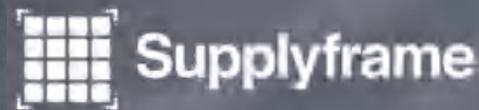


2023 AI机器人产业报告

与非网资深行业分析师 张慧娟



Agenda

- 1 AI机器人产业现状**
基本定义、应用趋势、发展现状
- 2 AI驱动下的机器人创新**
核心AI技术、关键部件、主控芯片
- 3 典型代表：人形机器人**
产业情况、核心技术
- 4 AI机器人趋势和展望**
核心竞争力、通用大模型

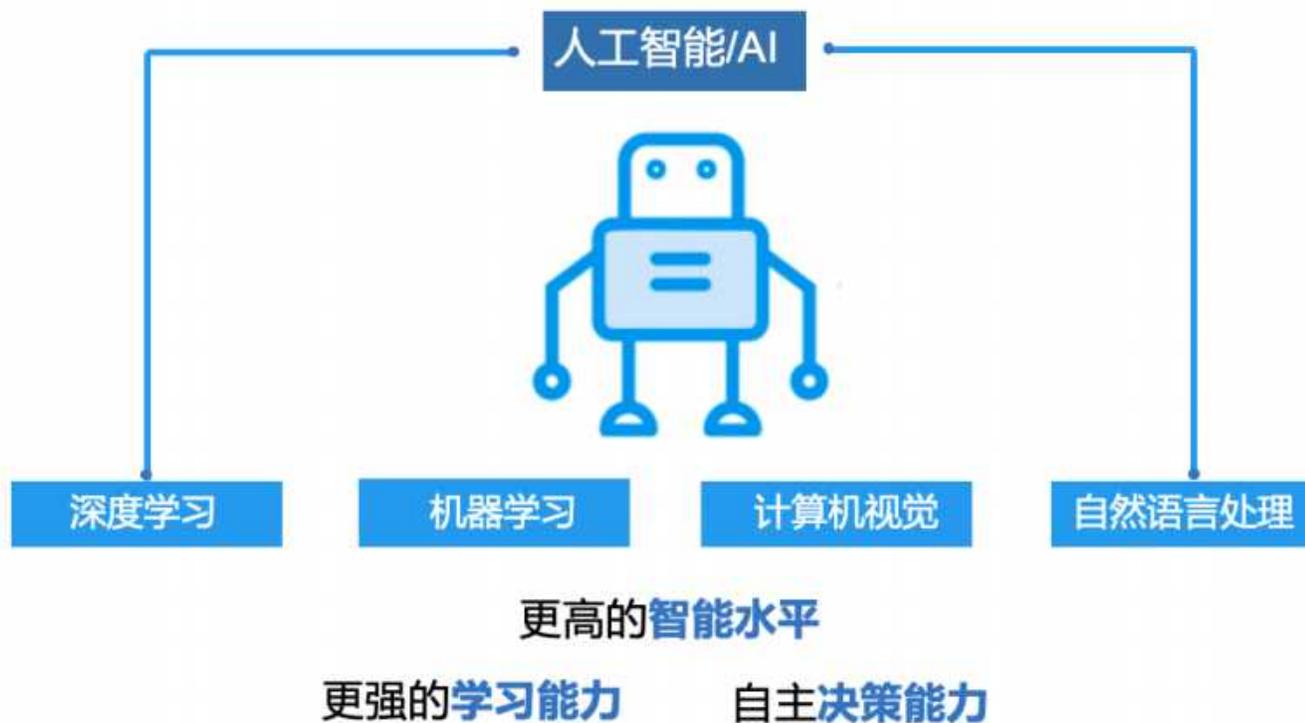
AI 机器人发展现状

- AI 机器人的基本定义
- AI 机器人的主要应用
- AI 机器人的发展方向

AI 机器人的基本定义

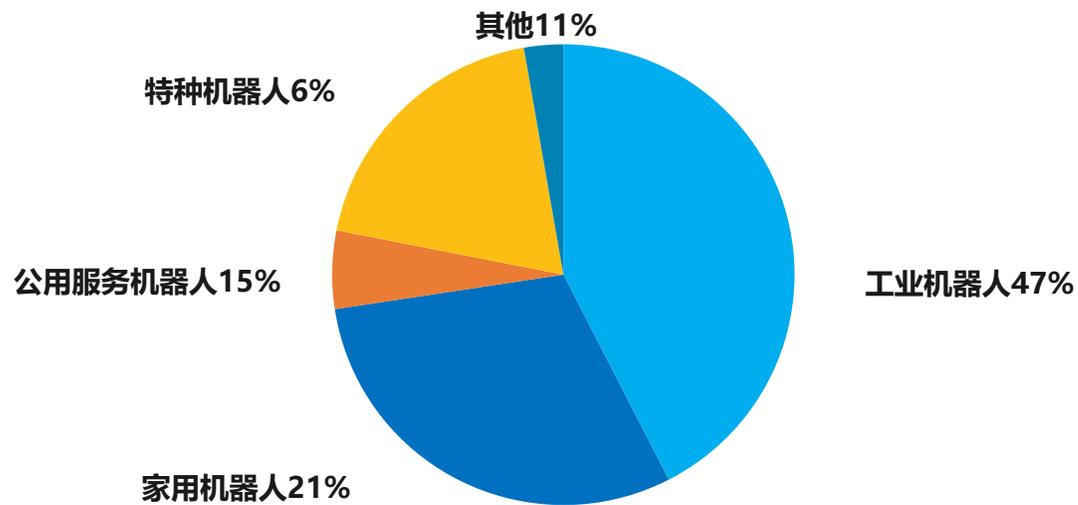
AI机器人集成机械、电子、控制、传感、人工智能等多学科技术，能够模仿或替代人类进行各种任务。

具备一定程度的**自主决策能力**、更强的**学习能力**和更高的**智能水平**，能够判断环境变化和任务需求并实施相对应的解决方案。



AI 机器人的主要类型

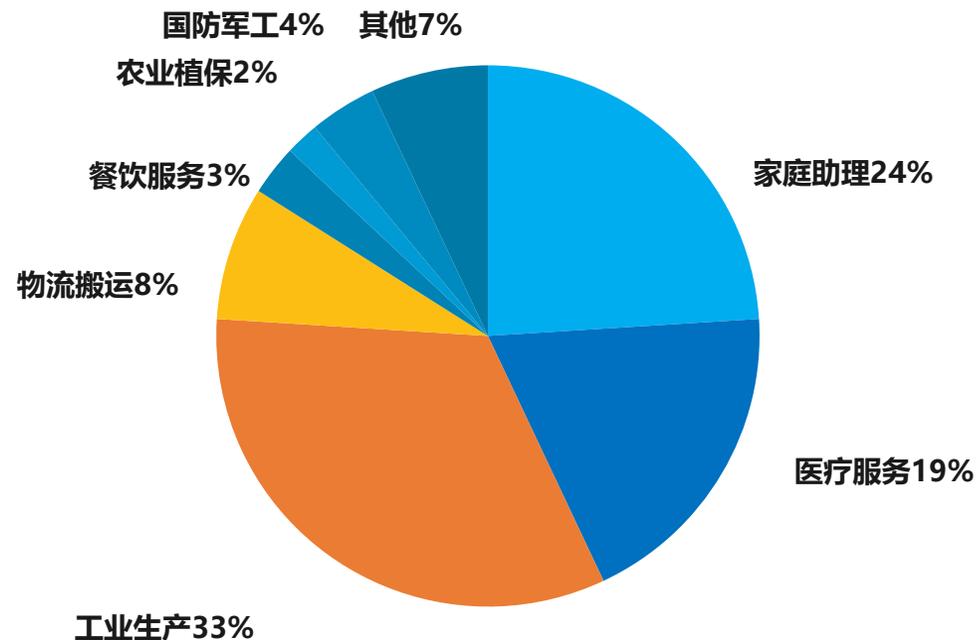
- **根据应用领域：**
工业机器人、家用服务机器人、公共服务机器人和特种机器人等。
- **根据构成和控制方式：**
协作型机器人、非协作型机器人、人机协作机器人和自主型机器人。
- **根据运动方式和能源供给方式：**
轮式机器人、腿式机器人、履带式机器人和仿生机器人。
- **根据智能程度：**
弱人工智能机器人、强人工智能机器人和超强人工智能机器人。



图：看好哪类机器人的增长潜力
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

AI 机器人的主要应用

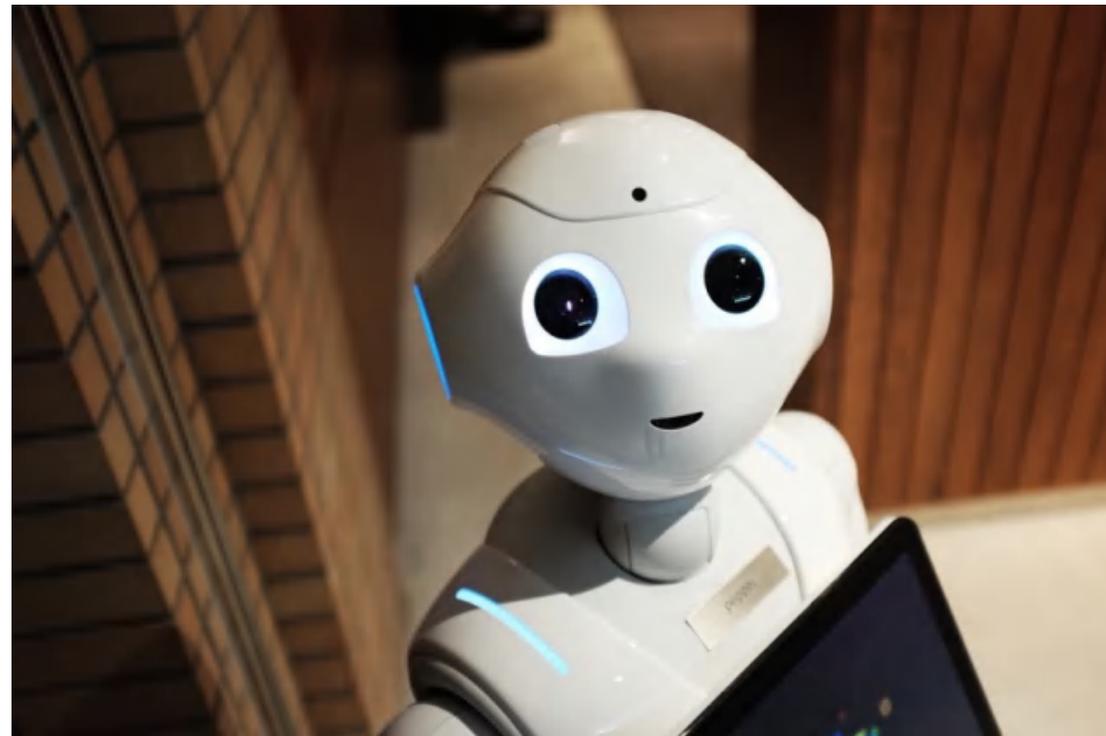
- **工业生产：**
自动化生产线、工业机器人等，通过自主学习和自主决策，提高生产效率和质量，降低成本和风险。
- **家庭助理：**
家务助手、健康监护、安全监控等，提高生活效率，减轻家庭成员的负担，保障安全和健康。
- **医疗服务：**
医疗机器人、智能诊断系统等，通过大数据分析和自主学习，提高医疗诊断和治疗的准确性和效率。
- **物流搬运：**
货物抓取、搬运、转载等，能够通过自动化操作提升效率、提高安全性、降低成本。
- **餐饮服务：**
自助点餐、智能配餐等，可提升效率和服务质量、降低成本。
- **金融服务：**
智能投资顾问、智能风险管理系统等，提高金融服务的效率和准确性。
- **教育培训：**
智能教育机器人、智能学习系统等，通过自主学习和自主决策，提高教育培训的效果和效率，为学生提供更好的学习体验。



图：看好AI机器人在哪些场景的应用潜力
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

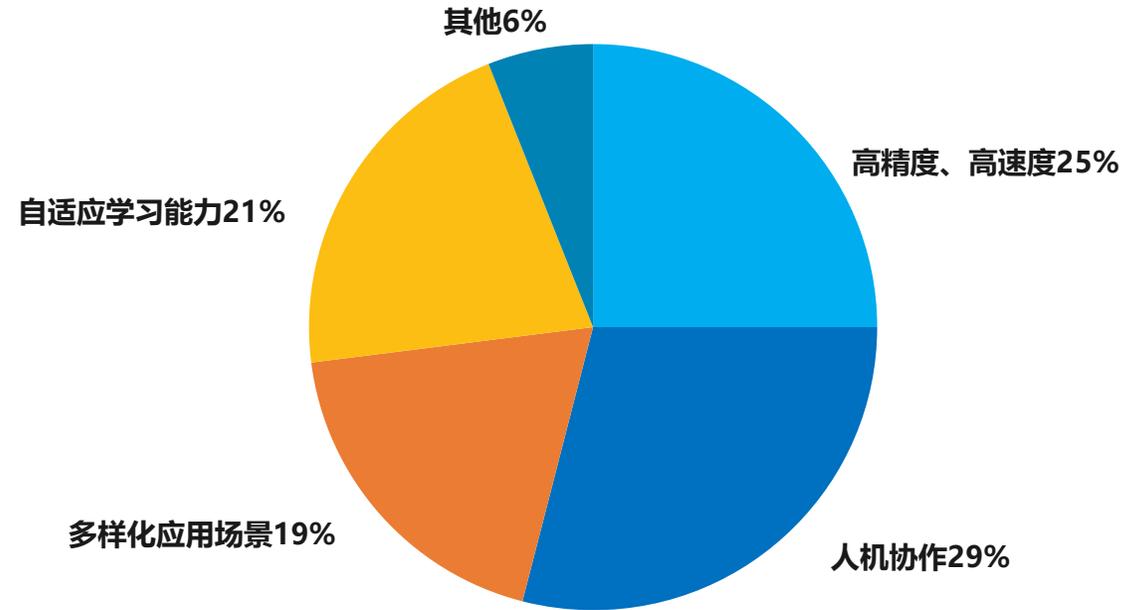
AI 机器人的发展方向

- **第一阶段：自动化。**
可自动执行固定任务，用于替代重复劳动，这一阶段通常为程序控制机器人，从单一场景逐步向多种应用场景延展。
- **第二阶段：机器智能。**
配备视觉、声音、力度等传感器，实现人机协作、环境感知、数据采集、人机交互的功能。
- **第三阶段：AI自主化。**
拥有更丰富的传感器和更高的智能水平，可实现自主的感知交互、独立决策、自我优化。大模型技术的发展，将推动通用人工智能的快速发展，进而带动AI机器人的升级迭代。



AI 机器人的发展方向

- **人机协作：**
AI 机器人在人机协作方面有着越来越高的要求，机器人能够通过机器学习算法进行自我优化，更好地配合和协作，未来将向更加自然、便捷的方向发展。
- **高精度、高速度：**
在完成特定任务时，机器人需要具备高精度定位和高速响应能力。
- **多样化应用场景：**
AI 机器人将具备更加敏锐的感知能力，更好地理解 and 响应用户的需求。同时，也将提高对环境的认知能力，更好地适应各种环境。
- **自主学习和自适应能力：**
AI 机器人将能够自主学习和自适应各种任务和环境。通过不断学习和训练，提高机器人的智能水平，使其更加智能、更加好用。



图：看好AI机器人哪些发展方向
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

AI 驱动的机器人创新

- 核心AI技术
- 关键部件
- AI大模型

核心的AI技术

- **计算机视觉**

能够通过处理和分析图像，完成目标检测、物体识别、人脸识别等任务。例如，智能巡检机器人可以通过视觉技术实现对设备故障的主动探测和预警。

- **人机交互与理解**

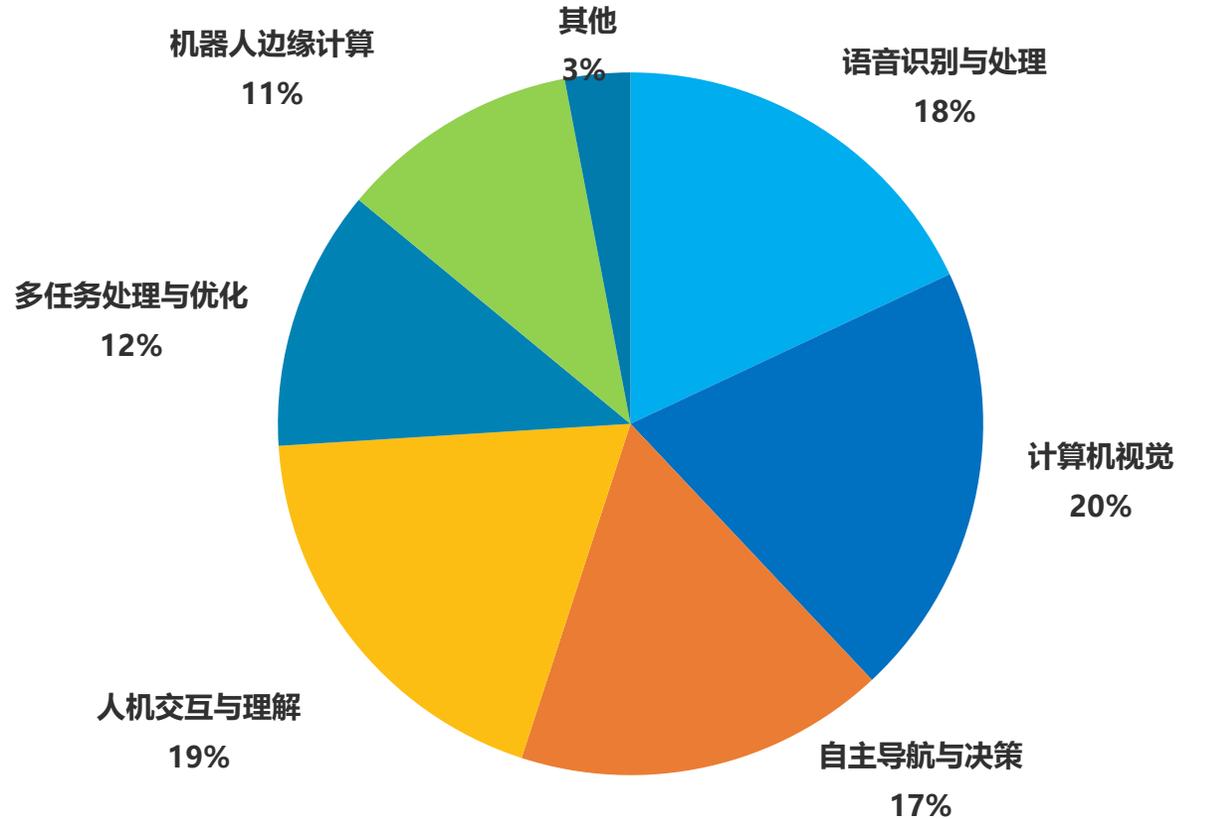
AI机器人需要具备更加敏锐的感知能力，以便更好地理解响应用户的需求。同时，也需要提高对环境的认知能力，以便更好地适应各种环境。

- **语音识别与处理**

可通过语音交互对用户的语音指令做出智能响应。例如，智能音箱可以实现语音对话，并实现智能家居的控制。

- **自主导航与决策**

在机器人的导航和控制中，能够通过对环境的感知和模式识别，实现机器人的自主导航和动作控制。例如，智能扫地机器人可以通过对物体的位置、形状等信息的感知，从而完成扫地和拾垃圾的任务。



图：机器人哪些功能最需要AI芯片
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

发展AI机器人需要的配套技术

- **大数据与云平台：**

大量的数据和信息需要进行快速、准确的分析和处理。大数据技术可以提供高效、可靠的数据存储、处理和分析能力，云平台可以提供灵活、可扩展的计算、存储和网络资源，为AI机器人提供强大的后端支持。

- **机器学习与深度学习：**

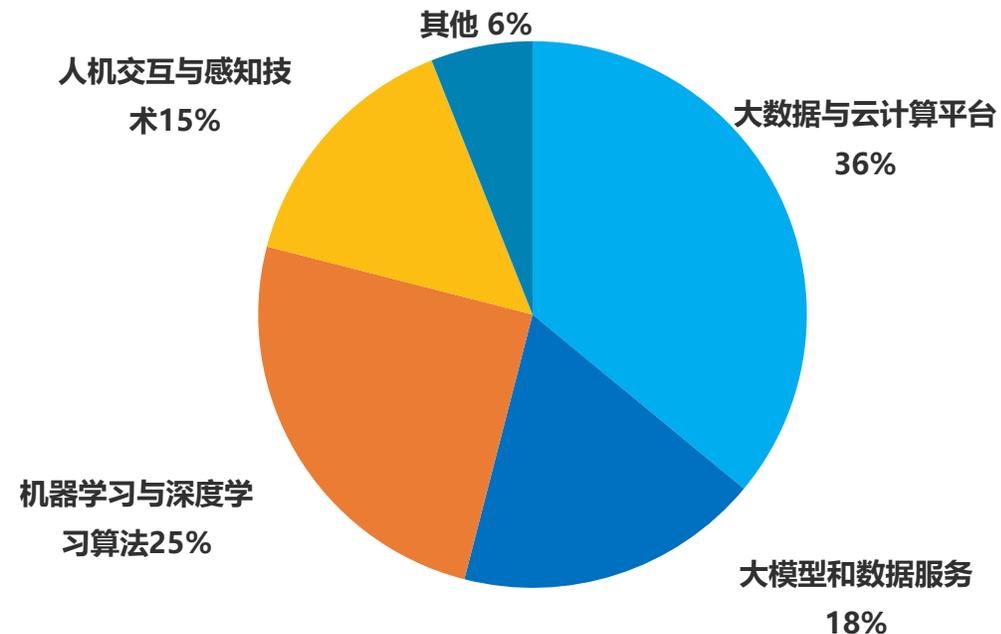
这些技术是AI机器人的核心驱动力，可以自动识别模式并进行预测，实现自我学习和自我优化。更好地识别和理解图像、声音和文本等数据，提高自身的感知和理解能力。

- **大模型和数据服务：**

大模型可以提供更强的计算和预测能力。数据服务则可以提供高效、可靠的数据存储、检索和分析能力，为AI机器人提供必要的数据支持。

- **人机交互和感知：**

更好地与人类进行交互和合作，提高机器人的用户体验和工作效率。人机交互技术可以支持机器人与人类进行语音、文字、姿态等多种形式的交互，而感知技术则可以让机器人更好地感知周围环境，如声音、光线、温度等，提高机器人的适应能力和智能化程度。



图：机器人发展需要哪些配套技术
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

AI机器人关键模块组成

借助网络、大数据、云计算等，实现感知智能层级。由云上的“大脑”进行控制，能全面感知环境、相互学习、共享知识，帮助机器人提高自学能力、适应能力。

- **感知模块:**

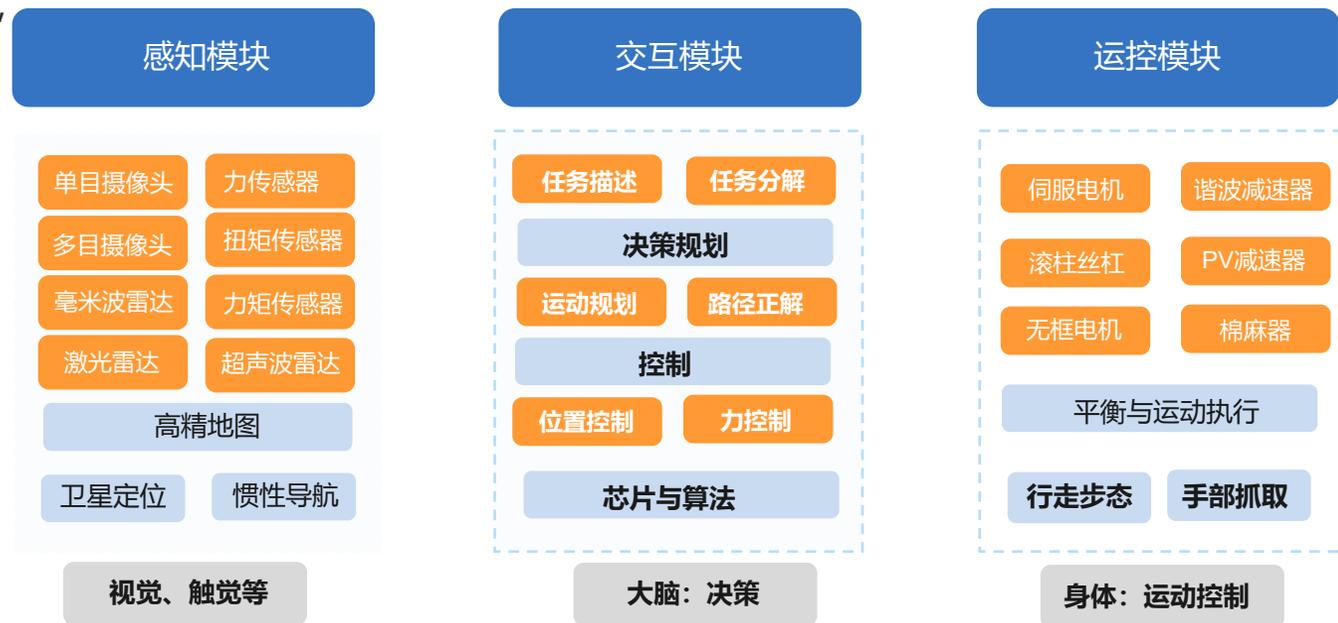
包括视觉和触觉，视觉有纯视觉路线，也有依靠雷达等多方式融合路线，以便躲避障碍、规划路线；触觉主要通过传感器判断物体的重量、特性等，以便更好实行动作控制。

- **交互模块:**

是机器人的大脑，核心是芯片与算法，为输入的任务进行分解、制定最佳决策规划，并根据感知和运控模块的反馈，实时调整，同时可利用大模型不断训练和迭代算法。

- **运控模块:**

机器人的身体，根据指令，对关节的控制是核心，包括角度、力、速度等控制，难点是保持动态平衡、行走跳跃奔跑、手部抓取等，电驱动方式下主要由电机、减速器、丝杠、编码器构成。



图：AI 机器人关键模块组成
(与非网据公开资料整理绘制)

AI机器人关键部件

- **伺服系统**

是运动控制的核心部件，主要由伺服驱动器、伺服电机和编码器组成，编码器通常嵌入伺服电机。伺服系统工作原理为：伺服驱动器发出信号给伺服电机驱动其转动，同时编码器将伺服电机的运动参数反馈给伺服驱动器，伺服驱动器再对信号进行汇总、分析、修正。整个工作过程通过闭环方式精确控制执行机构的位置、速度、转矩等输出变量。

伺服系统可通过闭环方式实现精确、快速、稳定的位置控制、速度控制和转矩控制，主要应用于对定位精度和运转速度要求较高的工业自动化控制领域。

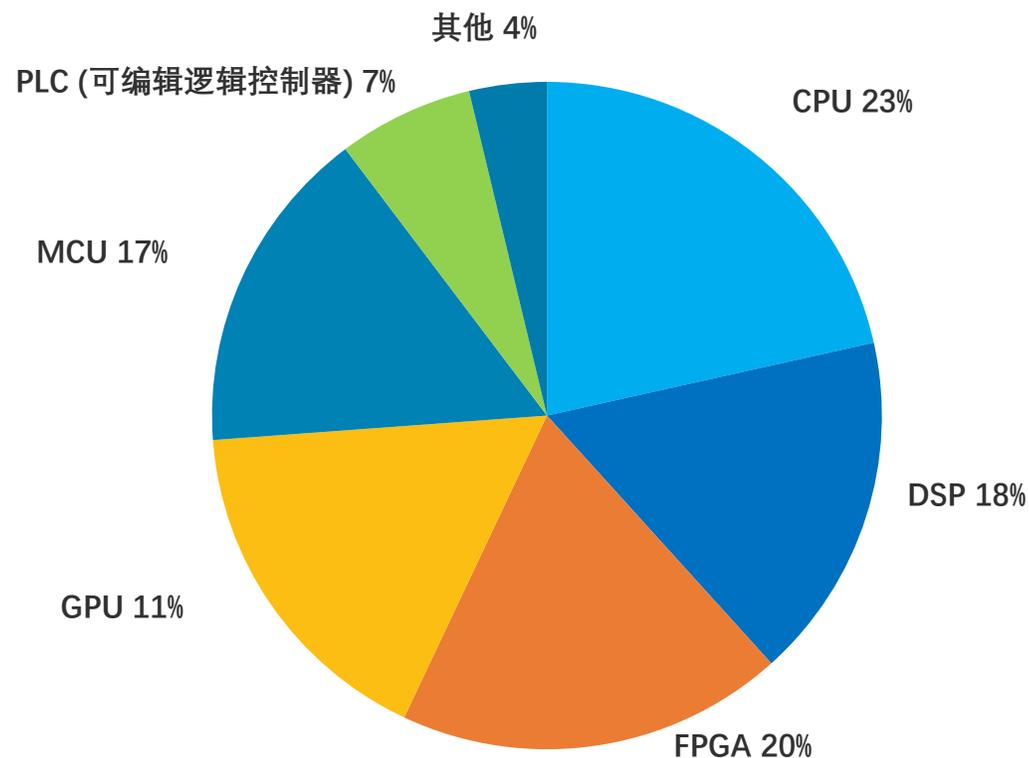
- **电机**

俗称“马达”，是基于电磁感应定律实现电能转换或传递的电磁装置，通常由一个用以产生磁场的电磁铁绕组或分布的定子绕组以及一个旋转电枢或转子和其它附件组成。电机的主要作用在于产生驱动转矩，作为用电器或各种机械的动力源。

电机按照用途分为驱动电机和控制电机，其中驱动电机包括直线电机和旋转电机，多用于工业领域；控制电机包括步进电机、伺服电机和力矩电机等。其中，空心杯电机与无框力矩电机是人形机器人常用零部件，空心杯电机是采用了空心杯绕线技术的直流有刷或者直流无刷电机，属于伺服电机的一种，适用于灵巧手；无框力矩电机是一种无框架式的无刷永磁同步电机，适用于旋转关节和线性关节。

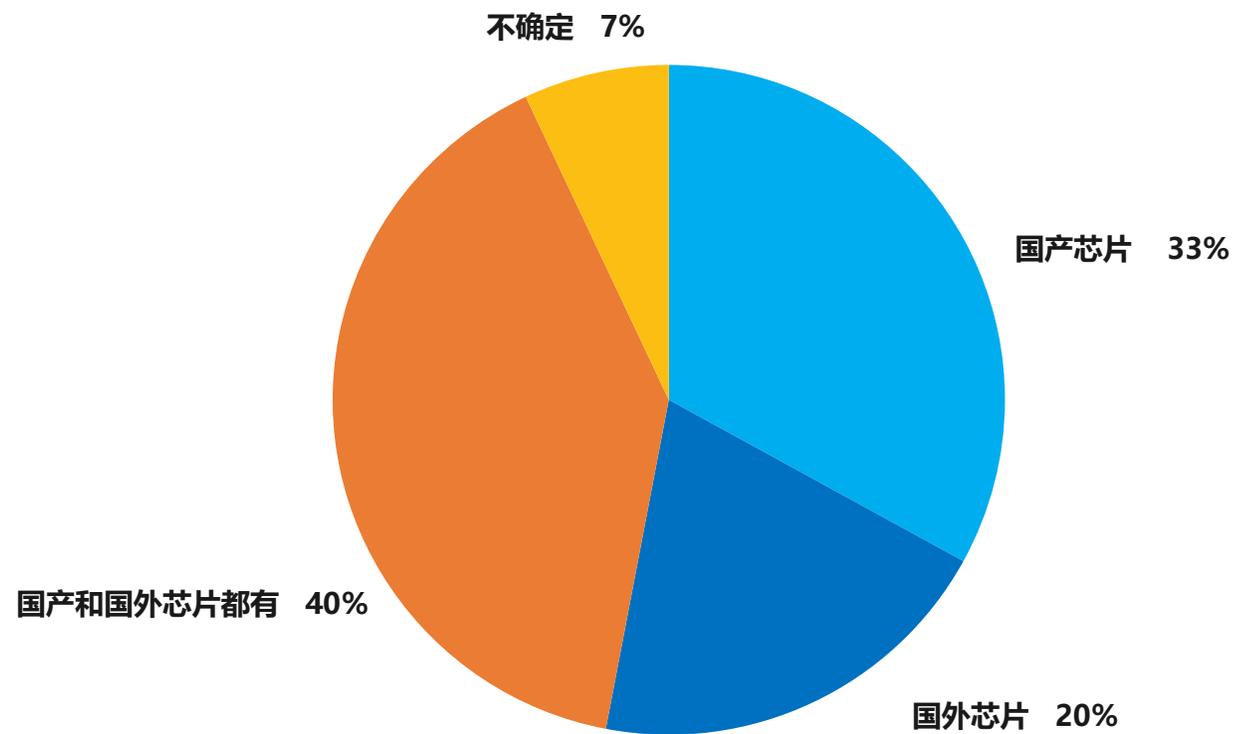
AI机器人主控芯片使用情况

- **CPU:**
在机器人控制系统中，用于处理传感器数据、执行运动控制算法等任务。
- **FPGA:**
适用于多指令、单数据流的处理分析，可以用硬件实现软件算法。在实现复杂算法方面有一定的难度，比如需要高度抽象和复杂逻辑的算法，需要设计者具备深厚的硬件设计和编程知识，才能有效地将算法转化为硬件逻辑。
- **DSP:**
主要用于信号处理、数字图像处理等。具有高速的数字信号处理能力，可以完成复杂的数学运算和信号处理任务。
- **GPU:**
在机器人控制系统中，用于加速机器人的视觉处理、深度学习等任务。
- **MCU** :
主要用于控制系统的数字化控制。具有轻便、低功耗和高度集成等特点，适用于小型控制系统。
- **PLC** :
具有可靠性和抗干扰能力强等特点。在机器人控制系统中，PLC可以用于实现运动控制、传感器数据处理等任务。



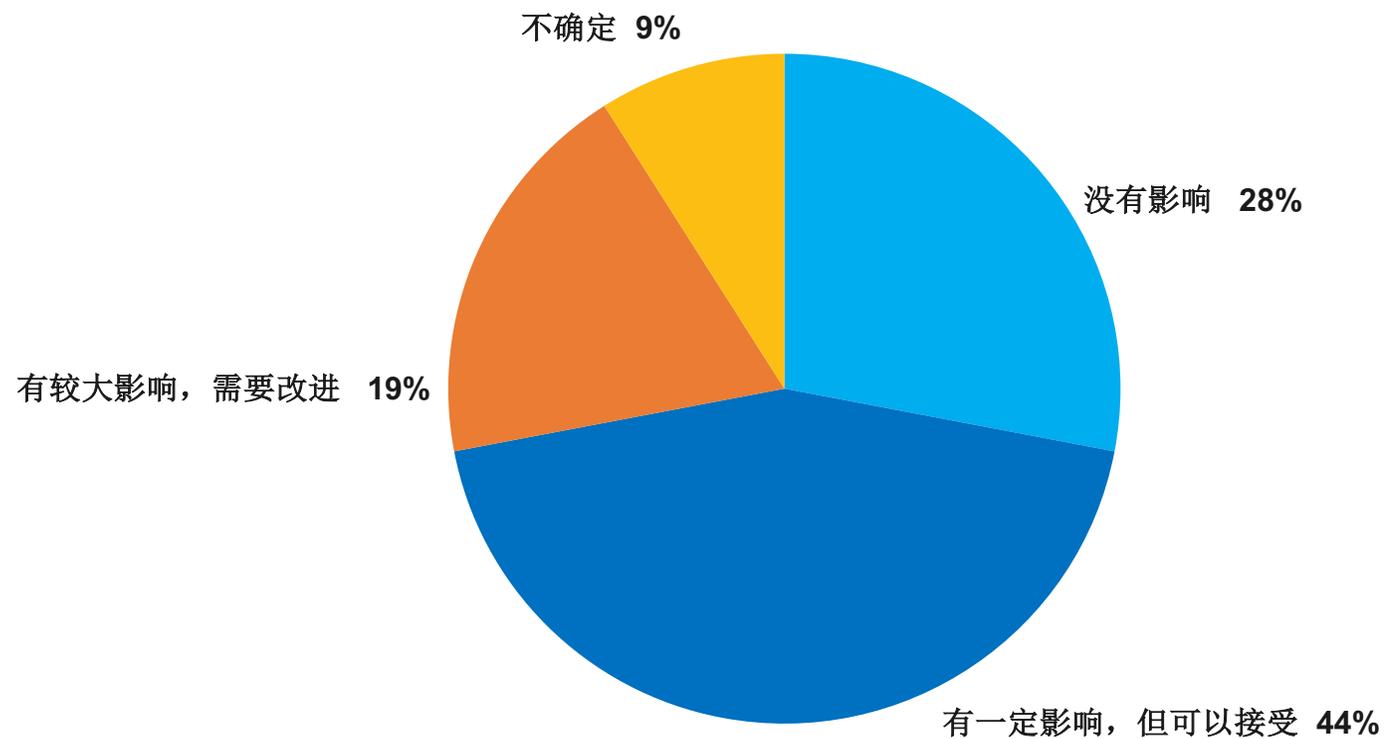
图：AI机器人主控芯片使用情况
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

国外、国产主控芯片使用情况



图：AI机器人主控芯片来源
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

主控芯片国产化的影响



图：使用国产芯片对AI机器人的控制、驱动及计算性能的影响
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

AI 机器人主控芯片分析

公司	芯片平台	介绍
英伟达	Jetson AGX Orin平台	运算能力30 TOPS（万亿次每秒）。包含了alta Tensor核心图形处理单元，八核CPU，一个双NVDLA深度学习加速器，一个图像处理器，一个视觉处理器以及一个视频处理器。能够使几十种算法同时实时处理，从而用于传感器处理、测量、定位和映射、视觉及感知，外加路径规划等。
高通	RB6和RB5 AMR平台	70-200TOPS，INT8，可通过扩展卡支持3GPP Release 15、16、17和18特性。同时，RB6平台还提供了全面、可定制且易于使用的丰富硬件及软件开发工具组合，包括全集成的AI SDK、智能多媒体SDK等，可融合多媒体、AI与ML、计算机视觉(CV)和网络构建模块，支持端到端机器人应用部署。
AMD	Kria SOM平台	基于Zynq UltraScale+ MPSoC的架构，有一个四核的ARM A53处理器，4GB DDR4内存。板卡可扩展，支持Wi-Fi、5G等未来机器人开发过程中需要使用的功能。
英特尔	HERO系统平台	采用了英特尔酷睿系列CPU，并搭载英特尔Arria 10 GX系列FPGA作为异构加速器，CPU和FPGA之间通过8通道PCIe高速接口进行通信。
恩智浦	Layerscape多核通信处理器系列	LS1046A和LS1026A是多核通信处理器的两个代表产品。它们将四核（LS1046A）和双核（LS1026A）64位Arm Cortex-A72与数据包处理加速、高速外设相集成。LS1046A具备32000 CoreMarks的高性能，可以与10Gb以太网、第三代PCIe、SATA 3.0、USB 3.0和QSPI接口配对，可适配多轴控制。
Microchip	SAM系列的高性能MCU	SAM S70和E70使用了300MHz的Arm Cortex-M7内核。S70具备64 KB紧密耦合内核内存，可以快速驱动FOC控制。S70采用了一对2Mps双采样12bit ADC引擎。再加上模拟外设、16 bit PWM与16 bit Timers，S70可以实现多轴控制与双电机控制。
ADI	CM4xx混合信号控制处理器系列	采用ARM-Cortex M4处理器内核，集成高精度ADC、数字加速器和滤波器、SRAM和闪存以及丰富外设，适配要求高性能实时控制和模拟转换的机器人多轴控制应用。例如CM407F-A，集成双通道高精度16 bit ADC和一个240MHz M4处理器内核，集成了384KB SRAM存储器、2MB闪存、光伏（PV）逆变器控制、电机控制和其他嵌入式控制应用而优化的加速器和外设。
英飞凌	XMC4000系列	采用内置DSP指令的 Arm Cortex-M4内核。各型号在主频、应用方向上有不同，不过单精度浮点单元、DMA以及MPU都具备，部分型号集成EtherCAT。内核性能加上增强型的通信能力、以及较低成本，是该系列特点。
TI	C2000和AM64X系列	C2000 DSP系列在行业畅销多年。AM6442是Sitara新增的工业级异构Arm处理器产品系列，针对需要将实时通信与应用处理结合的电机驱动器而构建。AM6442将两个支持时间敏感TSN技术的Sitara千兆位PRU-ICSSG与最多两个Arm Cortex-A53内核、最多四个Cortex-R5F MCU和一个Cortex-M4F MCU合并到一起，可实现对工业机器人的多轴控制。

图表：AI机器人主控芯片代表汇总（与非网据公开资料整理制表）

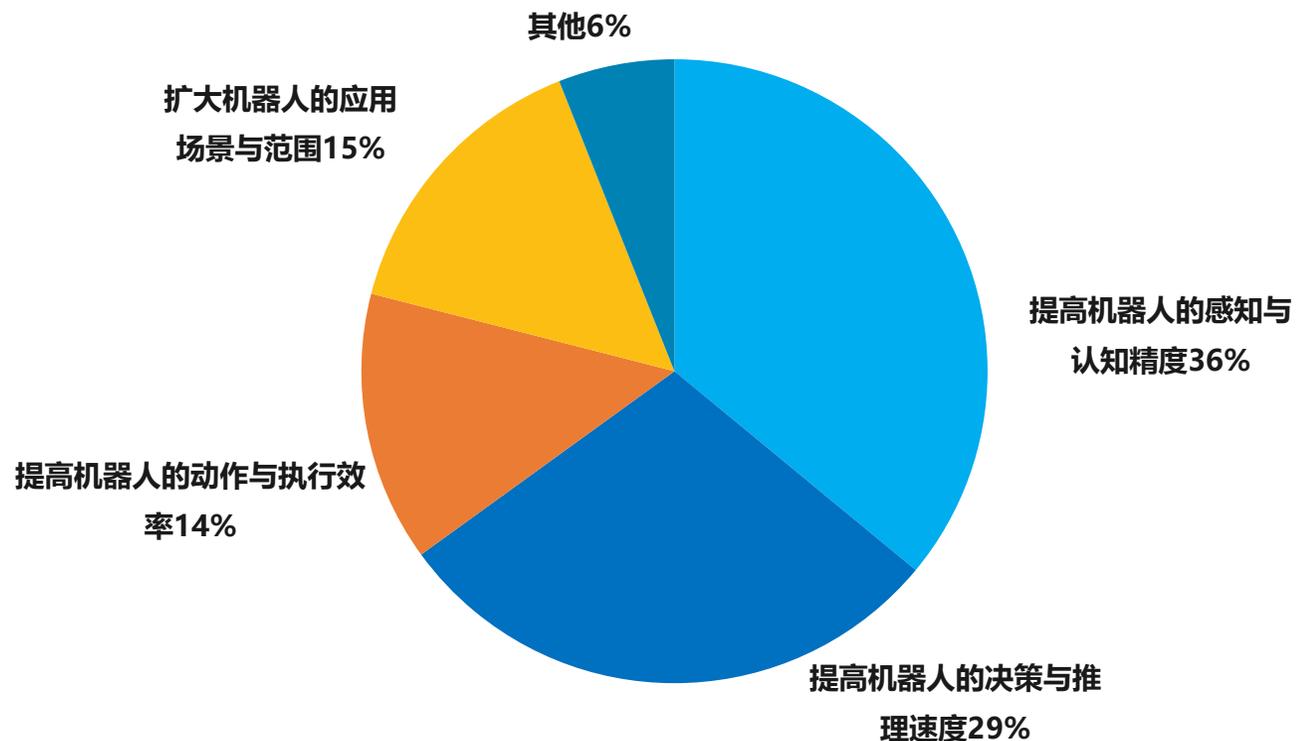
AI 机器人主控芯片分析

公司	芯片平台	介绍
瑞萨	RX72M系列	RX72M产品组内核是RX第三代CPU内核Rxv3 core。主频最高240MHz，1396 CoreMark，片上双精度FPU，4MB存储、1MB SRAM。这种设计方案考虑到总线通信功能，将从控制器集成到了MCU上，实现了在单个芯片上使用专用控制器的系统配置，有助于减少零件数量并节省空间。
兆易创新	GD32系列	整个系列包括基于M3、M4、M23以及RISC-V内核。GD32F4系列属于增强系列，168MHz高主频，3MB闪存与192KB SRAM。GD32F4系列内核包含一个浮点运算器（FPU），用于提高单精度浮点运算速度。此内核可执行全套DSP指令并支持所有ARM单精度指令和数据类型，还配备了MPU和强大的跟踪能力满足高级调试的要求。外设接口包括SPI、I2C、USART、USB 2.0 OTG FS和CAN。
航顺	HK32F39A系列	使用ARM Cortex-M3内核，主频最高为120 MHz，内置航顺自主研发的协处理器，可实现ARM Cortex-M4内核支持的算术指令中的绝大部分，其中包括32位单精度浮点运算。与一些M4系列芯片相比，在同一软件同一主频下，相同的CoreMark测试跑分表现较好。在高性能应用端，HK32F39A系列搭配协处理器用于工业机器人。
峰昭科技	FU6832系列	FU6832系列采用双核芯片架构，使用8051内核加ME（电机控制引擎）。完全自主知识产权的电机驱动专用IP内核，双核架构可以独立运行控制算法，算力提高。ME集成诸多硬件模块，可通过硬件自动完成电机FOC/BLDC运算控制；8051内核则用于参数配置和日常事务处理，双核并行工作实现各种高性能控制。
芯旺微	KunFu系列	32位混合指令集的自主IP内核系列，从48MHz到120MHz都能应用到工业机器人上。最高主频的KF32L530有基于16位/32位混合指令的高效指令集，最高拥有带ECC校验的512KB FLASH和128KB的RAM（支持RUN in RAM）。针对电机控制进行了优化，包括无感FOC、为低主频的芯片加入硬件加速单元，主要用于机器人主控。
极海半导体	APM32F系列	APM32工业级芯片的高ESD等级和高温度覆盖范围是其特长，8kV的抗干扰能力能够提高电机系统的静电防护能力。APM32应用在机器人关节伺服系统最多的是APM32F407系列。APM32F407系列基于ARM Cortex-M4内核可以支持单精度FPU和增强型DSP处理指令。主频最高168MHz，拥有1MB的FLASH和192的SRAM，同样支持外部存储器拓展。基于APM32F407系列给出的机器人伺服方案可以将电机、驱动器和减速机进行一体化设计，这样功率密度会比分离式更高；APM32F407系列除了内核拥有DSP和FPU高性能处理能力，还给出了支持SDRAM等多种外设接口，对于工业机器人丰富的外设完成覆盖。
国民技术	N32G455系列	采用32位ARM Cortex-M4内核，主频144MHz，支持浮点运算和DSP指令，拥有512KB片内FLASH和144KB的SRAM，包括17个高性能模拟器件、18个数字通讯接口，内置了10余种密码算法硬件加速引擎，支持存储加密、用户分区保护、安全启动等多种安全特性，安全的高集成性是N32G455系列的特色。还配置了2个6.9ns控制精度的16位高级定时器用于互补PWM输出，3.3V下待机状态3uA，正常工况下90uA/MHz功耗。
灵动微	MM32系列	MM32SPIN系列的MM32SPIN222C在工业机器人小型关节上应用较广。ArmCortex-M0为内核的32位微控制器，最高工作频率可达72MHz，内置高速存储器，丰富的I/O端口和多种外设。包含12位的ADC，采样速度1MHz；5个通用定时器、1个针对电机控制的PWM高级定时器；1个I2C接口、2个SPI接口和2个UART接口。针对电机应用内置1个比较器，集成6个MOSFET，支持3V-16V供电，最大驱动电流为1.5A。
地平线	旭日机器人开发平台	基于自研的AI专用计算架构BPU（Brain Processing Unit），旭日系列芯片已经迭代到旭日3芯片。旭日3采用台积电16nm工艺，具有高性能、低功耗的特点。基于旭日3芯片地平线还推出了旭日X3派开发板，算力能够达到5Tops，可与TogetherROS操作系统适配。
瑞芯微	AI芯片系列	主要有RK3399、RV1108、RK3326及RK3308四款“AI人工智能扫地机器人”芯片级解决方案；同时基于瑞芯微RK PX3SE处理器为合作伙伴推出了多款老人陪伴机器人、家庭服务机器人等。
炬芯	ATS3X03系列	最早做智能早教机器人，曾推出ATS3X03系列芯片。代表产品中，采用炬芯ATS3505主控芯片的腾讯小Q智能机器人就是其中之一。
后摩智能	存算一体AI芯片	通过存储单元和计算单元的深度融合，实现了高性能和低功耗，样片算力达20TOPS，可扩展至200TOPS，计算单元能效比达20TOPS/W，可支持大规模视觉计算模型。

图表：AI 机器人主控芯片代表汇总（与非网据公开资料整理制表）

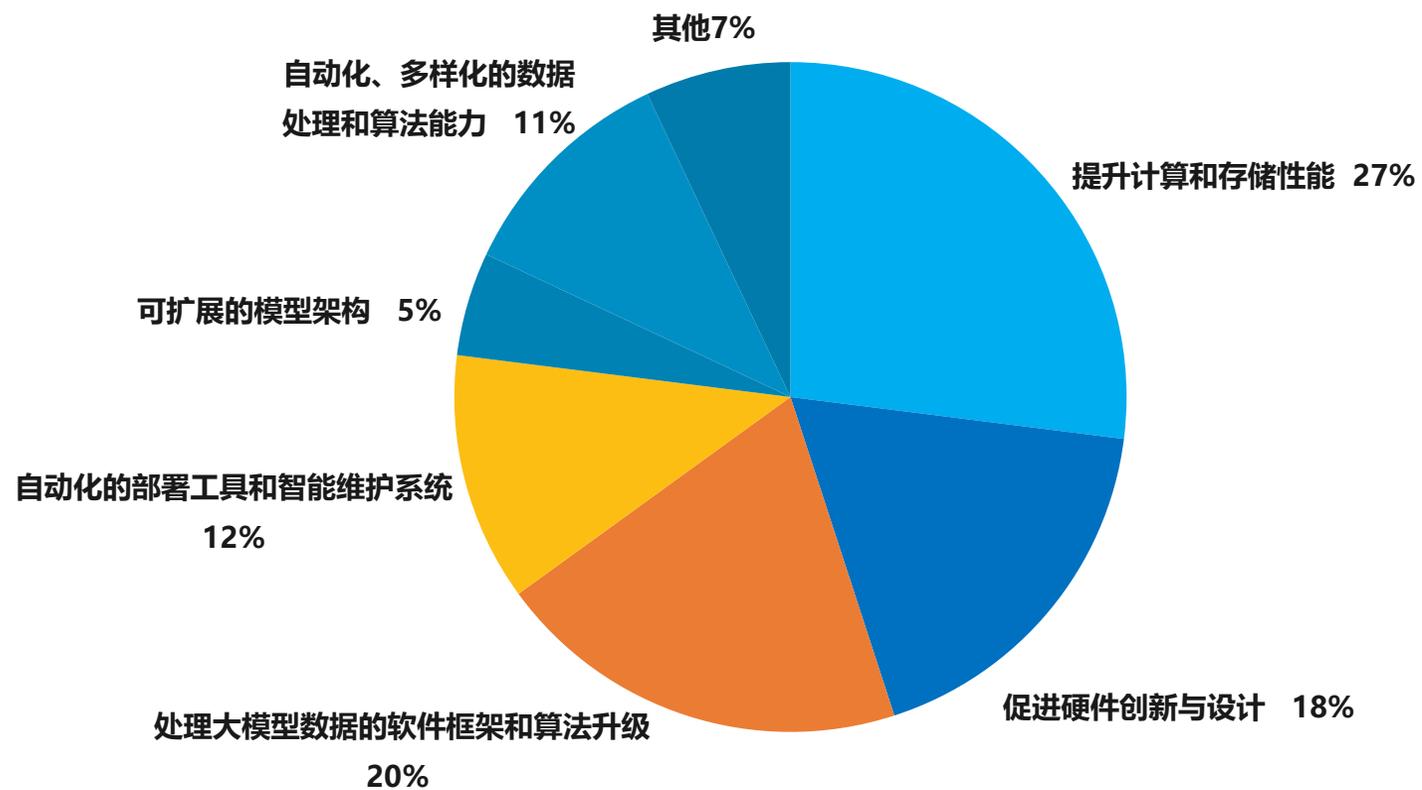
AI大模型的驱动作用

- **提升感知与认知精度：**
大模型具备更强的泛化能力，可以更好地适应各种场景，使得AI机器人能够更智能化地理解和执行任务。
- **提高决策与推理速度：**
大模型具有更强的学习能力，可以让AI机器人通过自我学习和迭代，不断提升自身的智能化水平和应用能力。
- **扩大应用场景与范围：**
大模型可以覆盖更多的应用场景，使得AI机器人能够在更多的领域中得到应用，如智能客服、智能家居、自动驾驶等。
- **提高机器人的动作与执行效率：**
大模型搭配更强大的计算能力，处理速度会显著提高，从而提高机器人的动作与执行效率。



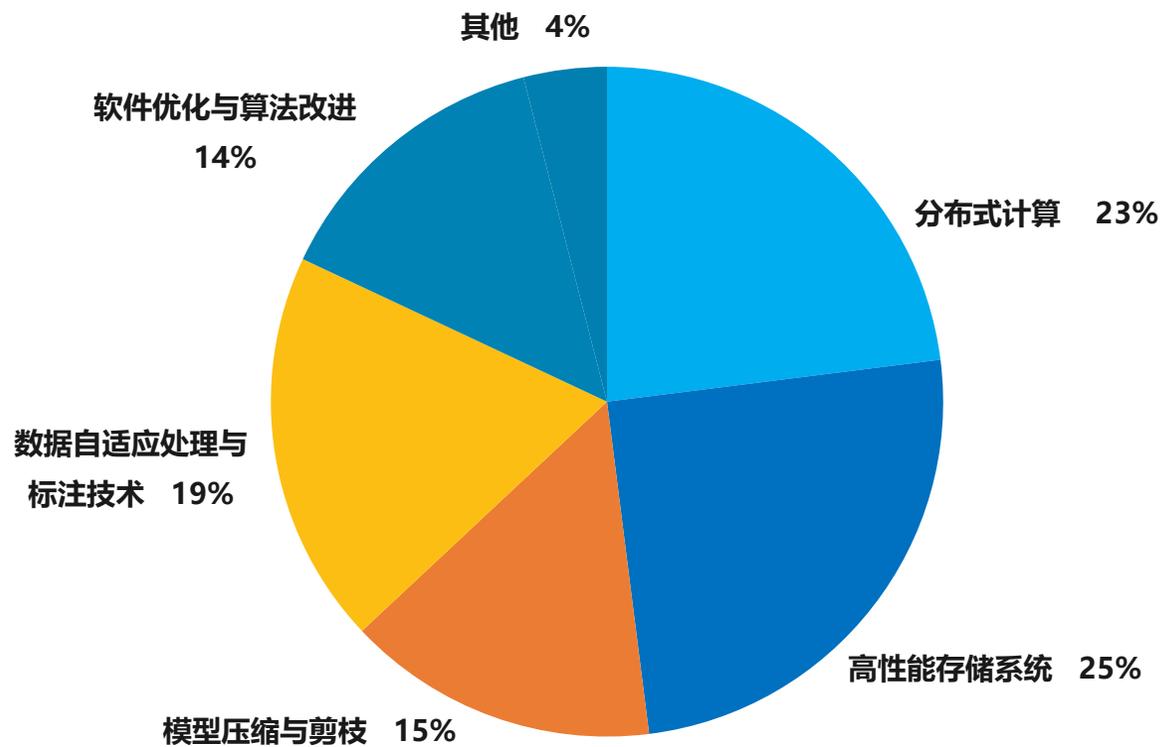
图：大模型对AI机器人的提升体现在哪些方面
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

AI对机器人发展的影响



图：AI大模型对机器人的影响
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

影响AI大模型性能的积极因素



图：哪些因素对AI大模型训练和推理性能有积极影响
(与非网针对行业用户调研统计，数据生成时间2023年10月19日)

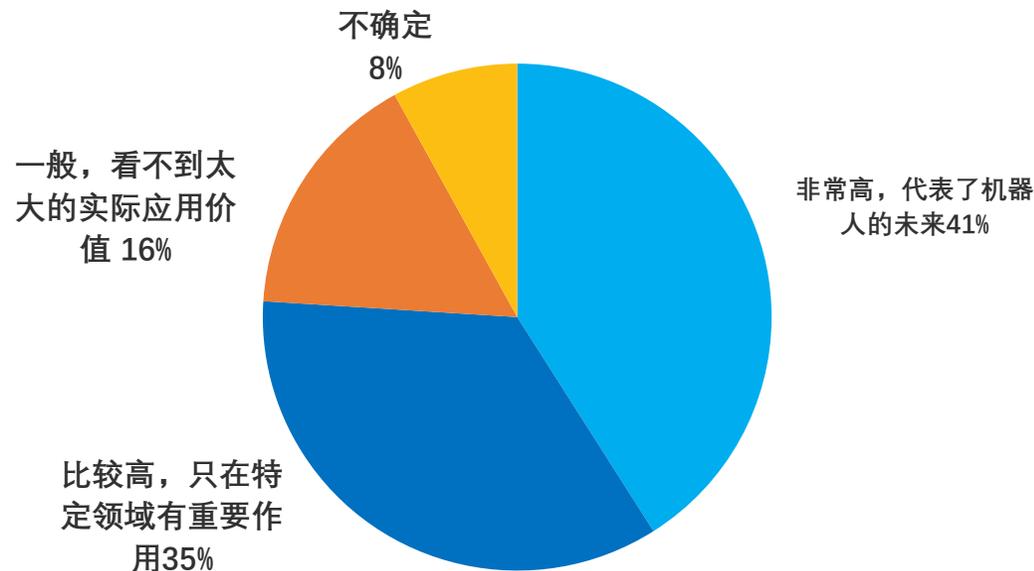
典型代表：人形机器

- 软硬件技术
- 核心技术

人形机器人的产业地位

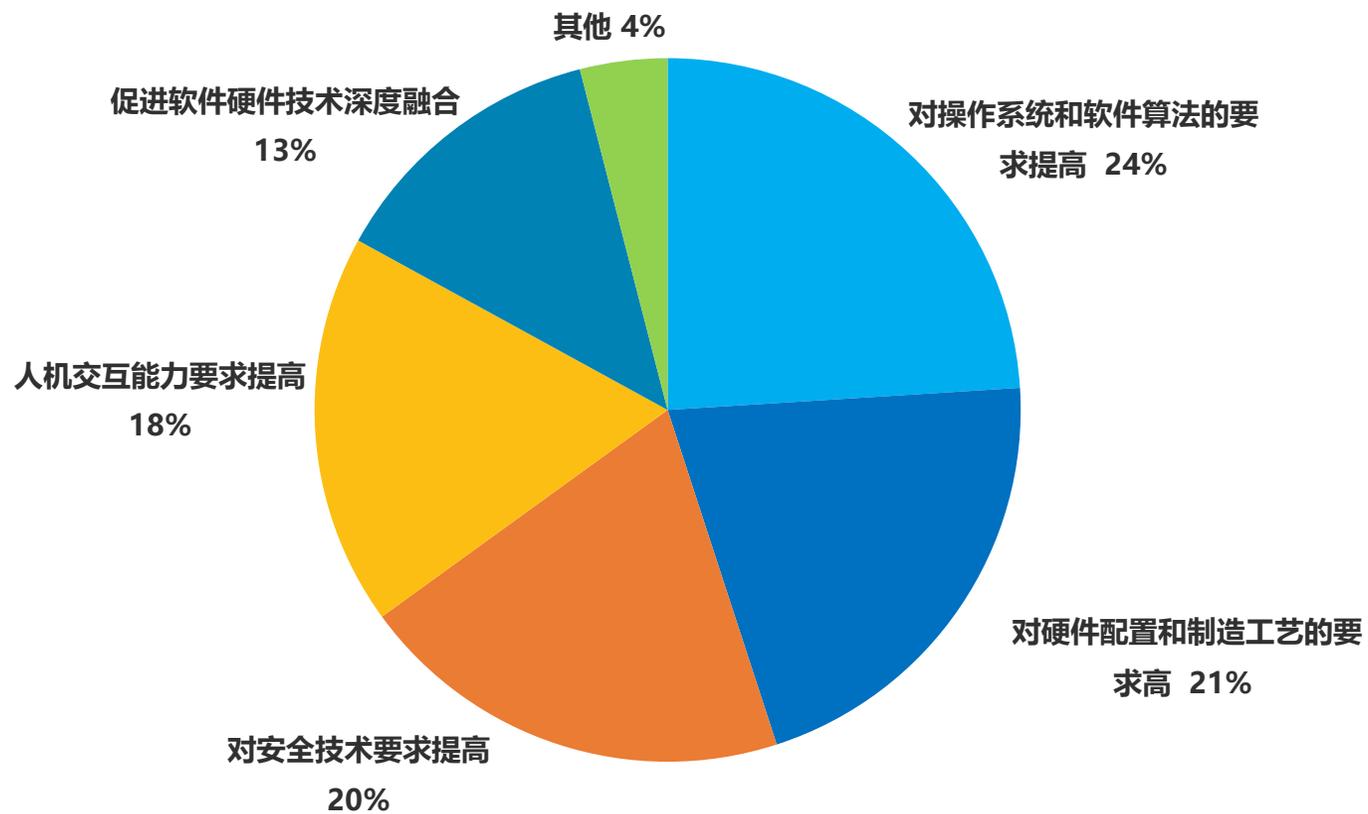
人形机器人的通用性打破工业及服务机器人的限制，近年是资本市场的关注点之一。

- 人形机器人**最基本的特征**是具有人类的外形特征和行动能力。
- 人形机器人相比普通机器人拥有**更高级的感知交互系统**，包括传感模块和软件方面(导航技术、智能决策等)。
- 与普通机器人相比**更需要保持平衡**，比如普通服务机器人有底盘，用轮式驱动，不存在摔倒问题；人形机器人靠双足行走，并需要适应不同的地面，每个关节受力更加复杂，对减速器负载和电机响应速要求更高。



图：如何看待人形机器人的产业地位，与非网针对行业用户调研统计（数据生成时间2023年10月19日）

人形机器人对软硬件发展的要求



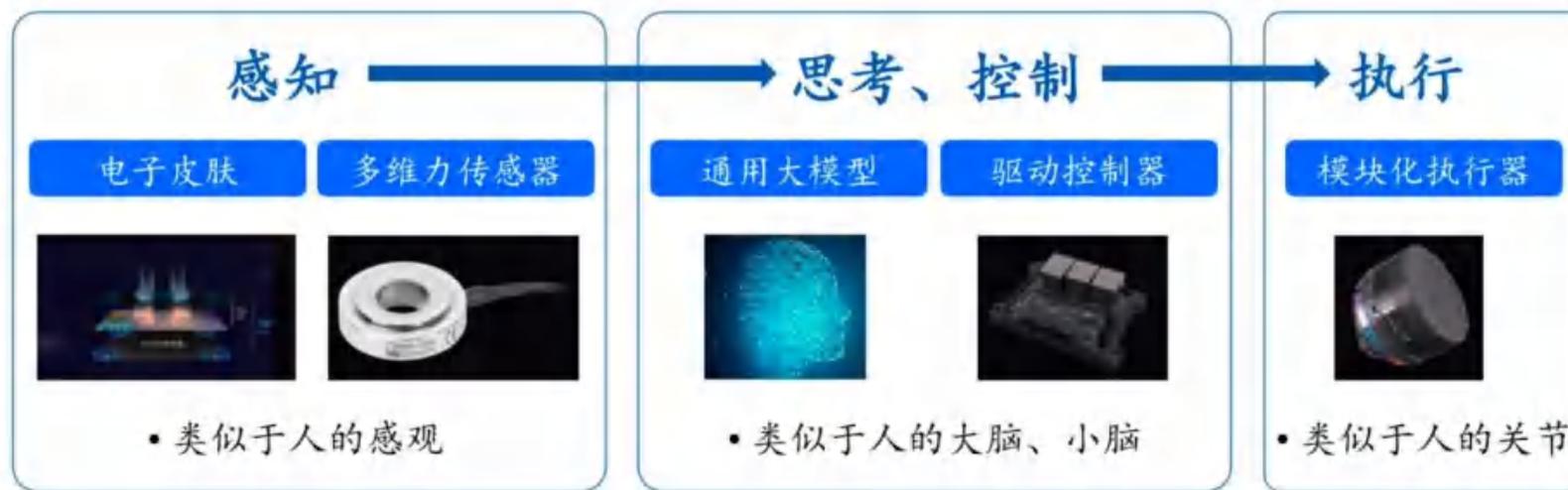
图：人形机器人对软硬件发展的要求，与非网针对行业用户调研统计（数据生成时间2023年10月19日）

人形机器人核心技术突破，产业有望加速

- **多模态语言大模型**的问世意味着人形机器人“大脑”核心技术取得一定突破。
- 人形机器人硬件层主要包括“**感知**”与“**执行**”。

感知层类似于人类的感观，可为机器人提供触觉、听觉、视觉甚至嗅觉等物理量、化学量的反馈，而各类感知的实现均存在不同的技术路径，如力学感知有伺服电流环、力/力矩传感器、电子皮肤等方案；

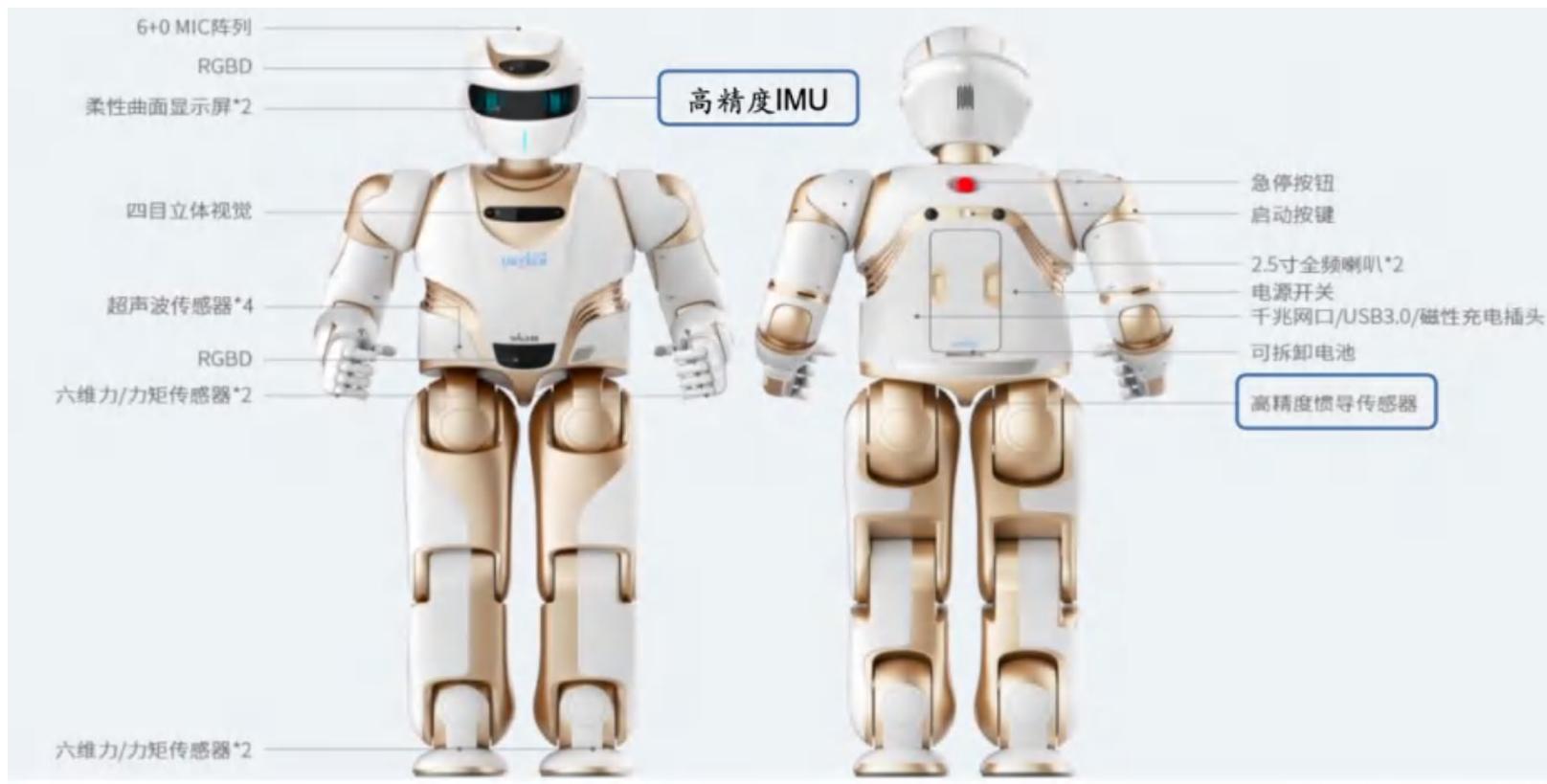
执行层主要为机器人肢体、关节，是运动控制、任务执行的载体，受限于人形空间，通常需要一体化电机模组。



图：人形机器人底层技术与关键硬件，
来源：傅利叶智能

人形机器人核心技术突破，产业有望加速

- **IMU(惯性测量单元)**通过测量物体加速度和角速度的变化来推算出物体在三维空间中的位置和姿态。目前高精度MEMS IMU主要应用场景包括高精度自动驾驶以及人形机器人。
- 作为自主导航机器人，人形机器人必须实时知晓自己的位置。而IMU是测量物体三轴姿态角(或角速率)以及加速度的设备，在**机器人导航**中有着很重要的应用。
- 早期机器人通常在**躯干位置**放置IMU，随着惯导系统在人形机器人中的应用逐渐成熟，**头部**也将放置IMU，和立体视觉相机等组合进行定位及导航。



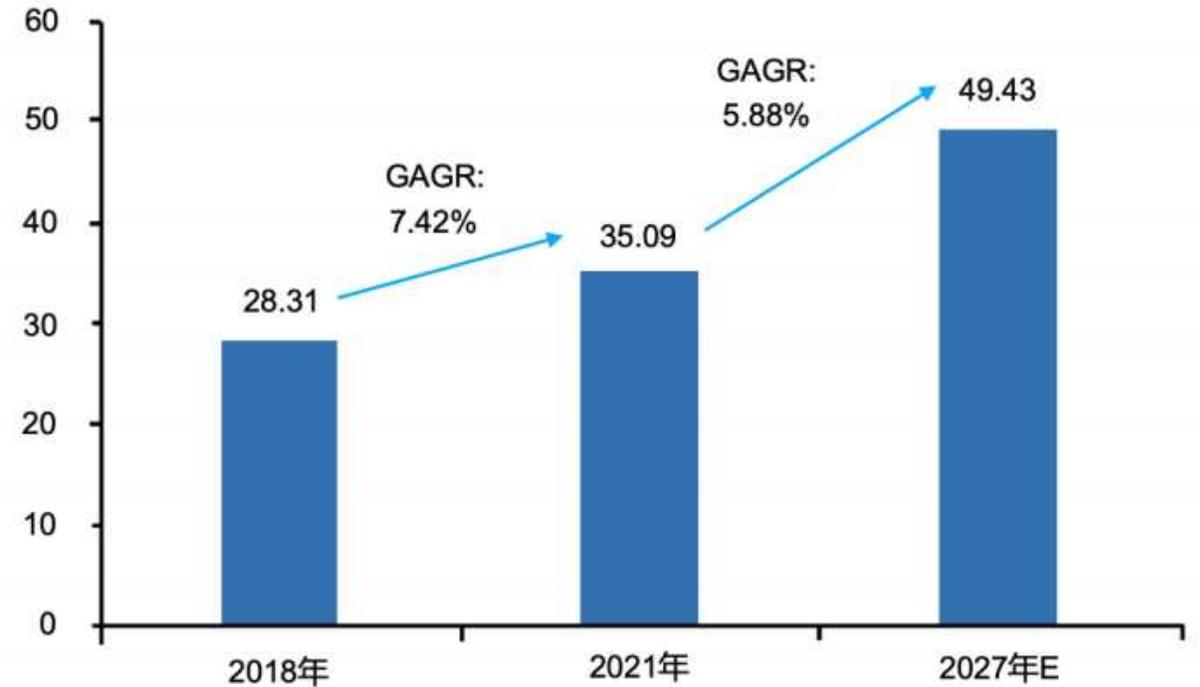
图：IMU在人形机器人中的应用，
来源：优必选

人形机器人核心技术突破，产业有望加速

IMU(惯性测量单元)主要由多组惯性传感器组成。其中惯性传感器通过惯性技术实现物体运动姿态和运动轨迹的感知，**主要包括陀螺仪和加速度计：**

陀螺仪用于感知物体运动的角速率；**加速度计**用于感知物体运动的线加速度。二者辅以时间维度进行运算后可得出物体相对于初始位置的偏离，进而获得物体的运动状态，包括当前位置、方向和速度。

随着半导体产业的快速发展，MEMS 工艺由于其体积小、高集成、抗高过载、成本低等优势，MEMS陀螺仪和 MEMS加速度计已经在基础应用领域完成了对其他技术路线的替代，并随着精度提升进一步向更高端领域渗透。



图：全球MEMS惯性传感器市场规模（亿美元），
来源：Yole

AI机器人趋势与展望

- 核心竞争力
- 通用大模型

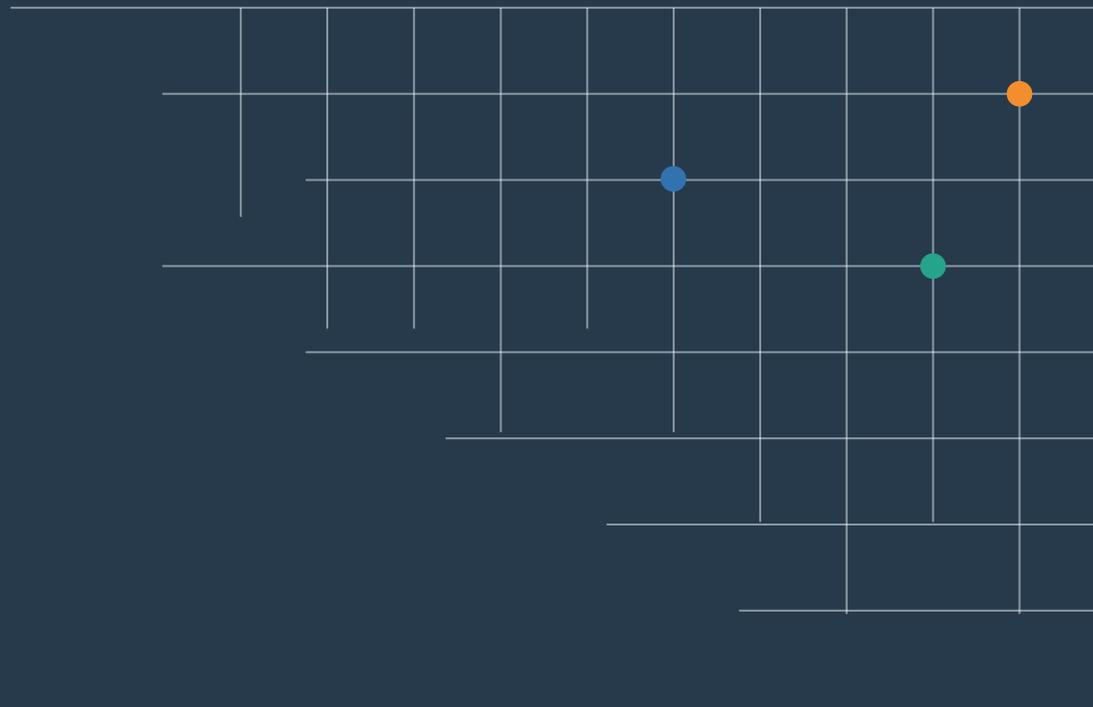
竞争力：软件平台将越来越重要

- **ROS 平台可以有效提升开发效率**

ROS (Robot Operating System) 机器人操作系统包含了很多开源功能包，便于开发者大幅提升开发效率。

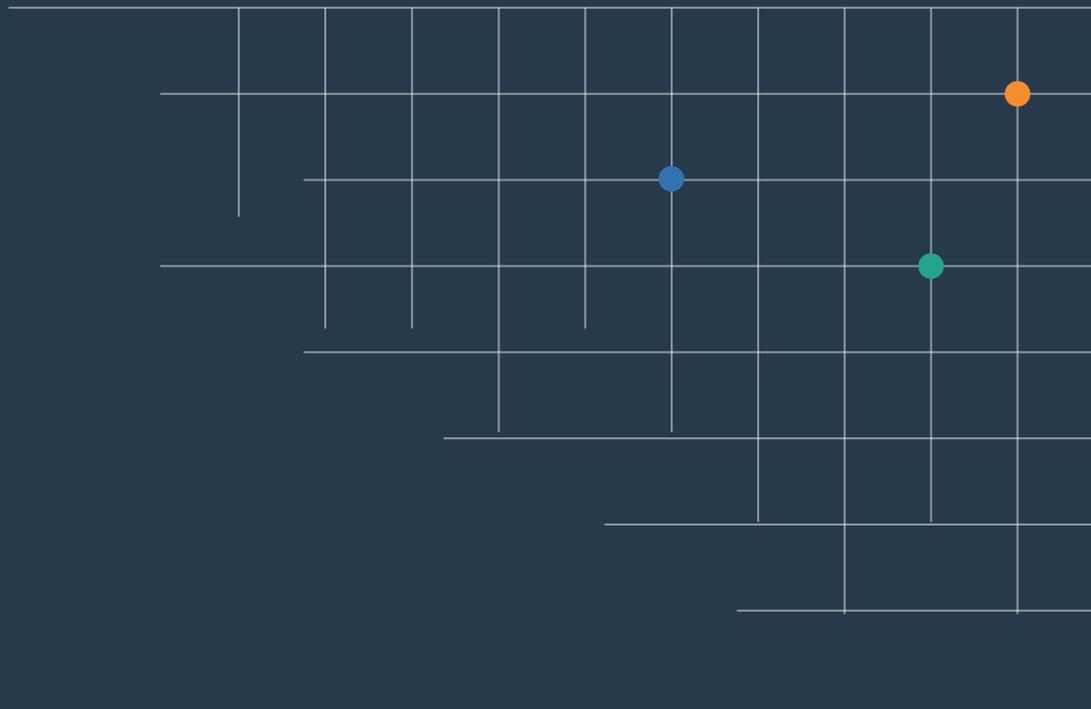
- **机器人的仿真训练平台是研发和测试的必需环节**

仿真训练为机器人提供了安全的训练环境，能够模拟真实世界中的各种场景和情况，并允许机器人进行大规模的试错和学习。



通用大模型+AI机器人的趋势

- **大数据+强算法+大算力**，强化基础能力。
- **更高级别的智能水平**：通过与通用大模型的结合，AI机器人将具备更高级别的智能化水平，包括**更精准的感知、更灵活的运动控制、更自然的交互表现**等。
- **有望重塑AI机器人决策执行机制**，无需工程师编程，只需用户提供指令，AI机器人就能自行生成完成指令的代码，智能化程度更高。
- **更好地泛化到多种场景**：通用大模型通过大量数据的预训练，可以更好地泛化到各种场景中，提升机器人在不同环境下的适应性和鲁棒性。



本次调研用户行业分布情况

