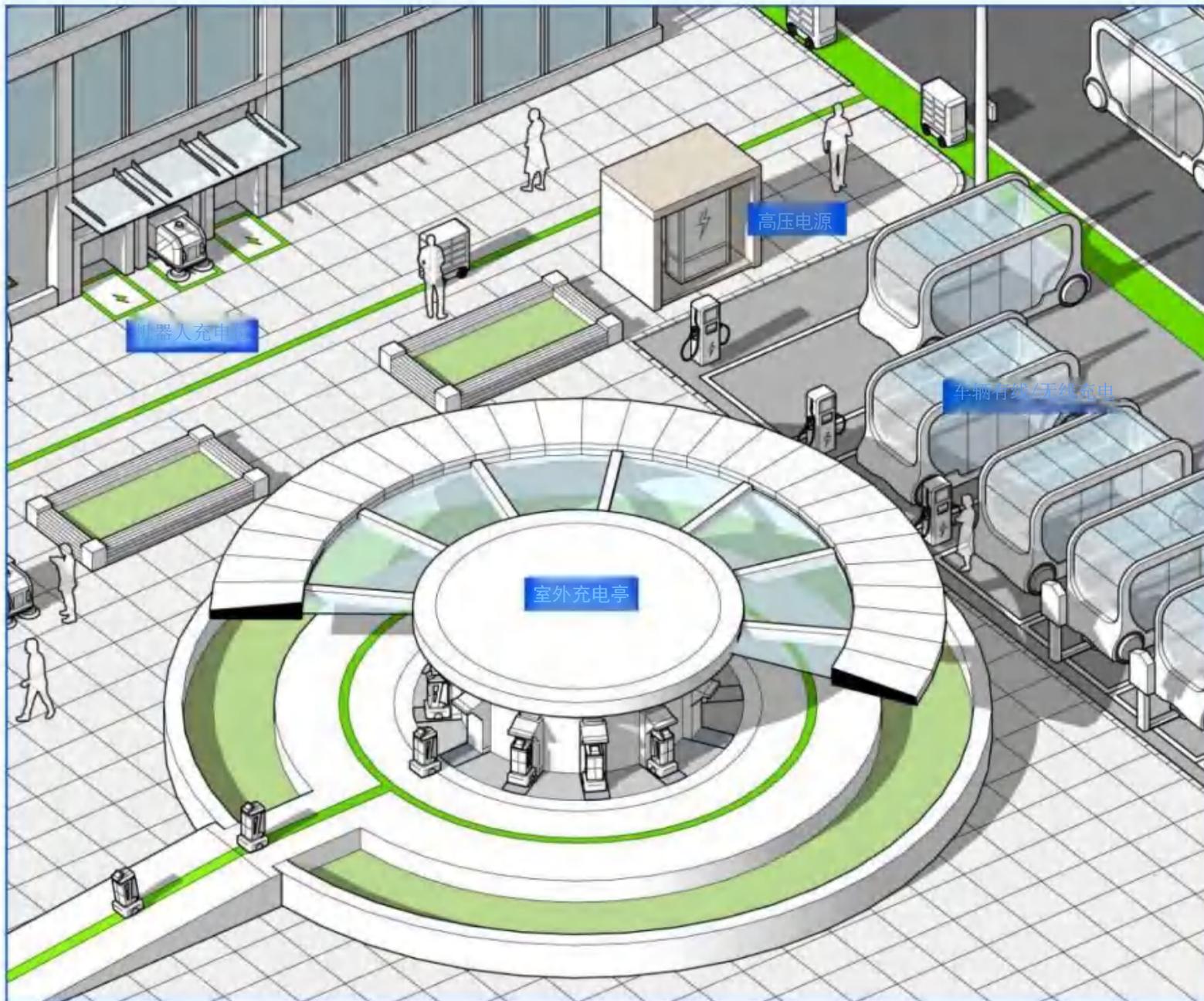
相对于低电压供电[如110V或220V]，380V 电力具有较高的电压水平。380V 电力常用于大型工业机器人系统，这些机器人通常需要较高的电能供应以驱动其各个部件，如电机、伺服系统、控制器等。

### 无线充电

机器人和无人车的无线充电依赖于无线能量传输技术，其中最常用的是电磁感应和电磁辐射技术。通过将电源设备和接收设备之间的电磁场耦合，能够将电能从电源传输到接收设备，实现无线充电。

### 室外充电亭

机器人充电亭提供机器人充电的功能。它配备了充电底座或充电桩，可以为机器人提供电力充电。充电亭也具备机器人存储和管理的功能。它提供了安全的存储空间，可以容纳多个机器人，并对它们进行组织、编号和标识，以便于管理和调度。



## 策略二：

### 零碳、低碳绿色能源的示范楼， 零碳建筑标杆

#### 自律协同

单个建筑其实是里面最小的自律单元，其能源系统内部灵活资源优化调度。能源系统的协同依赖于设备之间的数据共享和协同决策。设备通过共享实时的能源数据、负荷需求等信息，进行相互协调和决策，以实现能源供需的平衡。

#### 低碳能源

低碳能源是替代高碳能源的一种能源类型，它是指二氧化碳等温室气体排放量低或者零排放的能源产品。

#### 高效电机系统

运用高效空调系统、温湿度独立控制、新风除湿系统、节能电梯、节能风扇等高效机电系统结合能耗智慧管控平台可减少额外30%的能耗。

#### 建筑被动节能

运用优化自然通风、高性能幕墙、屋顶花园、自然采光等被动式设计策略减少能耗。

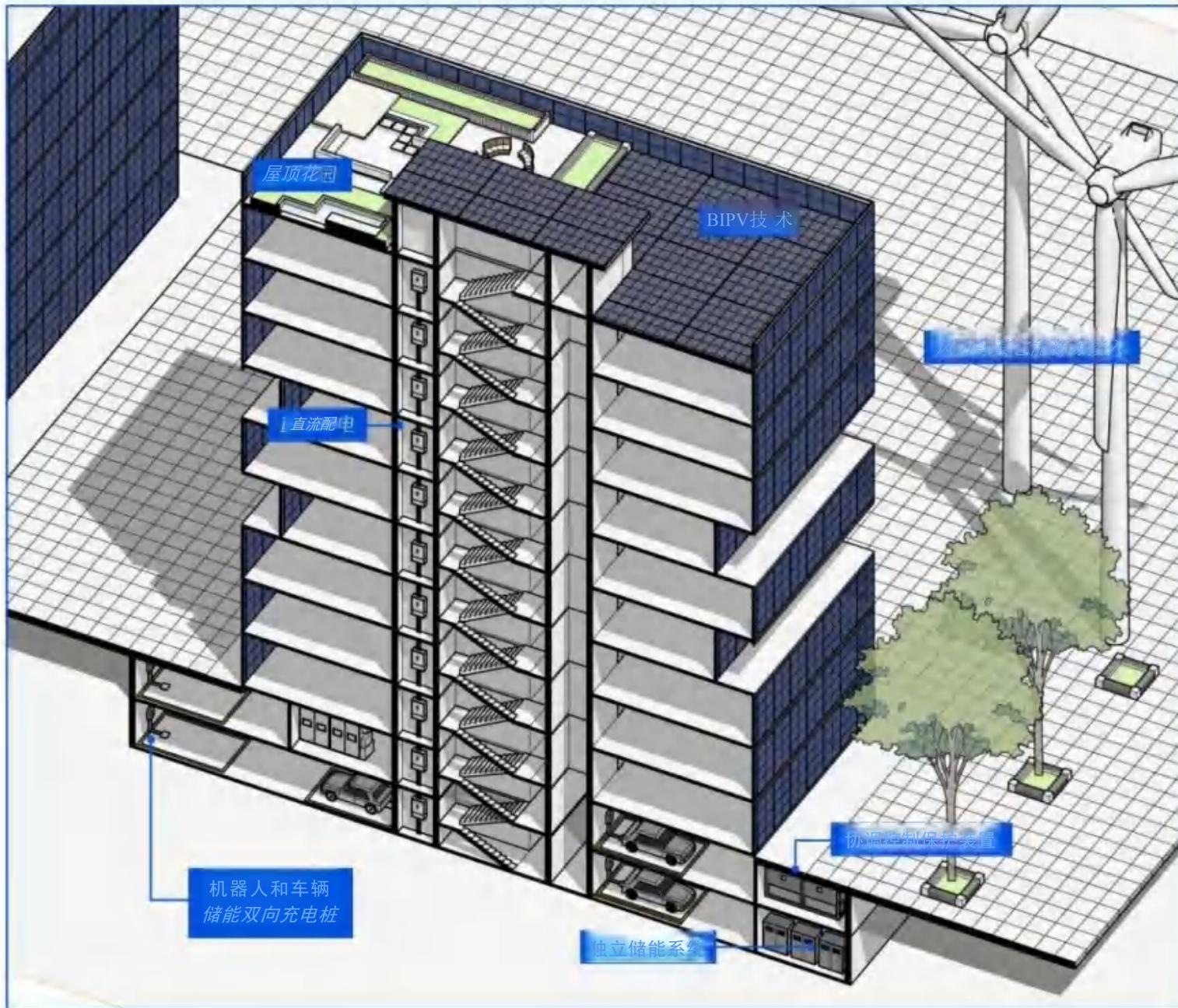
#### BIPV 技术

光伏建筑一体化

[BIPV] 是一种将太阳能发电产品集成到建筑上的技术，如幕墙、采光顶棚、光伏遮阳等。

#### 直流微电网

相比传统交流电网，直流微电网可更高效可靠地接纳分布式可再生能源、储能、电动汽车及其他直流负荷的多样化应用。

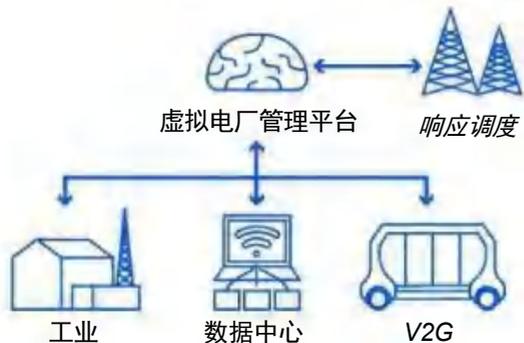


### 策略三：

### 运作虚拟电厂的枢纽示范试点

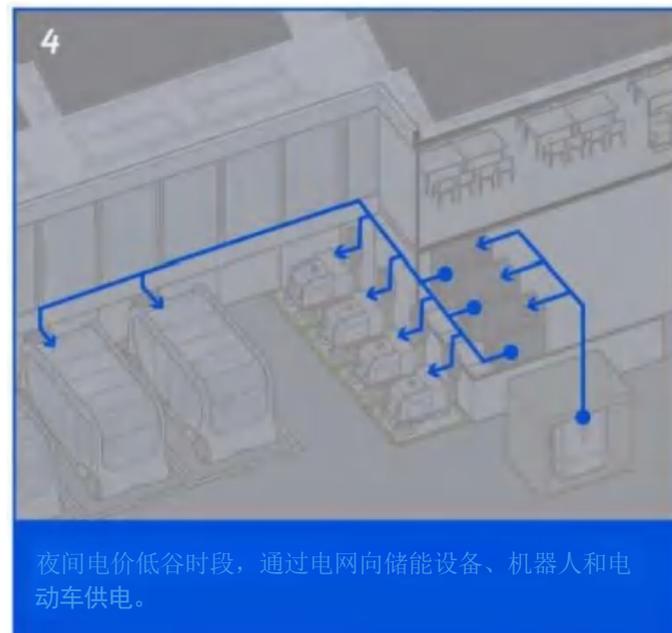
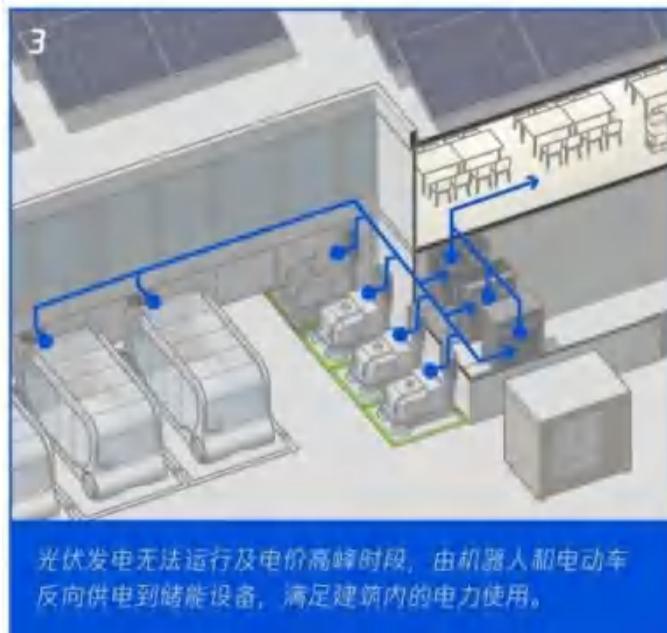
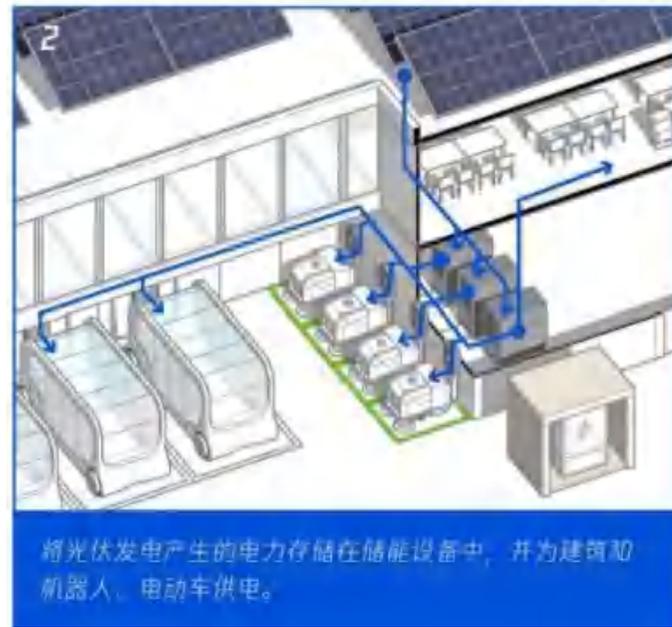
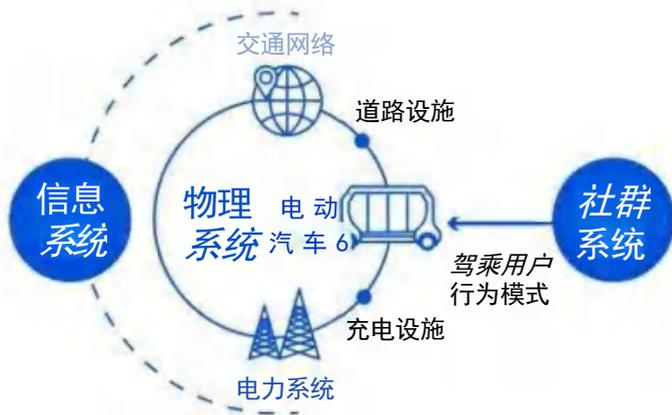
#### 虚拟电厂

虚拟电厂并不是一个实体的发电厂，它是通过通信技术和软件系统把负荷侧的资源[比如用电负荷，储能，以及分布式的资源]集合起来，形成一个系统，这个系统具备一个电厂的特性，有利于保障电力供应，降低成本。



#### 案例：V2G 技术及应用场景

V2G技术通过将机器人和电动车连接到电网，可以将机器人和电动车视为能量存储装置。当电网需求高峰时，机器人和电动车可以将储存在其电池中的电能释放回电网，以供应额外的电能，从而帮助平衡电网负载。



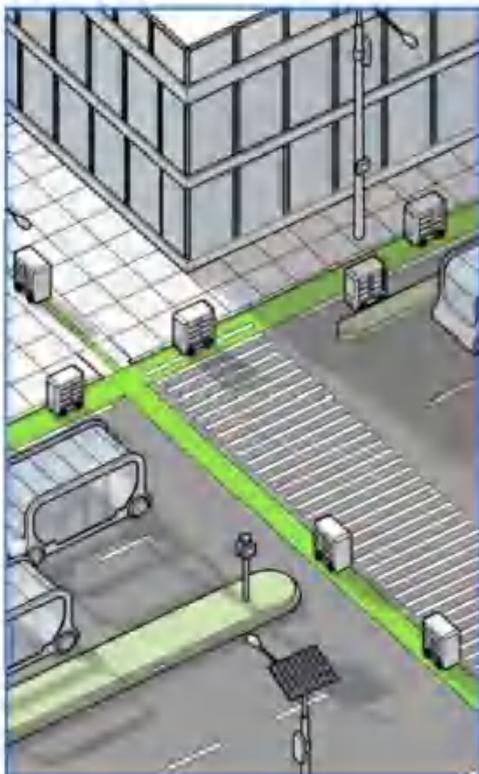
# 将机器人作为新物种提供 园区尺度的运营支持

## 策略一：互联与协同保障

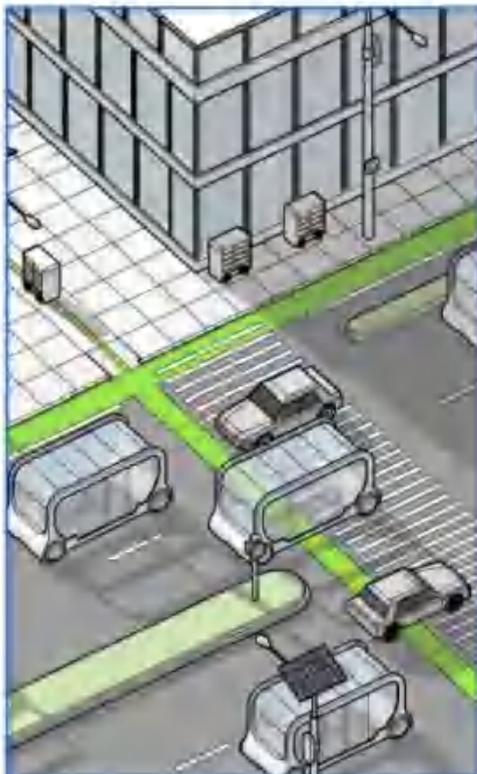
在建筑运营中心、交通系统、能源系统等其他系统与机器人系统之间，建立必要的协同策略，确保感知与信息交换、资源统筹调度、以及协作生产等的效率。如，交通高峰期的机器人路径规划协同策略，分布式能源供给协同策略，险情感知与预警协同策略，等等。

### 交通高峰期的机器人路径规划协同

此种协同由交通系统和机器人系统共同计算和不断优化形成，可以让机器人在交通高峰期间，有效的避开交通拥堵路段出行、使用室内外交通工具、或进行路径规划。



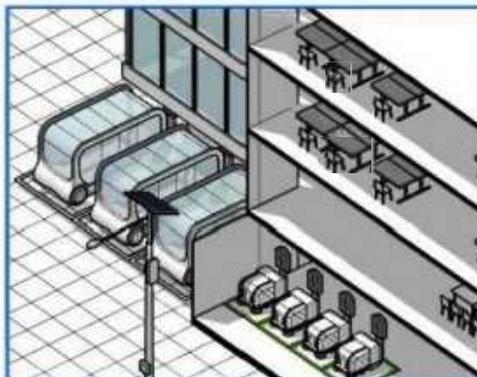
非高峰时段，机器人为了提高效率，充分利用道路系统。



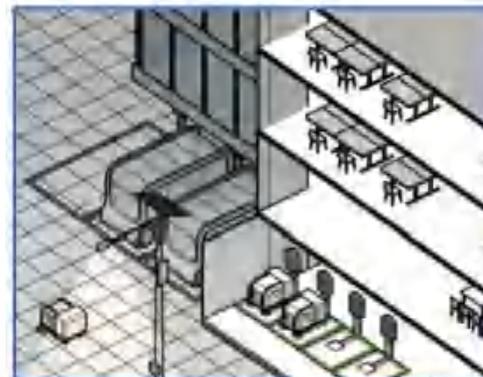
交通高峰时段，机器人减少使用城市道路系统，道路优先由行人和车辆使用。

### 分布式能源供给协同

此种协同由能源系统与机器人系统共同计算和不断优化形成，可以根据建筑、园区和城市供电和用电的特征规律，组织和安排各类机器人充电和放电的时间和场所；也可以根据临时的外部供用电需求，适度调拨机器人进行充放电任务。



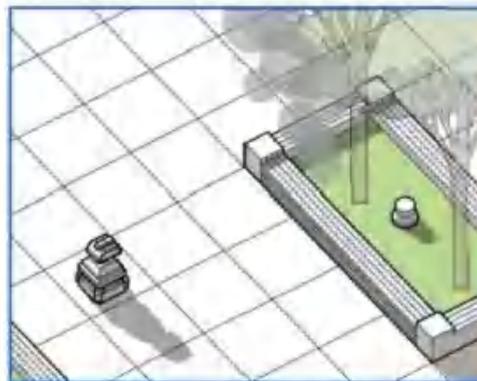
用电低谷时段，机器人和电动车通过电网和储能设备为自己充电。



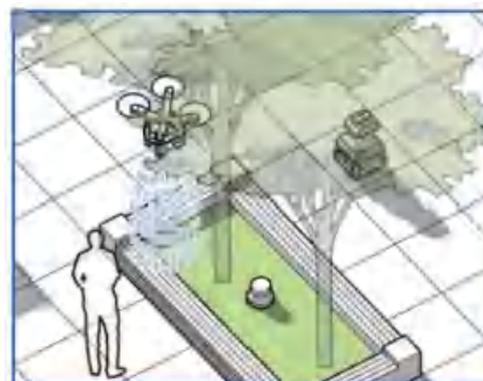
用电高峰时段，机器人超负荷工作及由储能设备供电，避免不使内电力过剩。

### 险情感知与预警协同

此种协同由安防系统、消防系统、建筑感知系统、应急系统和机器人系统共同计算和不断优化形成。可以根据建筑等不同尺度的城市片区的安防、消防、监测、应急等各方面的需求，指定一定的协同感知、协同识别和协同排险方案和策略，确保，险情的及时识别和协同排险。



机器人自身的传感器与空间内的传感器协同发现潜在的起火险情。



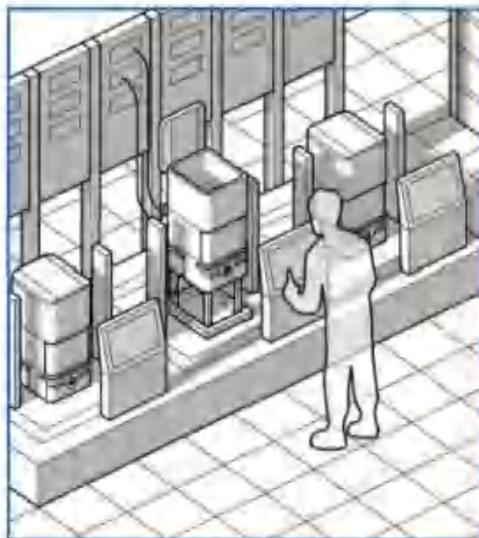
机器人与工作人员协同处理险情并消除隐患。

## 策略二： 为机器人提供安全体检和训练

机器人单体和机器人系统的安全运行和安全生产，是机器人友好的基础。为避免机器人自身出现安全隐患、处于危险状态、或是发生安全事故，应当为机器人提供安全体检和安全操作训练。

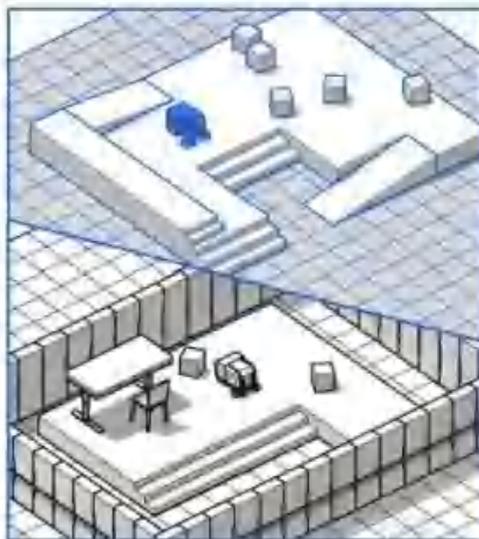
### 机器人安全体检

安全体检包括硬件和软件两方面：硬件指机器人的结构、电源、传感器、发动装置、传动装置等各部件和系统的定期检查和维修；软件包括机器人的硬件驱动、操作系统、数据库等个软件部件的信息安全扫描和加固；体检的执行方面，可采用实时监测和定期检查两种策略：利用物联网技术对联网机器人的状态和参数进行实时监测，第一时间收到故障上报；协同机器人维护服务团队定期对机器人进行检查和检修。



### 机器人安全操作训练

安全操作训练，指针对各类机器人所承担任务的特点，对机器人进行安全操作训练，从而使机器人在实际任务执行中，能更好的保护自己、服务的对象、相关的系统和设施，以及周边环境；如：训练清洁机器人避让行人、远离高差大的区域，训练擦窗机器人识别幕墙安全隐患，避免进入危险区域，训练安防巡逻机器人在收到攻击时的防卫和求救策略，等等。这里需要对应的机器人维护团队能够对机器人执行任务的历史数据进行阶段性的分析，并根据出现的问题和险情，进行针对性的训练任务设计和执行。



## 策略三： 建立完善的安全保障机制

与交通安全、消防安全、信息安全等安全保障类似，当机器人的数量、种类、以及参与的日常工作时长和频次增加到一定程度时，应当为机器人提供必要的安全保障，以有效的为处于危险中和已经受损的机器人进行施救，从而减少和避免机器人资产的损失及衍生灾害。

### 安全保障措施

#### 设立机器人故障统一编码

机器人故障统一编码是一个系统化的分类和标识机器人故障的方法，旨在帮助快速准确地识别和解决机器人在运行过程中出现的问题。故障编码系统可以有助于提高维护效率，降低维修成本，并促进各种机器人制造商和维护团队之间的合作。

#### 建立机器人求救系统

建立机器人求救系统可以提供实时的故障诊断和支持，以帮助机器人在遇到问题时能及时求助并得到解决。系统包括传感器数据收集、故障预测和检测、实时故障通知、故障诊断和支持、实时通信、远程诊断操作、知识库和支持资源等。

#### 配备故障机器人清障、运送和保修机制

设立专门的紧急清障机器人，配备强大的搬运和抓取能力，以迅速清除故障机器人周围的障碍物。设立紧急运送机器人队列，专门用于快速将故障机器人送往维修站点。机器人故障时应立刻发送信号并紧急停止，由清障、运送机器人协同运送至专门的维护区。进行故障分析、机器人维修和数据记录。

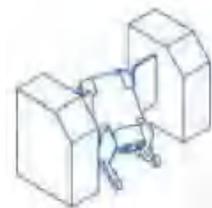
## 机器人可能遇到的险情



机器人本体  
故障或受损



电源  
供应故障



在狭小空间内  
卡住无法脱出



浸水



高处坠落



跌倒



运送货物时  
货品散落



误伤人

## ·四·

# 人机友好空间示意

前两章分别从空间和系统这两个层面，提出了对建设机器人友好建筑和城市的指导性说明。本章将对这两个层面的导则进行总结，并通过一座未来建筑——机器人探索中心为示意，展示机器人友好建筑的可能性。

# 探索人机交互新方式

## 无人机停机充电

无人机停机坪出现在屋面与露台阳台等处，作为物流投递端口、结合无线充电模块与电池换电，增进续航。



## 机器人水平通行设施

水平通行需满足地面平整、防滑等需求，门槛高差找坡处理；可设机器人专用走廊、天花板云轨传送系统。



## 人机共用电梯

相比常规客货梯的直墙角，需考虑轮式、履带式机器人转弯半径，设置有倒角的墙面，提高机器人进出效率。



## 机器人专用电梯

按照机器人尺寸压缩轿厢，可用MCE5多轿厢群控电梯系统提高传送效率、针对物流内容提高速度。



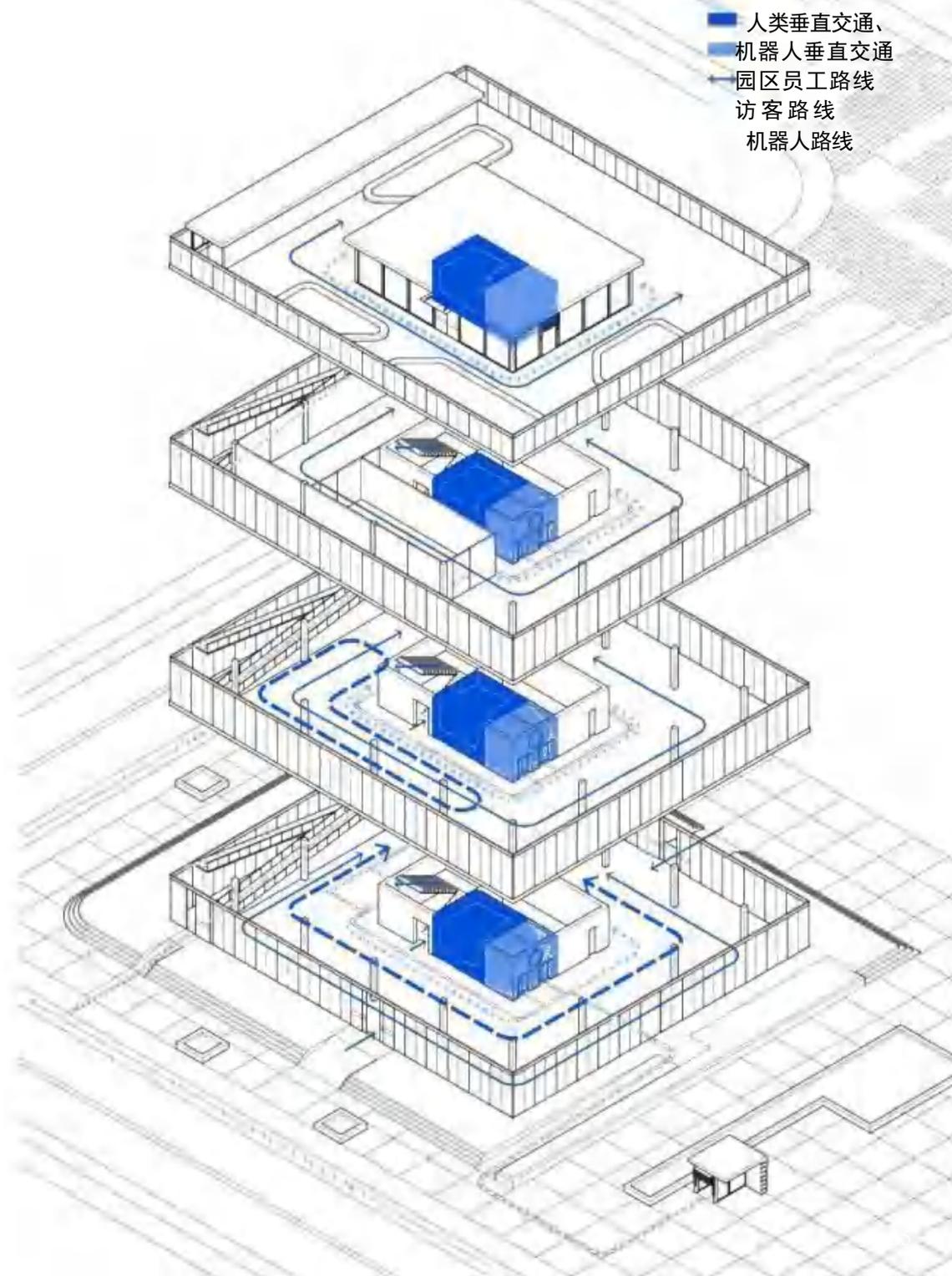
## 导视视觉识别系统

配合嵌入式传感器与图像识别算法，设计可同时被人机识别的V界面指示房间功能，联动闸机使机器人通行。



## 坡道与闸机

建筑首层各个出入口需考虑适用于轮式与履带式机器人的坡道。大部分门扇建议采用红外感应的平移玻璃门。



# 智能建筑也是“机器人”

## 5G、云计算、LLM

提供5G、云计算等相关网络基建，万物互联，全真互联，围绕机器人作为核心，统一软硬件接口、云处理，在虚拟世界训练机器人或人工智能等。



## 能效管理与可变立面

采用以BIPV为代表的太阳能板屋面与立面、可变遮阳构件、新风循环表皮体系、光电玻璃屏幕立面，以及相关联动的能效管理系统。



## 停放续航与充电界面

在室内外设置无人机停机坪、机器人有线无线充电界面与区域、换电区域。



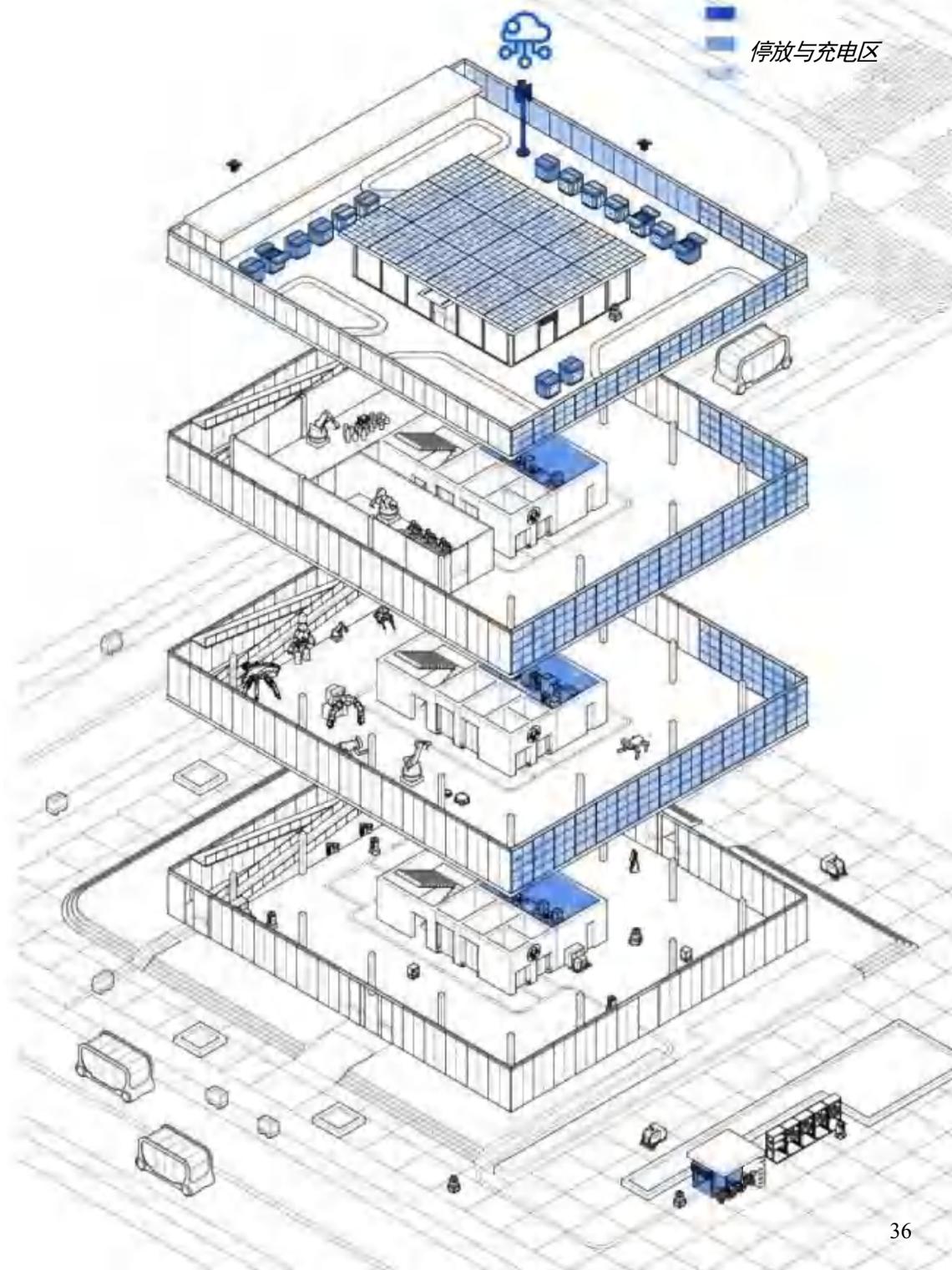
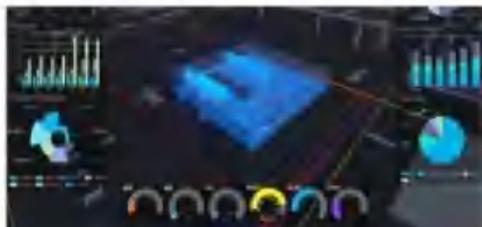
## 环境感知与图像识别

机器人、建筑摄像头信息互联、嵌入式传感设备与其他环境感知，促进便携通行。

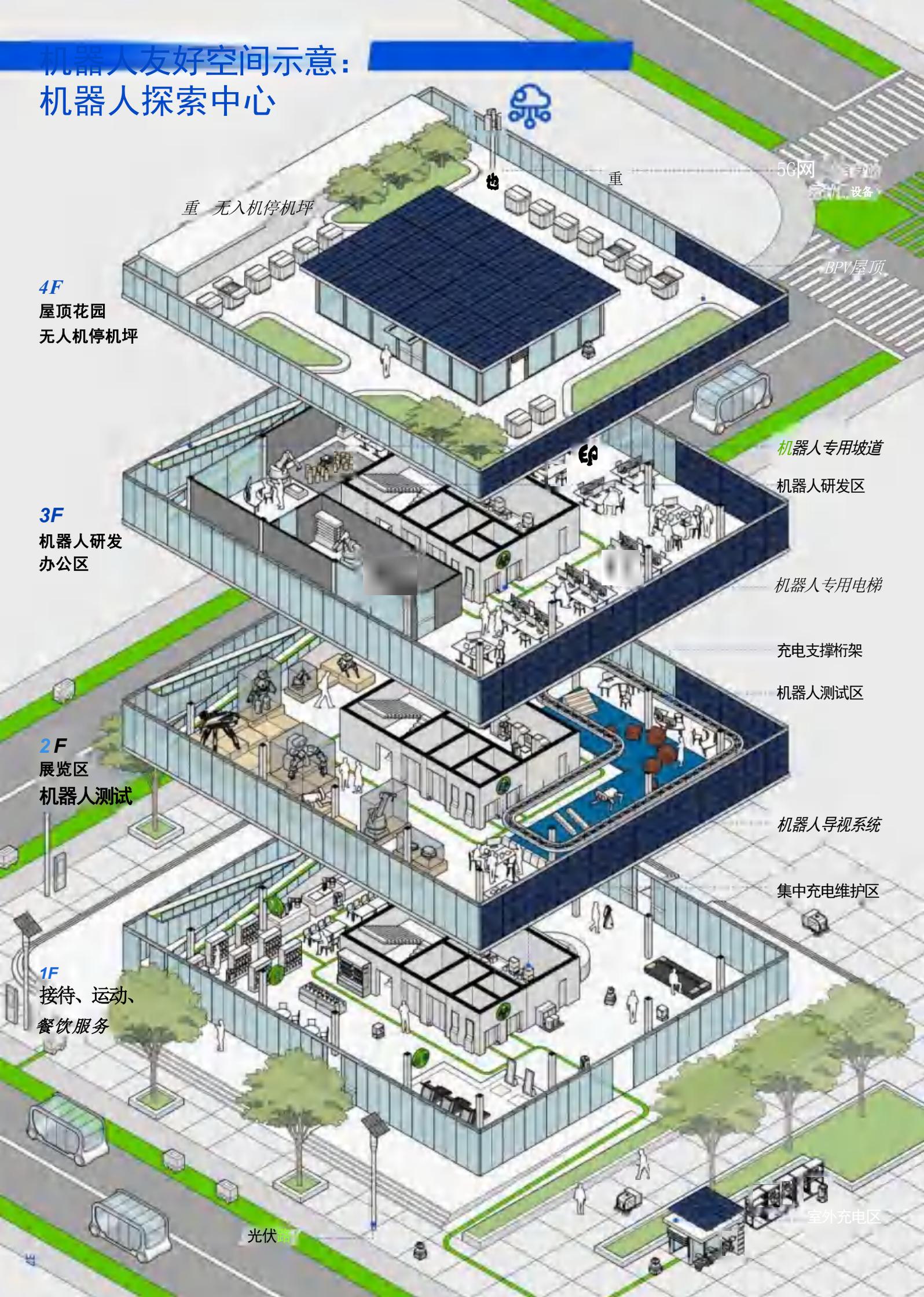


## 综合态势与中控中心

数字孪生全信息模型〔多模态传感器〕、实时建模、楼宇管理、三维扫描、全功能机器人**人群控平台**。



# 机器人友好空间示意： 机器人探索中心



重 无人机停机坪

4F

屋顶花园  
无人机停机坪

5G网

网络设备

BPV屋顶

3F

机器人研发  
办公区

机器人专用坡道

机器人研发区

机器人专用电梯

2F

展览区  
机器人测试

充电支撑桁架

机器人测试区

机器人导视系统

1F

接待、运动、  
餐饮服务

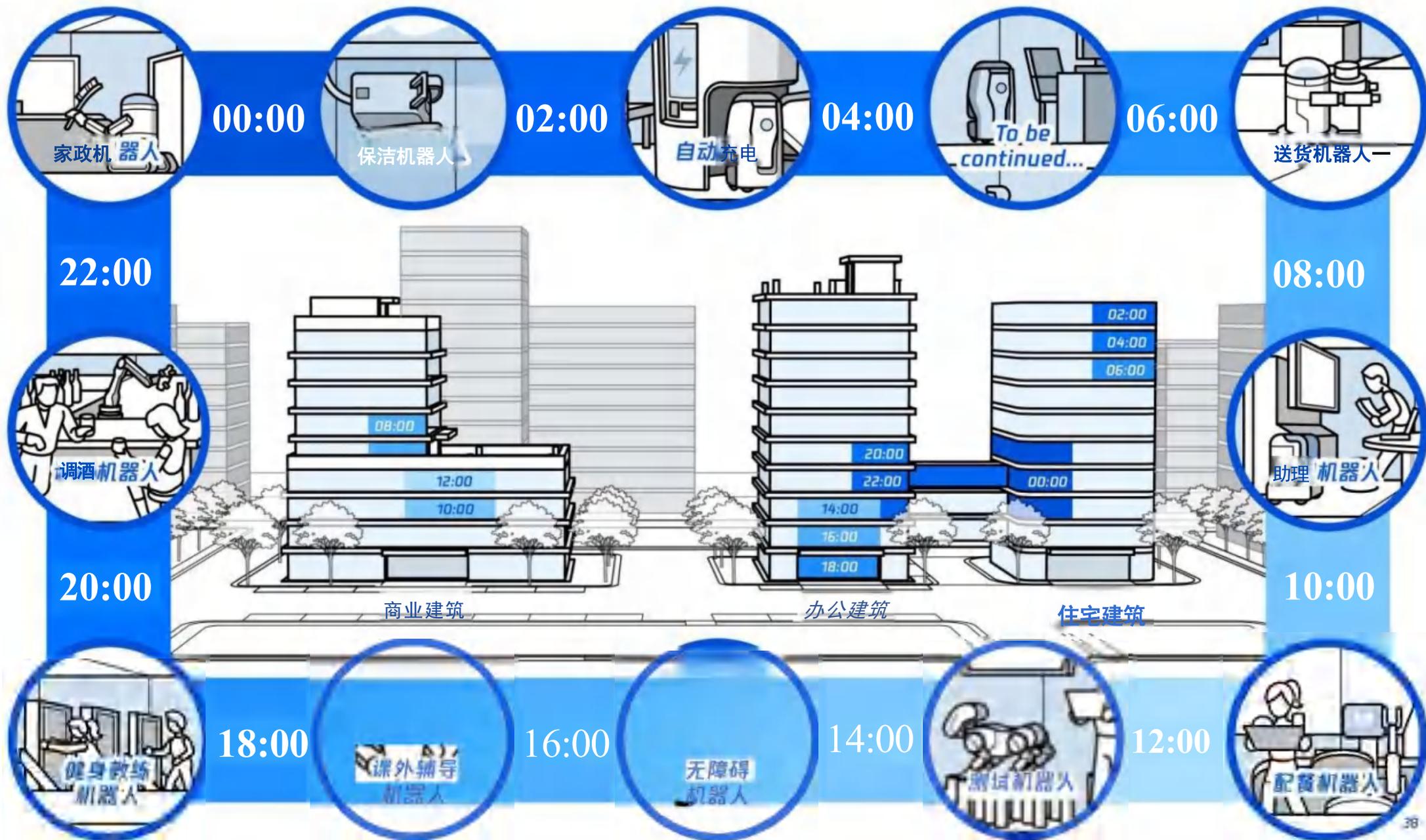
集中充电维护区

室外充电区

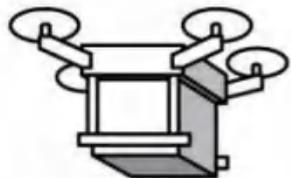
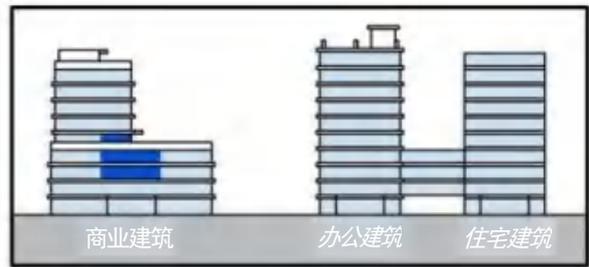
光伏

# 近未来，服务机器人将更加智能， 为综合场景提供全天候服务

在可以预见到的未来，服务机器人将承担各式各样的工作，几乎每时每刻，在城市中的每个角落都有它们的身影。这一部分将展示在腾讯总部园区一天的12个时辰里，人和机器人是怎样一起生活、工作的。



# 畅想：机器人十二时辰之早上



无人机送货

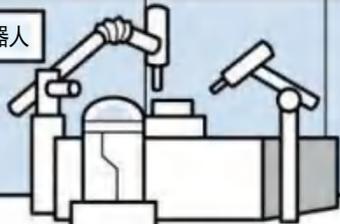
08:00

## 无人送货

清晨，中央数据系统会筛选当天过生日的腾讯总部园区员工，安排甜点制作机器人准备一款定制生日蛋糕，并指派送餐机器人送至员工工位……



甜点制作机器人



机器人文件助手

送餐机器人



资料已发送至您的邮箱，或许你可以致电科技大学唐教授，他做过类似的研究，电话是……

智能助手，帮我找找相关资料吧！

记录显示您蛋白质摄入不足，我们已对您的套餐进行优化，请取走您的套餐……

送餐机器人

12:00

## 机器人配餐

上午的紧急会议总算顺利召开了，下午还要带领外宾参观研发空间。忙碌了一上午的小A安静地坐在窗边等待机器人根据她身体状况定制的午餐，并抽空查阅一些资料……

太局促了/幸好有机器人帮我打印文件送来和引导客人，真是帮了大忙！

领位机器人

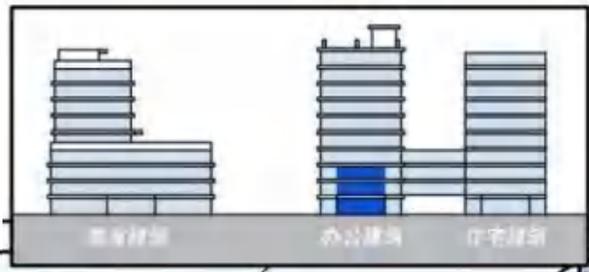
10:00

## 机器人助理

腾讯总部园区员工A需要组织一场20人的重要会议。当他到达会场时才意识到会议材料还没有打印，有一些外来嘉宾也打来电话咨询会议室具体位置，但此时的他还必须接待已经到场的来宾……



# 畅想：机器人十二时辰之午后



4:00

## 测试机器人

腾讯总部园区研发人员C正在调试腾讯机器狗的空间识别能力，机器狗需要自主判断当前空间情况来选择合适的工具帮助它拿到上方的盒子……



显然它还无法完成，也许应该多加几层神经网络？智能助手帮我找找相关资料吧！

今天的嘉宾好多啊，轮椅机器人你来带领嘉宾走无障碍坡道去到楼下大厅。



下午16点整，全新无障碍居家机器人的发布会将在大厅举行。今天大楼里来宾不少，还有一些坐着轮椅来的嘉宾。正好，接待机器人、无障碍机器人和讲解机器人可以让来宾切身感受科技的魅力……

## 无障碍机器人

16:00

发布会刚开始！还好有机器人帮我接待嘉宾，不然真的搞不定了。

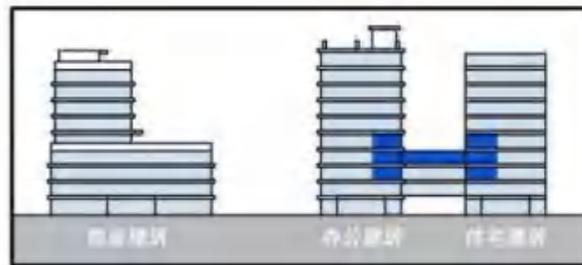


临近放学时间，无人车已经将腾讯总部园区员工C的女儿小D送到公司楼下。小D将在儿童活动室里与玩教机器人一起完成今天的作业，玩教机器人不但可以辅导她课程，还可以培训课外的爱好特长，员工C不必再担心女儿放学无人照顾的问题，可以放心地继续手头的研发工作……

## 机器人课外辅导

18:00

# 畅想：机器人十二时辰之晚间



20:00

## 机器人健身教练

结束了一天的忙碌工作，腾讯总部园区员工E决定到大楼三层的智能健身房和旁边的智能按摩室来放松一下。相交于普通的健身房和按摩院，这里无需预约，随时都有专业的健身机器教练和按摩机器人服务，甚至是一个人想打球时也可以找运动陪伴机器人一起跑步，打球...



22:00

## 机器人调酒

帮我调一杯玛格丽特，多加冰！

调酒机器人

晚上十点，打工人的夜生活才刚刚开始。腾讯总部园区居民E与同事F相约到三层酒吧聊聊天。在这里有专业的机器人调酒师和机器人D带你走进梦幻的VR夜场。他们在这里相谈甚欢，甚至还点了由机器人派送的外卖宵夜。



00:00

## 家政机器人

小G住在腾讯总部园区的员工宿舍，虽然是一个人住，但专职家政机器人记录了她的生活规律和需求，在她回家之前就调整了空调、灯光、被褥等调整到小G习惯的样子。每当小G到家时，虽然家政机器人已经离开，但放在桌上的热水和维生素片总是能带给她家一样的温暖。

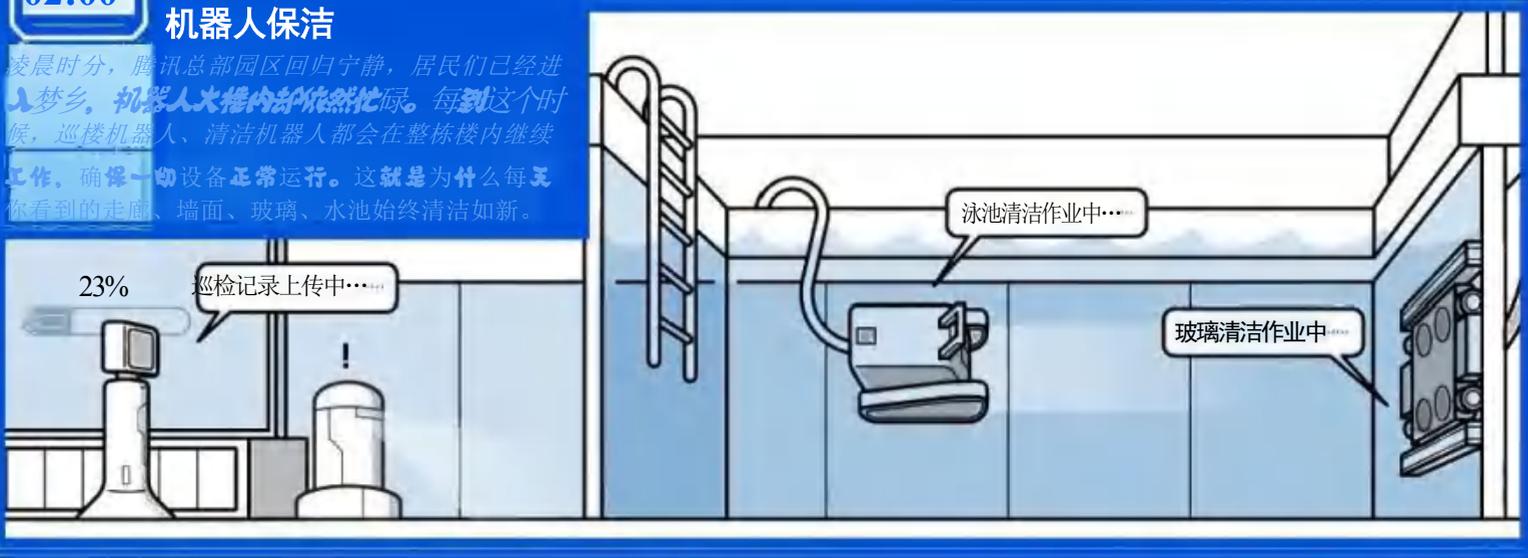


# 畅想：机器人十二时辰之深夜

02:00

## 机器人保洁

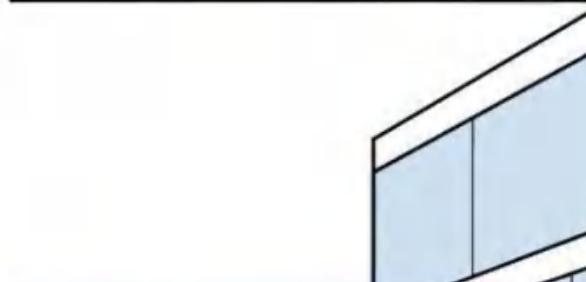
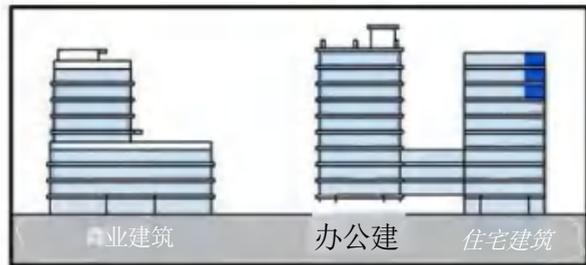
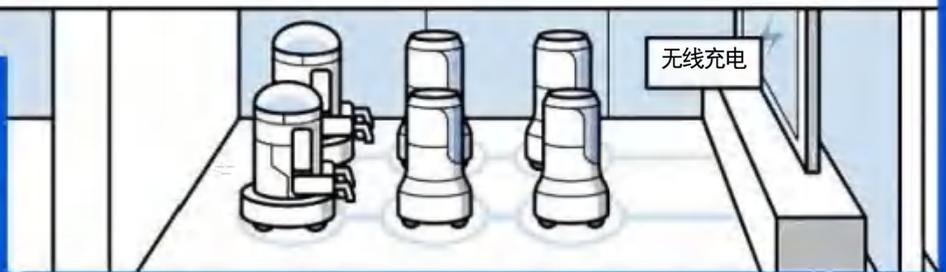
凌晨时分，腾讯总部园区回归宁静，居民们已经进入梦乡，机器人大楼内部依然忙碌。每到这个时候，巡检机器人、清洁机器人都会在整栋楼内继续工作，确保一切设备正常运行。这就是为什么每天你看到的走廊、墙面、玻璃、水池始终清洁如新。



04:00

## 自动充电

清晨4点时机器人休息的时间，为了保证第二天有充足的电量工作，所有机器人在完成当天的任务后都会回到楼内的充电站补充能源，同时将今天搜集的各种数据上传到云端服务器……



06:00

To be continued..

机器人的十二时辰看起来相处融洽，可实施性高，这样的空间布局能可以保障机器人的通行、补给等问题，同时也可以提高它们的服务效率，更好的实现人机融合。在未来，空间设计会更多的将机器人动线考虑其中，使机器人可以更加自由的穿行，提供多元智能交互服务。

# ·五·

## 迈向人机友好的通用无障碍

可持续、智能化是未来人居环境发展的重要命题。创建人机友好环境成为通用无障碍发展的新目标，也是科技向善的重要基础，为城市建设和社会发展提供了更多可能性。

同时，伴随着全球老龄化时代的到来以及寿命延长带来的慢性疾病增加，未来世界的残疾率将进一步上升，多样化、个性化需求将显著增加。我们的城市需要更加友好包容通用，以保障所有人都能够平等地参与社会生活，共享舒适、健康、便利、安全的生活环境。



# 人机友好的通用无障碍发展理念畅想： 从包容性环境到未来发展的更多可能

在人机友好时代背景下，通用无障碍发展通过消除障碍，满足人和机器产生的新需求，促进人和机器的良性交互；机器人自身的多样性和创造力进而将为城市发展带来新的可能性，增强社会对所有成员的友好和包容，最终实现科技赋能、科技向善。

## 更加包容的城市环境

## 未来发展的更多可能

### 出行需求



场景1. 轮式为主的机器人与轮椅、婴儿车、滑板等轮上出行有着共同的无障碍出行环境需求

### 行为赋能



场景1. 外骨骼、智能导盲、智能轮椅、无人车……机器人在赋能人类行为能力的同时，创造着新的生活方式

### 安全需求



场景2. 造价高昂且独自运行的机器人，与人一样需要更加安全的环境来维持可持续的工作

### 数字赋能



场景2. 机器人不断采集着城市的信息，进一步将城市数字网络串联起来，协调平衡城市功能的供需结构

### 交互需求



场景3. 作为赋能人类的重要工具，人机交互的支持本身就是实现数字包容的重要路径

### 智慧赋能



场景3. 机器人深入参与城市智慧治理，如交通管理、公共安全保障、环境保护、医疗健康支持等，提高城市的综合管理效率，提升市民的生活质量

## 人机友好的通用无障碍发展理念应用场景

在实际应用场景中，人机友好的通用无障碍发展理念将在物理环境、信息系统、服务配套三个层面开展实践。物理环境将进一步支持人与机器的个体及互动行为，信息系统将继续提升实时、多源的信息采集与分析效率，服务配套将持续加强人、机、环的良性交互关系。

### 未来物理环境



#### 舒适友好居家环境

未来家居的趋势将会注重智能化和数字化，为人们提供更便捷、舒适和高效的生活体验。结合互联网技术，实现各种智能设备、家居设施、机器人管家的远程控制和智能化管理，同时也为老龄群体、残障群体等行动不便者提供生活协助。



#### 便利通用出行设施

在信息化技术的支持下，智能交通发展将适应多样化的出行需求，支持携带行李者、推婴儿车者、携带导盲犬者、轮椅使用者等群体便利出行，提升出行满意度、优化出行体验，保障所有人的平等出行权利。



#### 健康休闲活动空间

健康绿色的休闲活动空间是高品质生活的重要基础，为打造全龄友好的休闲游憩空间，将自然生态与智慧技术相结合，通过综合导览机器人、无人售卖机、无人运输机等设备配套，实现传统公园的智能升级。



#### 可达无障碍城市道路

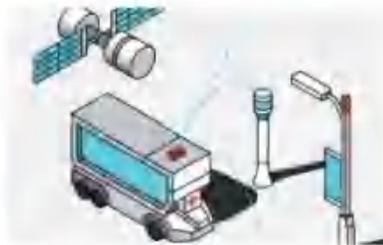
为保障城市卫生环境质量，解决不断扩大的物流配送需求，街道清扫机器人、物流配送机器人等将作为人力资源的重要补充，与市民共享城市道路，因此平坦可达、无障碍衔接的城市道路不仅将为行人提供便利，机器人也可通用。

### 未来信息系统



#### 信息实时采集系统

未来城市治理离不开实时数据的收集与分析。在数据采集领域，无人驾驶数据采集车以其灵活性和便利性将得到广泛应用，结合城市大数据平台系统的运算，将实现城市管理的智能化、高效化。



#### 多源联动应急系统

城市应急联动系统是显示超大城市治理水平的标志性工程，通过集成的信息网络和通讯系统，结合声光电联动报警装置、搜寻机器人、救援机器人等，为城市公共安全提供强有力的保障。

### 未来服务配套



#### 多功能公共交通站点

搭配充电桩、无人驾驶车辆停靠区、交通信息播报设备等，未来的公共交通站点将从交通出行的单一功能，转向交通方式转换、资讯传递、信息查询、人际交流、民意收集、文化展示、购物消费等复合功能。



#### 城市智慧服务亭

在未来，智慧服务亭将成为重要的城市家具。不仅作为休息空间，还将集成机器人充电桩、轮椅充电桩、电动车充电桩、信息查询一体机、购票机、无人售货机等多功能设备，为各类群体提供方便快捷的公共服务。

# 本书编委会

## 顾问

刘夏耘 司晓 张正友 郑睿 祺 杨健 冯宏 声 徐迎庆

## 编委

刘琼 刘萍 邵磊 唐克扬 周政华

## 研究团队

### 腾讯研究院

刘琼 徐一平 张翼 王鹏 刘莫闲 李瑞龙 袁晓辉  
周政华 窦淼 磊 王强 王焕超 刘金松

### 清华大学未来实验室

唐克扬 严鑫 陈瑜 李若辰 张铮 徐小湾

### 清华大学无障碍发展研究院

侯雨亭 金安园

### 腾讯基建

刘萍 贺继飞 彭旭光 郑帅 程鹏 彭哲 王佶  
高琼 王沛贤 徐康华 王子剑 吴莹 李双龙 吴伟

### 腾讯Robotics X实验室

黎雄 郑宇 韩磊 李阳 周城 李望 维 朱永辉  
向灵 竹 凌 永根

## 视觉设计团队

### 帝都绘

宋壮壮 张博浩 王涵 卓嘉琪 郝好

## 联合出品

腾讯研究院  
腾讯Robotics X实验室  
腾讯基建

清华大学未来实验室  
清华大学无障碍发展研究院  
**机器人大讲堂**

## 专家和调研支持

何川 中国盲文图书馆副馆长  
前志晨 北京光年无限科技有限公司 [图灵机器人]  
创始人 & CEO

王斌 达闼机器人副总裁  
梁聪慧 达闼机器人人形机器人专家, XR  
Robot Lab 执行主任

彭天放 得到《硬核科技报告》主理人博士  
马泷 北京市建筑设计研究院总建筑师  
刘辛军 清华大学机械工程系教授

段星光 北京理工大学智能机器人研究所教授  
陈殿生 北京航空航天大学机器人研究所教授  
张春龙 之江实验室科研发展部研究员  
徐华 清华大学计算机科学与技术系副教授  
齐鹏 同济大学电子与信息工程学院副教授

九号机器人有限公司  
深圳市优必选科技股份有限公司  
节卡机器人股份有限公司  
珞石 (山东) 机器人集团有限公司  
深圳市普渡科技有限公司  
北京云迹科技股份有限公司  
新石器慧通 (北京) 科技有限公司  
杭州宇树科技有限公司  
大连蒂艾斯科技发展股份有限公司  
麦岩智能科技 (北京) 有限公司  
深圳菲力斯机器人有限公司  
清华大学现代机构学与机器人化装备实验室  
北京理工大学智能机器人研究所  
上海张江机器人谷  
中关村机器人产业创新中心