

服务机器人专题研究

文/兴泰资本 王瑞

一、研究背景

近年，中国人口红利消失，社会老龄化问题日益凸显，不断上升的劳动力成本迫使企业“机器换人”，产业结构正由劳动密集型向技术密集型、人才密集型、资金密集型转变，为机器人产业带来了巨大商机。随着机器人、计算机、物联网、云计算等技术不断成熟，机器人已被逐步应用于工业制造、医疗、军工、物流、农业等领域。同时，家用服务机器人也在逐渐走进千家万户。

2014年，全球个人/家用机器人销量约470万台，其中包括家庭清洁机器人、娱乐机器人、陪护助残机器人等。2015年，我国服务机器人市场规模为85亿元，预计未来5年市场增长率可以达到17%，到2020年全国市场需求可以达到186亿元。（来源：智能制造网）

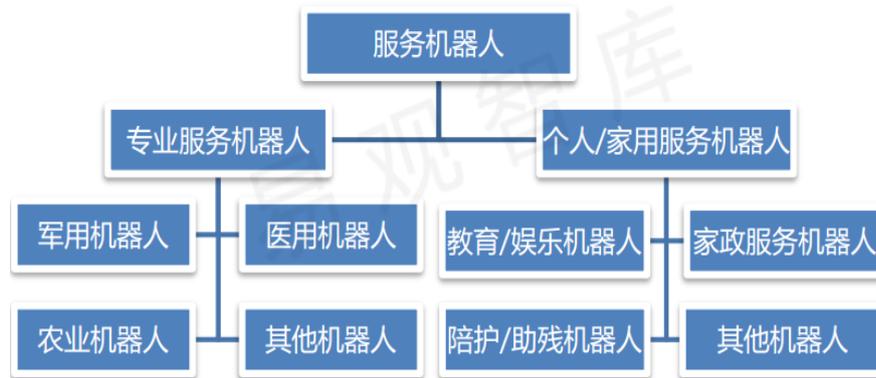
二、研究定义

尽管服务机器人一片蓝海，不过到底该如何定义服务机器人，一直没有那么明确。国际机器人联合会经过几年的搜集整理，给了服务机器人一个初步的定义：服务机器人是一种半自主或全自主工作的机器人，它能完成有益于人类健康的服务工作，但不包括从事生产的设备，服务机器人的定位就是服务。

从机器人的功能特点上来讲，它与工业机器人的一个本质区别在于，工业机器人的工作环境都是已知的，而服务机器人所面临的工作环境绝大多数都是未知的。

服务机器人：指用于非工业生产，具备半自主或全自主工作模式，可在非结构化环境中为人类提供有益服务的设备。按应用领域可划分

为专业服务机器人和个人/家用服务机器人两类。



服务机器人从应用场景分类可以分为清洁机器人、娱乐机器人、教育机器人、陪护机器人、家庭安全机器人等；专业服务机器人可分为医疗机器人、物流机器人、客服机器人、军事机器人等。现阶段服务机器人还属于产品导入阶段，未来要实现产业化发展，需要从需求量去看投资逻辑，这些自然也不能离开服务机器人产业化基础即技术的突破和进展。

三、发展历程



概念阶段：1920-1950年，随着机器人名词及概念的出现，“机器人三大定律”、《控制论》等相关理论知识储备逐渐完善。

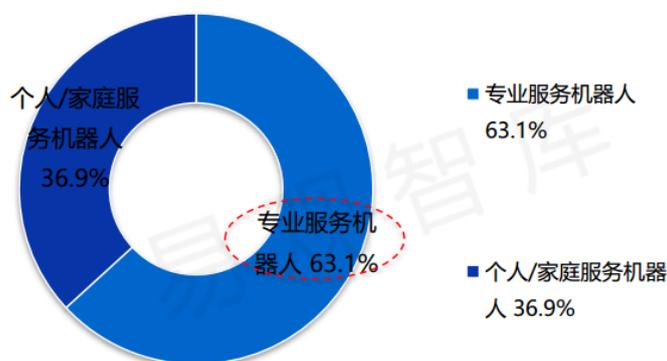
实验室阶段：依托传感器、计算机、仿真等技术发展，美国、日本等发达国家相继研发出有缆水下作业机器人（ROV）、仿真机器人等。

萌芽阶段：物流、医用等专业服务机器人逐步投放市场，而人工智能技术的发展为机器人产业带来广阔的遐想空间。

发展阶段：进入二十一世纪，全球人口老龄化问题日益严重，随着人均可支配收入的提升和物联网、大数据、计算机、人机交互等先

进技术的快速迭代，促进服务机器人在军事、医疗、海洋勘探、家庭等领域的广泛应用。

2014年全球服务机器人收入份额



© Analysys 国际机器人联盟 (IFR)·易观智库整理 www.analysys.cn

专业服务机器人的销售单价远高于家用服务机器人，以医疗机器人为例，单价普遍在 100 万美元以上，因此尽管销量远低于家用服务机器人，但现阶段专业服务机器人的销售贡献率高于家用服务机器人。

2014 年，全球专业服务机器人销量约为 24000 台，销售额达到 37.7 亿美元，全球专业服务机器人累计销量达到 17 万台，主要应用于军事国防、农业、物流、医疗等领域。

全球家用服务机器人以家政服务（功能型）为主，2014 年销量份额近 70%，远高于其他类型服务机器人。随着老龄化问题日益严重和劳动力成本上升，预计助老助残型机器人的市场份额将进一步上升。



服务机器人的核心在于智能，只有机器人真正实现智能化，具有认知能力，才能更好地实现服务机器人的大发展，通过上图可以发现，目前的智能机器人的发展主要建立在感知技术、计算机技术及其他技术之上，由机器人正在渐渐向智能化发展，概括说来，即为通过下述的技术提升智能化的相关能力。

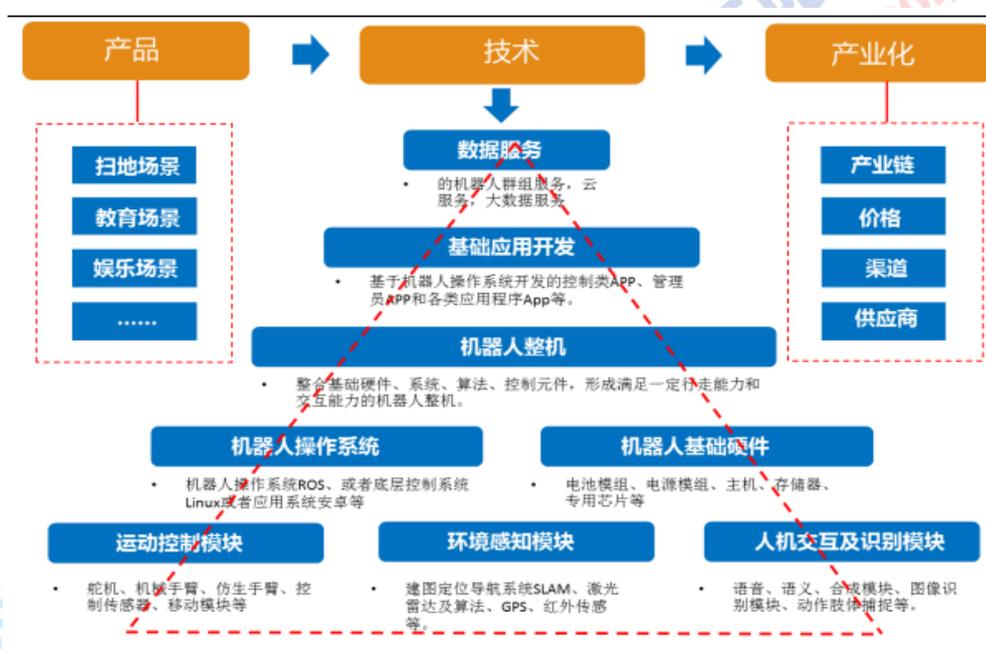
- 1、通过**计算机编程示教再现**的方式使机器人具备**行为控制能力**。
- 2、通过**传感器、计算机技术**的发展，培养机器人的**感知能力和纠错能力**。
- 3、通过**大数据、云计算、微芯片、人工智能**等技术提升机器人的**认知能力**，实现机器人**自主学习**。

四、服务机器人核心技术：多模态交互技术

(一) 智能机器人三大核心技术模块：**感知+交互+运控**

整个服务机器人产业建立在三大核心技术模块：人机交互及识别模块、环境感知模块、运动控制模块。依托于三大模块，机器人有基础的硬件：电池模组、电源模组、主机、存储器、专用芯片等，还有操作系统：ROS、Linux、安卓等；由硬件和操作系统构成机器人整机，整合基础硬件、系统、算法、控制元件，形成满足一定行走能力和交互能力的机器人整机；在此基础上形成各种基础应用开发，基于机器人操作系统开发的控制类APP、管理员APP和各类应用程序App等；产生的数据将有群组服务、云服务、大数据服务等。

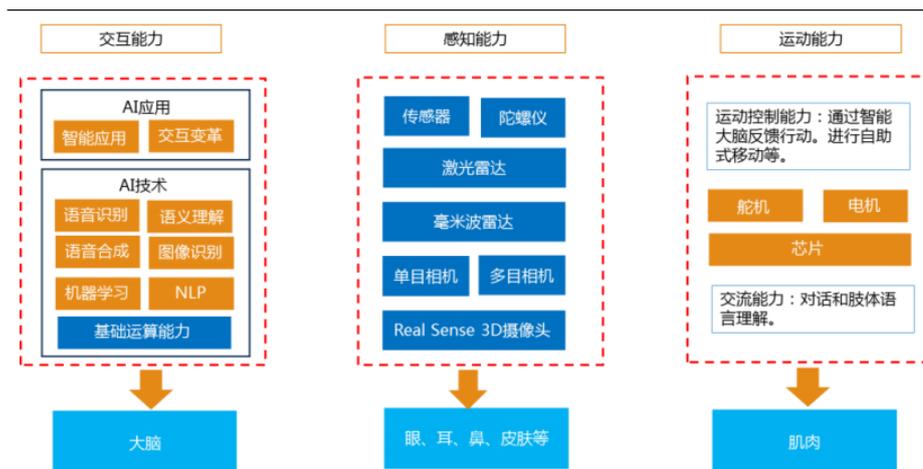
图1 服务机器人的核心模块和技术



资料来源：广发证券发展研究中心

服务机器人的交互能力、感知能力、运动能力对应三大模块。交互模块包括语音识别、语义识别、语音合成、图像识别等，相当于人的大脑；感知模块借助于各种传感器、陀螺仪、激光雷达、相机、摄像头等，相当于人的眼、耳、鼻、皮肤等；运控模块包括舵机、电机、芯片等。

图2 三大核心模块



资料来源：广发证券发展研究中心

服务机器人的各个细分模块中，语音模块重要性和成熟度均最高，语义模块是目前突破重点，运控模块相对重要性最弱。

服务机器人三大模块可以继续细分为语音模块、语义模块、图像模块、感知模块、运控模块、芯片模块。

重要性排序依次为：语音模块、语义模块、芯片模块、图像模块、感知模块、运控模块。

成熟度重要性排序依次为：语音模块、图像模块、运控模块、感知模块、语义模块、芯片模块。

从技术储备上来看，人工智能是核心。目前的技术储备方面，只有语音和 OCR 领域具备一定的成熟度。语音和 OCR 领域已发展接近 20 年，在某些特定场景和行业已经有了一些数据基础。其他的技术包括图像识别、语义分析都还在很早期的阶段。语音领域，也是目前已知的平台类企业最大的板块。

图 3 三大核心模块



资料来源：广发证券发展研究中心

（二）服务机器人多场景特征，多模态交互融合是关键

从第一代以鼠标和键盘的交互方式为特点的 PC 互联网，到第二代以触屏、GPS 等交互方式为特点的移动互联网，再到今天以多模态人机交互方式为特点的第三代互联网，服务机器人产业，底层的逻辑就是人机交互方式的发展和演变。

随着语音交互、视觉图像交互、动作交互、脑电波交互等多模态人机交互技术的逐步发展和成熟，这些第三代人机交互方式将会深层次地改变我们日常生活的应用场景；同时，一场第三代互联网的主流终端模式和服务内容入口的竞争也在同步进行。

什么是多模态交互？ 多模态融合了视觉、听觉、触觉、嗅觉等交互方式，其表达效率和表达的信息完整度要由于传统单一的交互模式。人机交互是服务机器人场景化不可或缺的环节。传统的交互模式中，大多是单一单向的交互方式。人机对话中，尤其是多轮人机对

话，涉及到语音理解、语义分析、情感分析、动作捕捉等多个维度。

图 4 交互方式的更替



资料来源：广发证券发展研究中心

（三）感知模块：多传感融合，SLAM+激光雷达是核心

1、与视觉相比，激光雷达+SLAM 的方案优势突出

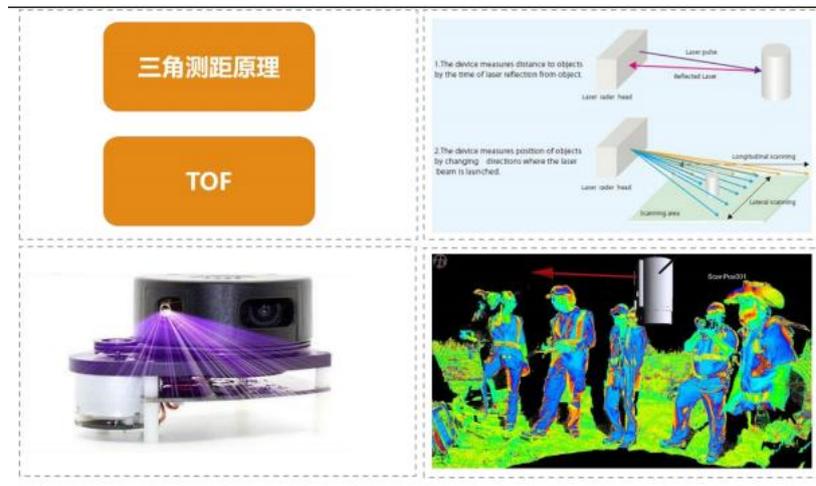
多传感融合保证安全，技术难点在于激光雷达。激光雷达、毫米波雷达、3D 摄像头等多种传感器在功能上的冗余，保证了服务机器人的安全性和正常使用。其中激光雷达是绕不开的核心。

激光雷达的原理是：通过发射 n 条激光利用三角测距原理（低成本方案）或 TOF（Time of Flight，高成本方案）来测量周围物体与自身的距离，获得精度较高的距离信息——**点云数据**¹。激光雷达按照激光束的数量可以分为 1 线、4 线、8 线、16 线、32 线、64 线激光雷达，多个激光束排列在一个竖直的平面呈不同角度发射出去，经高速旋转或电子方式形成了对于空间的三维扫描， n 线激光雷达就相当

¹ (point cloud data) 是指扫描资料以点的形式记录，每一个点包含有三维坐标，有些可能含有颜色信息（RGB）或反射强度信息（Intensity）。点云数据除了具有几何位置以外，有的还有颜色信息。颜色信息通常是通过相机获取彩色影像，然后将对应位置的像素的颜色信息（RGB）赋予点云中对应的点。强度信息的获取是激光扫描仪接收装置采集到的回波强度，此强度信息与目标的表面材质、粗糙度、入射角方向，以及仪器的发射能量，激光波长有关。

于一次性打出了 n 个平面，激光束的数量决定了三维空间的覆盖面和点云数据的密度。

图 5 激光雷达成像



数据来源： Reportingrise，广发证券发展研究中心

作为入口，激光雷达是 SLAM 的重要入口。

SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)的含义是即时定位与地图构建，指的是机器人在自身位置不确定的条件下,在完全未知环境中创建地图,同时利用地图进行自主定位和导航。SLAM 问题可以描述为:机器人在未知环境中从一个未知位置开始移动,在移动过程中根据位置估计和传感器数据进行自身定位,同时建造增量式地图。

自主定位导航需要三大技术：

(1) 实时定位。GPS 没办法用，目前 GPS 只能实现到半米的精度，而且实时定位的更新频率很快，需要达到 **10 次/秒的更新频率**，目前的定位技术没办法满足。定位包括相对定位和绝对定位。

相对定位主要依靠内部本体感受传感器如里程计、陀螺仪等，通过给定初始位姿，来测量相对于机器人初始位姿的距离和方向来确定当前机器人的位姿，也叫做**航迹推测(DeadReckoning, DR)**。

绝对定位主要采用主动或被动标识、地图匹配、GPS、或导航信

标进行定位。位置的计算方法包括有三角测量法、三边测量法和模型匹配算法等。

(2) 绘制地图。导航领域是有专人绘制的，但是在家庭里面，是不可能有人来绘制地图的，家庭的家居会实时变化，所以需要机器人能在没有人工干预的情况下画图。

(3) 路径规划。导航仪的核心就是路径规划，机器人绘制的地图是任何一个方向都可以走的，机器人的路径规划还包括**避障和直接控制行为**，导航仪是由人来决定，机器人是用算法决定的，谷歌的无人驾驶汽车，主要的工作量都在导航算法上。

以扫地机器人为例：国际上有一个标准场地，80 平米，没有导航模块的一般会在 40 多分钟，80%的清洁率。而装上公司的 SLAM 模块后，10 分钟就达到了 95%的覆盖率。如果把视野放到其他领域，必须要非常高效的移动到目的地，这是不可绕过的技术方案。

表 1 激光雷达和视觉定位方式的对比

	定位范围	是否能获取地图	配置	环境适应性	稳定性	价格
视觉定位	0.1-2 米	无法获取地图	需要配置额外传感器才能躲避障碍物	需要合理光源	稳定性差	低
激光雷达	0.01-0.1 米	可以获取地图	无需配置额外传感器，支持自主避障	不需要光源，环境适应性强	稳定性强，不会产生累计误差	高

数据来源：广发证券发展研究中心

图 6 激光雷达和视觉定位的应用



数据来源： Reportingrise， 广发证券发展研究中心

激光雷达在服务机器人上的应用刚刚开始。激光雷达优点是实时测量周围物体和障碍物的距离，且可以测量绝大部分物体，比如谷歌无人驾驶汽车、BigDog 机器人都是用不同型号的激光雷达进行人体的定位；缺点是在大雨大雪等恶劣天气中使用效果会受到影响，而毫米波雷达精度不高、视场小，但测量距离远，可以达到 200 米，刚好弥补了激光雷达的短板。

激光雷达是“机器之眼”，能够获得周边环境的点云数据模型，现在多用于在测量中有一定精度要求的领域，或需要测量自身与人体距离的智能装备，在测量与人的距离这一功能上尚无完美替代方案。在目前主流的前沿机器人身上已经装备了激光雷达模块，如 Atlas 和 pepper 等。

图 7 激光雷达在服务机器人上面的全面应用

	无人驾驶汽车	BigDog	Atlas	NAO	Pepper	扫地机器人
图样						
激光雷达	 多线激光雷达	 1线激光雷达	 固定式激光雷达	 1线激光雷达	 固定式激光雷达	 1线激光雷达
雷达成本	高	较高	未知	较低	低	低
应用领域	公共交通、物流等特定场景率先应用	野外负重行走、军事用途	搬运、野外负重、工业、军事用途	可编程人型机器人，硬件娱乐平台	需要人机交互的服务领域等	特定环境的清洁

数据来源：广发证券发展研究中心

2、多传感融合是服务机器人感知环境的大趋势

具备移动功能的智能装备，首先要实现感知自身位置与周边物体的需求。目前，绝大多数移动式智能装备都是使用激光雷达、摄像头、毫米波雷达、超声波传感器、GPS 这五类传感器或其中某几个的组合来实现自主移动功能。这五种传感器各具特征，各自有所侧重，一般在复杂系统中组合使用。而激光雷达在测量与人的距离这一功能上独占一绝，尚无完美替代方案。

摄像头：获得观察画面，对每一帧画面进行算法处理，能够识别物体、判断位置。摄像头必须先识别再测距，如果无法识别则无法测距。其优点在于摄像头是目前唯一能够辨别物体的传感器。

但是摄像头同时具有 3 个缺点： 缺点一是逆光或光影复杂的地方难以使用；缺点二在于依赖于算法，能否辨别物体完全依赖样本的训练，样本未覆盖的物体将无法辨别；缺点三在于摄像头对于行人的识别具有不稳定性，如穿着吉祥物套装或着装颜色与背景相似的人或

搬运东西的人极有可能无法识别。

毫米波雷达：发射 1~10 毫米的电磁波，根据反射波的时间差及强度等来测量距离，汽车毫米波雷达的频段主要在 24Ghz 和 77Ghz。其优点在于性价比较高，在很多高档轿车里都有应用；缺点是行人的反射波容易被其他物体反射波淹没，难以分辨，无法识别行人，例如采用毫米波雷达和摄像头的感知系统实现自动驾驶的特斯拉，在行人较多的闹市区会自动锁定自动驾驶功能。因此，毫米波雷达在测距领域具有较高性价比，但是其**无法探测行人**是一个致命弱点，只能应用于自适应巡航系统等 ADAS²系统。

超声波传感器：发射振动频率高于声波的机械波，根据反射波测量距离。其优点在于**探测物体范围极广**，能够探测绝大部分物体，且有较高稳定性；缺点是一般只能探测 10 米以内的距离，**无法进行远距离探测**。因此，超声波雷达广泛应用于倒车雷达，在自动驾驶领域常常作为短距离雷达，应用如自动泊车辅助系统。

GPS：可以获得自身相对于全局的位置信息。其优点在于技术较为成熟，能够实现在全局视角的定位功能；缺点在于**无法获得周围障碍物的位置信息**。具备定位功能的 GPS 与前几个探障类传感器往往需要搭配使用。

通过对比分析这五类位置、物体感知传感器的特性以及优缺点，我们认为：这五类传感器各具特点，能够满足不同功能，需要相互搭配组合使用，但激光雷达在精度和探测人体的稳定性上独占一绝，其

² **高级驾驶辅助系统**（Advanced Driver Assistance Systems），是利用安装在车上的各式各样传感器，在汽车行驶过程中随时来感应周围的环境，收集数据，进行静态、动态物体的辨识、侦测与追踪，并结合导航仪地图数据，进行系统的运算与分析，从而预先让驾驶者察觉到可能发生的危险，有效增加汽车驾驶的舒适性和安全性。近年来 ADAS 市场增长迅速，原来这类系统局限于高端市场，而现在正在进入中端市场，与此同时，许多低技术应用在入门级乘用车领域更加常见，经过改进的新型传感器技术也在为系统布署创造新的机会与策略。

在感知系统中的重要位置难以被撼动和逾越。

但是激光雷达也有其最大的缺陷，能判断障碍物，但是不能识别障碍物，因此也无法对障碍物进行理解。在机器人的感知领域，除了要探测到障碍物，还需要进行障碍物识别，因此，在整个过程中，还需要加载深度图像识别与其配合。共同完成对环境的感知。

表 2 国内外激光雷达企业及产品应用领域

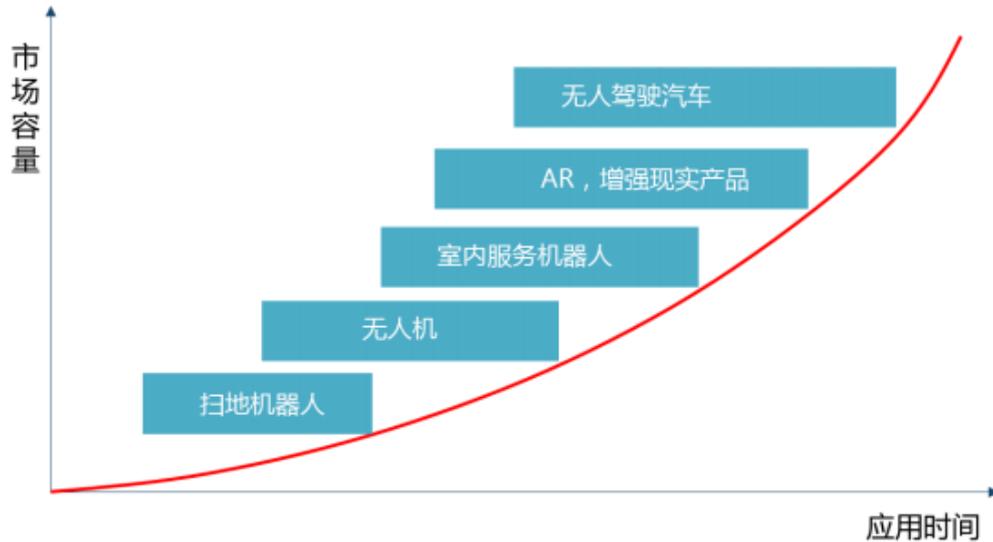
	厂商	应用领域			
		智能汽车	机器人	无人机	测绘领域
国外	Velodyne	是	--	--	--
	sick	是	是	--	--
	北阳	--	是	--	--
	ibeo	是	--	--	--
	Quanergy	是	--	--	--
	leica	--	--	--	是
	Optech	--	--	是	是
	Riegl	--	是	是	是
	Trimble	--	是	是	是
国内	思岚科技	--	是	--	--
	雷神智能	--	是	--	--
	华达科捷	是	是	--	是
	北醒光子	--	是	是	--

数据来源：OFWeek 激光网，广发证券发展研究中心

目前，全世界仅有日本、德国等少数几个企业有能力生产激光雷达，但其价格都不低，百度、谷歌无人汽车采用的激光雷达，成本在 2-8 万美元，价格几乎与汽车本体相当，一般服务机器人很难承受如此昂贵的元器件。影响激光雷达价格的主要有两大要素：线束数量和采购量。通常线束越高，激光雷达的价格越高。采购量越大，价格越低。Quanergy 公司通过降低线束维度，逐步使用固态激光雷达，让成本降低到了 250 美元左右，国内企业思岚科技，可以在采购量超过 1 万台左右的量时，单线束的价格可以降低到 1000 元以内。随着终端用户

的产品放量，激光雷达的产业化将会带动价格打破瓶颈区域。

图 8 国内激光雷达领域产业化进程



数据来源：广发证券发展研究中心

图 9 国内激光雷达领域产业化进程



数据来源：广发证券发展研究中心

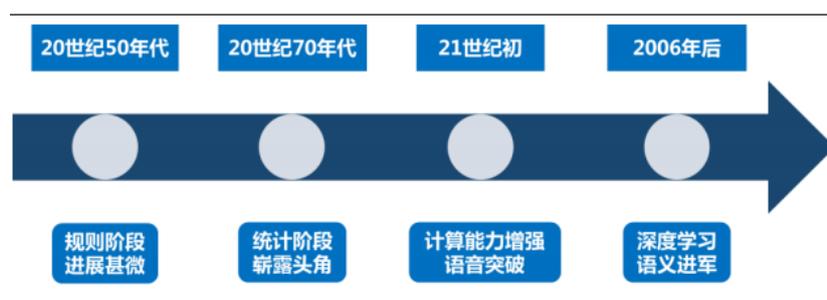
（四）交互模块：语音达商用门槛，语义理解亟待提升

1、智能语音技术已经达到商用门槛

语音语义发展历经三阶段，规则阶段进展甚微，统计阶段第一次爆发，深度学习是第二次爆发。20 世纪 50 年代到 70 年代，在语音

识别领域由规则主导，瓶颈无法破除发展缓慢；20 世纪 70 年代到 20 世纪末，发展迅速，统计与规则角力，并逐步解决语音识别、词性分析、句法分析问题；21 世纪初，由于计算能力增强语音技术有了重大突破，2006 年至今，深度学习继续在语音识别领域完善。

图 10 语音语义发展历史



数据来源：广发证券发展研究中心

自动语音识别（Automatic Speech Recognition, ASR）从规则到统计再到深度学习，识别能力越来越强，是一种将人的语音转换为文本的技术。由于语音信号的多样性和复杂性，语音识别系统只能在一定的限制条件下获得满意的性能，或者说只能应用于某些特定的场合。

自动语音识别的总体过程是：语音输入，然后前处理得到数字信号，再进行声学特征的提取，进行模式匹配，处理后得到结果。

技术流程是：先对静音切除，再进行声学特征提取，然后对其进行分帧，得到多维向量表达的若干帧，再把帧识别为状态（难点），每三个状态合组合为 1 个音素，再把因素组合为单词。

图 11 自动语音识别流程



数据来源：广发证券发展研究中心

自动语音识别错误率目前已达到商用门槛。国际上公认衡量自动语音水平的参数为语音识别错误率（WER），人类的语音识别错误率为 4%，目前商用语音系统的 WER 在 15%左右，达到了实用门槛。国际上占据全球市场 60%份额的第一大语音公司 Nuance 为包括苹果在内的财富 100 强公司的三分之二的公司提供语音技术服务，其 WER 在 10%左右。Google 依靠强大的深度学习，在 2015 年率先将 WER 降低至 8%。国内语音实力最强的科大讯飞也达到了 15%的使用门槛，针对会议演讲等场景达到 5%以上的识别率，特别在针对中文部分方言也达到了实用门槛。

2、语义理解仍需时日，静待深度学习算法突破

自然语言处理（NLP）：词法和句法基本解决，语义目前仅是浅层处理。NLP 分析技术大致分为三个层面：词法分析、句法分析和语义分析。

（1）词法分析

词法分析包括分词、词性标注、命名实体识别和词义消歧。分词和词性标注好理解。命名实体识别的任务是识别句子中的人名、地名和机构名称等等命名实体。每一个命名实体都是由一个或多个词语构成的。词义消歧是要根据句子上下文语境来判断出每一个或某些词语的真实意思。

(2) 句法分析

句法分析是将输入句子从序列形式变成树状结构，从而可以捕捉到句子内部词语之间的搭配或者修饰关系，这一步是 NLP 中关键的一步。目前研究界存在两种主流的句法分析方法：短语结构句法体系，依存结构句法体系。其中依存关系句法体系现在已经成为研究句法分析的热点。依存语法表示形式简洁，易于理解和标注，其可以很容易的表示词语之间的语义关系，比如句子成分之间可以构成施事，受事，时间等关系。这种语义关系可以很方便的应用于语义分析和信息抽取等方面。依存关系还可以更高效的实现解码算法。句法分析得到的句法结构可以帮助上层的语义分析，以及一些应用，例如机器翻译、问答、文本挖掘、信息检索等。

(3) 语义分析

语义分析的最终目的是理解句子表达的真实语义。但是用什么形式来表示语义一直没有能够很好的解决。语义角色标注是比较成熟的浅层语义分析技术。给定句子中的一个谓词，语义角色标注的任务就是从句子中标注出这个谓词的施事、受事、时间、地点等参数。语义角色标注一般都在句法分析的基础上完成，句法结构对于语义角色标注的性能至关重要。

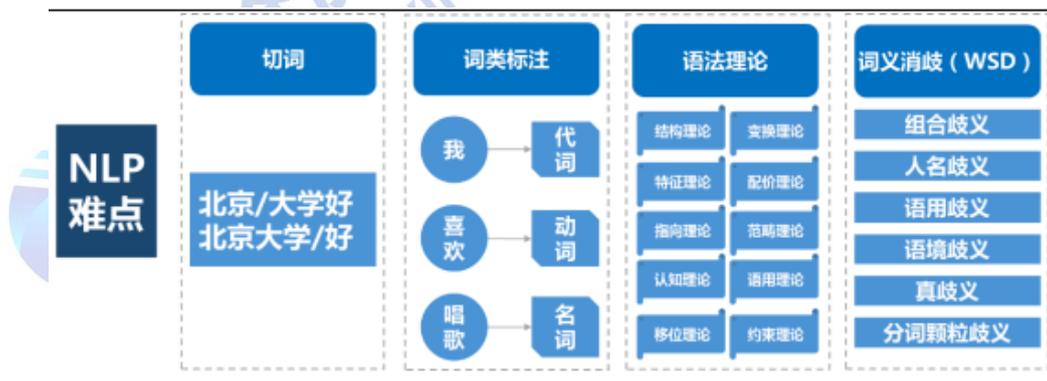
图 12 自然语言处理



数据来源：广发证券发展研究中心

自然语言处理难点：词义消歧是瓶颈，中文相对英文更难。之一：切词，中英文自然语言处理都有一个先行环节，就是把输入的字符串分解成为词汇单位；之二：词类标注；之三：语法理论；之四：词义消歧。

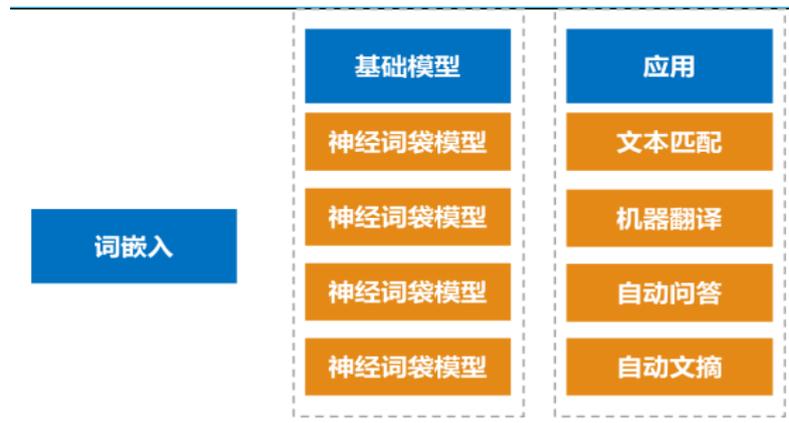
图 13 自然语言处理的难点



数据来源：广发证券发展研究中心

自然语言处理未来的解决方式：深度学习。自然语言处理未来将依靠深度学习，具体在三个方面：词嵌入、基础模型、应用。

图 14 深度学习在自然语言处理的帮助



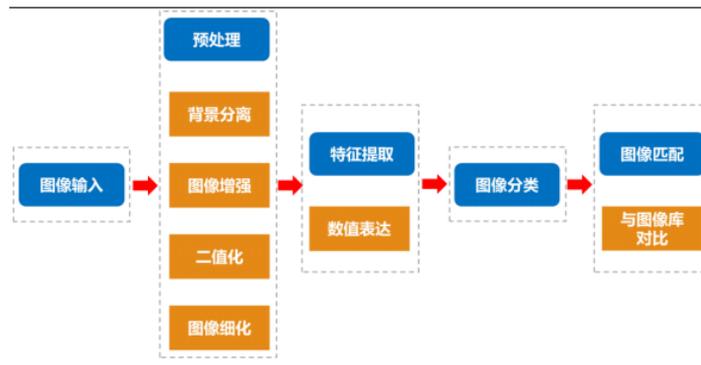
数据来源：广发证券发展研究中心

3. 图像识别对语音语义交互领域形成补充

图像识别系统的过程分为五部分：图像输入、预处理、特征提取、分类和匹配。

人类感觉信息中的 80% 都是视觉信息。图像识别是计算机对图像进行处理、分析和理解，以识别各种不同模式的目标和对像的技术。识别过程包括图像预处理、图像分割、特征提取和判断匹配。简单来说，图像识别就是计算机如何像人一样读懂图片的内容。借助图像识别技术，我们不仅可以通过图片搜索更快的获取信息，还可以产生一种新的与外部世界交互的方式，甚至会让外部世界更加智能的运行。

图 15 图像识别过程



数据来源：张家怡论文《图像识别的技术现状与发展趋势》，广发证券发展研究中心

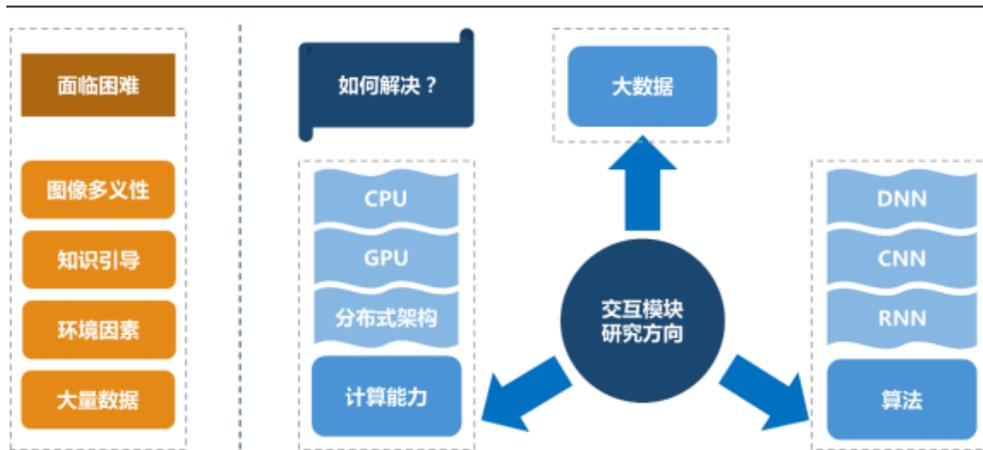
图 16 图像应用领域



数据来源：张家怡论文《图像识别的技术现状与发展趋势》，广发证券发展研究中心

未来图像识别门槛值突破将依靠深度学习。图像识别技术并不完善，仍然面临许多困难。图像识别的问题，目前是学术界研究的热点，这类 AI 问题将从三个方面去着手解决：首先是计算能力，通过 CPU、GPU、分布式架构等提高计算能力，然后是大数据，数据量越多，一般来说越有利于机器学习，还有算法，目前主流的算法是深度学习的 CNN 算法和 RNN 算法。

图 17 图像识别未来研究方向



数据来源：广发证券发展研究中心

（五）运控模块：步态与非步态，不是替代，而是共生

1、液压已突破瓶颈，电机控制有待提升

服务机器人运动的控制，有液压控制和电机控制两种方式。

Alphabet 的子公司 Boston Dynamics 研发的 Atlas 是液压控制的典型代表，2016 年 2 月，其利用 3D 打印技术将液压元件嵌入身体，通过液压控制采用力矩控制的算法，实现了雪地行走和摔倒爬起等动作，技术复杂但是非常成功。而本田公司的 Asimo 采用经典的 ZMP 算法，自 2000 年来第一次亮相至今，经过不断发展已经实现了基本的弯腰、握手、跳舞等功能，但是在控制精度和稳定性方面仍然有待提高。虽然如此，因为液压控制的体积大等原因，在军事应用方面前景较好，但是在家庭应用领域，电机控制将是主流。

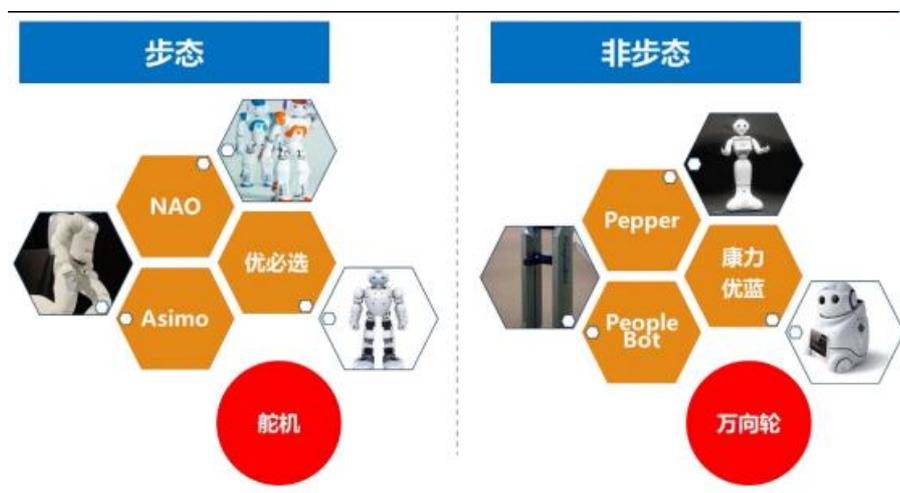
图 18 Atlas 和 Asimo 对比

	Atlas	Asimo
控制方式	液压控制	电机控制
控制算法	力矩控制	ZMP+位置控制
运动形态	步态	步态&非步态
复杂度	高	中
技术成熟度	高	中
生产公司	Boston Dynamics	本田公司
主要动作	雪地行走、摔倒爬起	下台阶、弯腰、握手、跳舞
外形	高 1.75m、重 82kg	高 1.30cm、重 48kg
应用场景	军队	家用

数据来源：广发证券发展研究中心

步态行走侧重于精准控制，非步态行走主要是简单移动。从外观来看，服务机器人的行走方式有两种，步态和非步态。步态行走包括液压控制和电机控制，在电机控制中，在关节的位置处，有一种典型的舵机，因其精巧的体积和合适的扭矩非常适合用在服务机器人的关节处控制，同时舵机也是机器人硬件的主要成本之一，典型的带有舵机的机器人：国外是 Nao 机器人、Asimo 机器人和 Atlas 等，国内典型是优必选；非步态行走主要是电机控制，结构较为简单，主要是在机器人底部装上万向轮，供其简单移动，一般的万向轮成本很低，只有几十元，非步态的典型机器人代表是：国外是 Pepper，国内是康力优蓝。

图 19 服务机器人两种行走方式



数据来源：广发证券发展研究中心

2、运控模块中，舵机是核心部件

舵机是步态服务机器人的核心部件，舵机对价格十分敏感。舵机也叫伺服电机，包含了电机、传感器和控制器，是一个简单而完整的伺服电机系统。最早用于船舶上实现其转向功能，由于可以通过程序连续控制其转角，可以得到比较精准的位置、速度或力矩输出，因而广泛用于机器人各类关节运动中。步态机器人自由度（关节数）众多，优必选 Alpha1S 有 16 个自由度，本田 Asimo 第三代有 57 个自由度，步态机器人对舵机价格十分敏感。

图 20 舵机组成



数据来源：极客工坊，广发证券发展研究中心

目前在服务机器人舵机领域，最流行的品牌是韩国 Robotis 的 Dynamixel 系列。舵机功率（角速度 X 扭矩）相同时，角速度与扭矩成反比。舵机的功率和舵机的尺寸比值可以理解为该舵机的功率密度，一般同样品牌的舵机，功率密度大的价格高。对于服务机器人舵机的核心参数扭矩更是如此，随扭矩增加，价格增长飞快。比如 Dynamixel 系列中，扭矩 12 kg·cm 的价格约 400 元，扭矩 28 kg·cm 价格约 2000 元，扭矩 106 kg·cm 价格约 4000 元。

国外舵机价格昂贵，国内优必选公司突破技术壁垒降低成本。优必选开发的舵机内置 MCU 系统，自主改进 PID 算法，扭矩大，体积小，控制精度高，获得多项发明专利。6.5V 时扭矩为 8kg·cm，速度为 0.238sec/60°，价格约 20 元，参数相似的舵机，特别是扭矩相似的国外产品，价格往往在优必选舵机的 3 倍以上。

五、小结

随着现代科技的高速发展，“人工智能”时代的到来，科技改变生活，智能化对社会和人们的生活冲击将越来越大。许多发达国家纷纷将服务机器人产业列为国家的发展战略。例如 2011 年德国政府率

先提出“工业 4.0”概念，并将之写入《高技术战略 2020》，作为十大未来项目之一成功上升到国家战略水平，旨在支持工业领域新一代革命性技术的研发与创新。

相对于中国市场，智能服务机器人作为产业转型升级的重要前沿方向，政府的逐渐重视，多项政策相继出台。2012 年科技部印发的《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020 年）》中，明确指出将服务机器人作为未来优先发展的战略高科技技术，并提出“以服务机器人应用需求为重点，研究设计方法、制造工艺、智能控制和应用系统集成等共性基础技术”。

服务机器人的核心技术包括人机交互、导航及路径规划、多机器人协调、人工智能、云计算等，具体涉及语音、语义、处理器、算法、通讯、大数据、云联网等，以实现服务机器人的自主性、适应性、智能型。另外，产业链上下游的整合，包括资金、系统、应用层开发等。服务机器人目前还存在关键技术尚未突破的瓶颈。

就服务机器人产业现状简要概括如下：

1、未来市场潜力巨大

工业机器人在生产线上应用比较多，离家庭/个人的生活服务比较远。随着人机交互技术的逐渐成熟，机器人直接面向家庭/个人提供服务，服务机器人产业就陆续成型了。服务机器人产业刚刚起步，尚处于一片蓝海，市场潜力巨大。

从核心技术模块到最终场景应用各个层面均处于起步阶段，国内外几乎处于同一起跑线，整个服务机器人生态及市场竞争格局还没有形成。许多的创业者、研究机构、投资机构都在思考并积极加入其中，苹果、谷歌等互联网巨头更是在加速推动服务机器人的产业化。

2、服务机器人需求量依靠产业化程度和技术突破

在美国市场上，如 iRobot 公司的家务机器人占据约 90% 的市场份额。iRobot 公司成立于 1990 年，2002 年开始致力研发各类家务机器人。凭借先进的技术实力以及成熟的研发团队，iRobot 家用机器人自问世以来一直受到业界以及消费者的好评。

扫地机器人能在市场上受到欢迎多半来自于应用场景的不断升级。相比于传统的吸尘器，扫地机器人能够最大化的实现脱离人工控制。而这依赖于寻路导航系统的构建，其中最主要的是定位技术与路径规划方式。在多种参数上，包括清洁化程度、智能化程度、使用功率等，扫地机器人性能均优于吸尘器。

从扫地机器人需求量取决于“使用频次”和技术的突破。需求越强，频次越高的服务机器人场景越容易催化放量，目前产业化最成熟的是扫地机器人和客服机器人，其背后是高频需求的带动，发展迅速的是陪护机器人和早教机器人，其背后是刚性需求的推动，而其他机器人由于频次和需求均不及前述机器人，所以在产业化中处于相对初级的阶段。

技术上是否可以实现，技术的突破和进展是产业化的基础。扫地机器人相对于传统家居，例如吸尘器，可以做到不用人参与、清洁的程度高、对周围环境有感知的能力。因此在传统扫地的应用场景上进行消费升级，需求实现大增。

根据《规划》的要求，到 2020 年，以平台型智能服务机器人为代表的服务机器人的年销售收入在 300 亿元以上，预计 2016-2020 年复合增长率为 71.8%。市场刚性需求与政策双向推动，加之技术逐渐成熟，服务机器人放量可期。IDC 统计数据预计，2014-2019 年全球机

机器人市场规模的复合增长率达到 17%，按此速度发展，到 2019 年，全球机器人的市场规模为 1354 亿美元，成长空间巨大。

服务机器人产业的兴起基础和条件已经具备，对于目前处于初步阶段的众多企业来说，如何通过技术创新和商业模式创新来点燃终端市场的刚需才是关键。

声 明

1、本文部分内容来自互联网公开信息搜索，仅作为学习研究之用，切勿用于商业用途，否则由此引发的法律纠纷及连带责任我们概不承担。如有侵犯您的合法权益请来信告之。我们会在三个工作日内予以清除。

2、除部分网络搜索内容，本文所涉及文字、图片、图表等版权均归文章作者所有，未经其本人授权许可不得转载、摘编或以其他方式使用。对相关侵权行为，我们将保留追究其法律责任的权利。

