

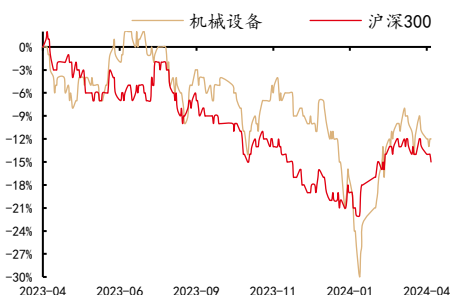
行业投资评级

强于大市|维持

行业基本情况

收盘点位	1370.03
52 周最高	1594.48
52 周最低	1090.08

行业相对指数表现（相对值）



资料来源：聚源，中邮证券研究所

研究所

分析师: 刘卓
SAC 登记编号: S1340522110001
Email: liuzhuo@cnpsec.com
研究助理: 傅昌鑫
SAC 登记编号: S1340123050006
Email: fuchangxin@cnpsec.com

近期研究报告

《出海系列专题（1）：通用动力机械——海外补库，中资突破，新质赛道》
- 2024. 04. 09

视觉传感器——人形机器人视觉感知交互硬件

● 投资要点

视觉传感器助力人形机器人感知世界。视觉传感器，即机器视觉，旨在利用机器来执行视觉识别和判断任务。人类约 80% 的信息是通过人眼感知获取的，未来的机器人也将和人类一样，大量信息都将通过视觉感知获取。目前，不少人形机器人选用 3D 视觉方案以保证人形机器人的环境感知及交互能力。未来随着人形机器人的不断发展，其交互功能及应用场景更加丰富之后，现阶段纯摄像头方案的厂商也有可能通过迭代更新，在其新产品中引入 3D 视觉传感器。

机器视觉是由计算机或图像处理器以及相关设备来模拟人的视觉行为，完成得到人的视觉系统所得到的信息。其下游应用广泛，主要可发挥定位、识别、测量、检测等功能，目前主要下游为智能制造的工业场景，医学、智能交通等场景也有应用。机器视觉的产业链上游主要有光源、镜头、工业相机、工控机、图像处理软件等机器视觉组件设备的提供商；产业中游包括如检测、测量、定位、识别系统/定位引导系统等以及各类视觉设备；产业链下游主要为各行业的产线综合解决方案供应商终端行业。我国机器视觉市场现阶段正处于快速增长阶段，到 2027 年有望突破 560 亿规模。

机器视觉技术按照成像维度的不同，可以划分为 2D 和 3D 两大类别。2D 成像技术使用到的传统 RGB 相机，仅能捕捉到物体表面的纹理信息，没有物体到相机的距离信息，3D 视觉感知技术有效地补充了 2D 视觉技术的不足，使得更加复杂和智能的功能得以实现。3D 视觉感知技术主要包括飞行时间（ToF）法、双目立体视觉法、结构光法等。

机器视觉产品按照下游应用场景的性能要求，可以大致分为消费级和工业级两类。工业级机器视觉对于技术、精度、稳定性等的要求相对更高，整体成本较高。消费级视觉方案对于精度的要求相对较低，对于成本控制的需求较高。现阶段人形机器人进入规模量产阶段，对视觉方案的需求更关注于产能供应和成本控制两方面，推测消费级 3D 视觉产品有望成为需求主流。随着未来人形机器人应用场景的复杂化及多元化之后，不排除需求工业级机器视觉产品的可能性。

产业链相关标的：奥比中光、奥普特、凌云光

● 风险提示：

人形机器人规模化不及预期风险；人形机器人视觉感知技术路径变化风险；消费级视觉产品竞争加剧风险；3D 视觉技术发展不达预期风险。

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

目录

1 人形机器人的视觉实现.....	4
1.1 视觉传感器助力人形机器人感知世界	4
1.2 人形机器人主要视觉方案	4
2 机器视觉行业.....	6
2.1 机器视觉的工作原理及应用	6
2.2 机器视觉产业链及规模	7
2.3 机器视觉主流技术方案	8
2.4 机器视觉产品价格水平	12
3 产业链相关标的.....	14
4 风险提示.....	16

图表目录

图表 1: 空间三维测量示意图.....	4
图表 2: 视觉传感器助力人机交互.....	4
图表 3: 国内外人形机器人厂商进展及其视觉方案.....	5
图表 4: 机器视觉系统构造及工作原理.....	7
图表 5: 2016-2027 年中国机器视觉市场规模及预测.....	8
图表 6: 主流 3D 视觉感知技术对比.....	9
图表 7: 双目立体视觉工作原理.....	10
图表 8: 结构光工作原理.....	11
图表 9: ToF 工作原理.....	11
图表 10: dToF 与 iToF 的对比.....	12
图表 11: 2022 年埃科光电主要原材料及产品价格情况.....	13
图表 12: 2021 年奥比中光主要原材料、产品价格情况及部分产品零售价.....	13
图表 13: 奥比中光 3D 相机亮相 NVIDIA GTC 2024.....	15

1 人形机器人的视觉实现

1.1 视觉传感器助力人形机器人感知世界

视觉传感器，即机器视觉，旨在利用机器来执行视觉识别和判断任务。在工业生产中，机器视觉的引入旨在提升效率、减少误差、降低成本，并从繁重或危险的工作环境中解放人力。根据图像数据的维度，机器视觉在工业中的应用可分为二维（2D）和三维（3D）两大类，主要功能包括识别、测量、定位和检测。其中，识别功能的实现相对简单，而检测功能则相对复杂。2D 技术能够获取平面图像，并在二维空间内定位目标，但其无法提供物体的三维信息，如高度和体积，且易受光照变化和物体运动的影响。相比之下，3D 技术能够提供更全面的物体信息，并在三维空间内定位目标，从而实现更为复杂的功能，如人脸识别和 3D 建模。尽管 3D 技术在数据处理和存储方面仍存在挑战，但它在许多应用场景中展现出独特的优势。

未来的人形机器人将会拥有语音感知交互能力（“嘴巴”和“耳朵”）、视觉感知交互能力（“眼睛”），以及各种 AI 决策分析能力（“大脑”）。人类约 80% 的信息是通过人眼感知获取的，未来的机器人也将和人类一样，大量信息都将通过视觉感知获取。现实物理世界是三维的，发展多年的 2D 成像技术难以完整重现各类三维场景，3D 视觉感知技术则可以让终端获取更多精准的三维信息，助力各类终端更好地看懂三维世界。

图表1：空间三维测量示意图



资料来源：奥比中光招股书，中邮证券研究所

图表2：视觉传感器助力人机交互



资料来源：优必选公告，中邮证券研究所

1.2 人形机器人主要视觉方案

目前，国内外已经有众多人形机器人厂商发布了产品样机，领先厂家甚至已经开始规模量产的规划。可以看到，不少人形机器人选用 3D 视觉方案以保证人形机器人的环境感知及交互能力。

图表3：国内外人形机器人厂商进展及其视觉方案

海外	Tesla	Optimus	由特斯拉自研的执行器和传感器、颈部新增2-DoF驱动、集成执行器的电子及布线、行走速度提升30%、铰接式脚趾部分构成仿生学的脚、未牺牲性能减重10kg、平衡及全身控制能力提升、速度更快的11-DoF全新手部、手指末节引入触觉传感器。	预计即将量产	8个Autopilot摄像头	
	Agility Robotics	Digit	以其独特的双足设计脱颖而出，机器人配备了激光雷达等先进传感器，可以感知周围环境并轻松避开障碍物。手臂擅长保持平衡，还能抓取、携带物体，并与环境中的各种元素交互。身高约1.75米，体重65公斤，相当于中等男子的身材，最多可承载16公斤。	即将年产1万台并引入下游工厂作业	深度相机 激光雷达	
	Engineered Arts	Ameca	面部表情最丰富、仿真的人形机器人。利用Mesmer技术为Ameca提供大量的真人表情数据，从人体不同角度扫描，构建3D模型，在立体光刻3D打印机上制作的精确模具，使皮肤质感看起来和真人一样。能够对外界变化做出相应反应：Tritium操作系统连接了软件、硬件和云端，可以驱动硬件的每一个组成部分，使其硬件部分能像人类骨骼一样活动。			
	Boston Dynamics	Atlas	Atlas身高约1.5米，重约82公斤，具备执行各种复杂动作的能力，包括步行、跑步、跳跃和复杂的体操动作。其特点之一先进的感知系统，利用多种传感器来构建环境的三维地图，并实现自主导航和障碍物避让；另一个显著特点是其液压驱动系统，这使得它能够执行强大的举重和搬运任务，以及在摔倒后自我恢复的能力。		RGB摄像头 ToF深度相机	
	1X Technologies	NEO	双足机器人，并以人体肌肉运动为模型，对其进行「高精度」和「轻柔度」的设计，在铝芯之上覆盖了一层软层，使之它和人类一样柔软、轻巧，而且本质上是「安全」的，没有夹点或其他危险。因此，NEO可以自由行走，通过面部表情沟通，提高操作效率的同时，还保障了用户的安全性。仍在开发中。		(前一代产品EVE配备前置/后置摄像头以获取全景视图)	
国内	优必选	Walker X	搭载高性能伺服关节以及多维力觉、多目立体视觉、全向听觉和惯性、测距等全方位的感知系统，结合视觉定位导航和手眼协调操作技术，可实现快速平稳的行走和精准安全的交互。	有少量销售	RGBD相机 双目相机	
	傅利叶智能	GR-1	采用电驱动，自研FSA高性能一体化执行器，拥有强大且灵活的运动性能。GR-1身高1.65米，体重55公斤，全身自由度达40个，最大关节模组峰值扭矩可达300Nm，步行速度可达5km/h，负重50kg。	已启动量产并实现部分交付	Realsense深度摄像头	
	宇树科技	H1	采用轻量化材料设计，整体重量只有47kg，整身拥有19个自由度，行走姿态轻盈稳健，为适配大负载，高密度、大功率的需要，应用了扭矩密度更高的M107关节电机，峰值扭矩达到了360Nm。目前H1人形机器人行走速度可以达到1.5m/s，潜在运动能力可达5m/s。续航方面，H1人形机器人搭载15Ah电池，最大电压67.2V，可满足连续1小时的运动续航标准。		3D激光雷达 深度相机	
	开普勒	先行者	研发历时三年，经过四个版本迭代，目前已实现除主板等少数零部件外的完全国产化。机器人身高178cm，体重85kg，拥有40个关节自由度和12个自由度的智能灵巧手。核心技术包括自研的行星滚柱丝杠执行器和旋转型执行器，以及星云系统（用于机器人的实时环境感知，包括视觉、听觉和本体感知）和云端多模态大模型。	计划2024年下半年量产，预估售价为2-3万美元	3D视觉相机 鱼眼360°环视相机	
	小鹏	PX5	步幅大、步速快，自稳能力强。手臂具备7自由度，重复定位精度达到0.05mm，单臂最大负载为3kg，机械臂自重为5kg，负载自重比超过0.6，最大末端线速度为1m/s。PX5的感知和交互能力已经与小鹏汽车的底层能力打通，利用公司在XNGP、XOS等方面的积累，实现了技术在不同产品间的复用。		摄像头	
	小米	CyberOne	CyberOne的身高为177厘米，体重52公斤，具有与真人相似的外观和比例。CyberOne搭载了高效电机，支持多达21个自由度，并能实现各自自由度0.5毫秒级别的实时响应，模拟人的各项动作。还搭载了自研的MiAI环境语义识别引擎和MiAI语音情绪识别引擎及OLED显示模组，能够感知45种人类语义情绪和分辨85种环境语义的能力。		自研空间视觉模组 AI交互相机	
	智元机器人	远征A1	身高175cm，重量55kg，全身超过49个自由度，搭载了谐波一体关节、直线推杆、无刷行星伺服、空心杯电机等驱驱各类执行器，Power Flow关节电机，峰值扭矩350Nm，重量1.6kg，配有水冷循环散热。腿部采用反曲膝设计，灵巧手拥有12个主动自由度，5个被动自由度，采用驱动内置。还配有基于视觉的指尖传感器，可以分辨操作物的颜色、形状、材质等。足式/轮式、灵巧手均支持自主更换。		RGBD相机 激光雷达	

资料来源：各公司官网，澎湃新闻，36氪等，中邮证券研究所整理

Boston Dynamics 的 Atlas 采用 RGB 摄像头+ToF 深度相机, 优必选采用 RGBD+ 双目相机, 傅利叶的 GR-1 采用深度相机, 开普勒的先行者系类采用 3D 视觉+鱼眼环视相机, 小米的 CyberOne 配备了自研空间视觉模组+AI 交互相机。大部分案例均使用 3D 视觉传感器, 各类型的深度相机被广泛使用, 部分厂商的方案同时搭配了激光雷达, 如 Agility Robotics 的 Digit、宇树的 H1、智元的远征 A1 等。也有少部分厂家仅使用摄像头作为视觉传感器的方案, 如特斯拉的 Optimus, 其视觉感知系统则主要基于特斯拉 FSD 的计算机模组和方案, 面部配备 8 个汽车同款 Autopilot 摄像头, 最远监测距离可达 250 米, 还有 1X Technologies 的前一代产品 EVE 配备全景摄像头, 新一代 NEO 的具体硬件方案暂未可知。

未来随着人形机器人的不断发展, 其交互功能及应用场景更加丰富之后, 现阶段纯摄像头方案的厂商也有可能通过迭代更新, 在其新产品中引入 3D 视觉传感器。

2 机器视觉行业

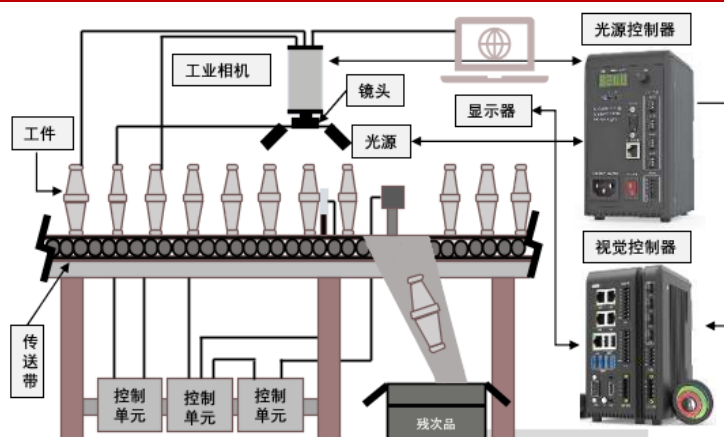
2.1 机器视觉的工作原理及应用

机器视觉 (Machine Vision) 是由计算机或图像处理器以及相关设备来模拟人的视觉行为, 完成得到人的视觉系统所得到的信息。机器视觉, 作为人工智能领域中的一项关键技术, 其核心目标是赋予机器类似于人类视觉系统的功能, 即通过“眼睛”观察和“大脑”分析, 实现对检测对象的自动测量与评估, 从而减少人工操作的需求。

该技术的运作机制主要包括以下几个步骤: 首先, 利用工业相机和镜头等视觉设备捕获待检测物品的图像。接着, 这些图像信息被转换成图像信号, 并送入图像处理系统。在图像处理系统中, 物品的亮度、颜色、尺寸等属性被转换成数字信号。最终, 机器视觉系统通过对这些信号进行分析和处理, 提取出关键特征, 并根据这些特征来控制现场的设备运作。

机器视觉技术是一个跨学科领域, 它融合了图像处理、机械工程、光源照明、光学、传感技术、算法开发以及计算机科学等多方面的技术和知识。通过这些技术的结合, 机器视觉能够实现对复杂场景的高效识别和处理, 为自动化和智能化生产提供强有力的技术支持。

图表4：机器视觉系统构造及工作原理



资料来源：《2022 年中国机器视觉产业发展白皮书》（头豹研究院），中邮证券研究所

机器视觉下游应用广泛，主要可发挥定位、识别、测量、检测等功能，目前主要下游为智能制造的工业场景，医学、智能交通等场景也有应用。

智能制造场景中，机器视觉的应用以工业检测场景为主。工业检测是指在工业生产中运用一定的测试技术和手段对生产环境、工况、产品等进行测试和检验。随着现代工业的发展和进步，特别是在一些高精度加工产业，传统的检测手段已远远不能满足生产的需要。机器视觉技术在微尺寸、大尺寸、复杂结构尺寸和异型曲面尺寸检测中具有突出的优势和特点，还包括印刷电路板检查、钢板表面自动探伤、大型工件平行度和垂直度测量、容器容积或杂质检测、机器零件的自动识别和分类等。同时，机器视觉在医学诊断中也有应用，一是对图像进行增强、标记等，帮助医生诊断疾病，协助医生对感兴趣的区域进行测量和比较；二是利用专家知识系统对图像进行分析和解释，给出建议诊断结果。此外，机器视觉技术在智能交通中可以完成自动导航、车牌识别、目标车辆跟踪等任务。

2.2 机器视觉产业链及规模

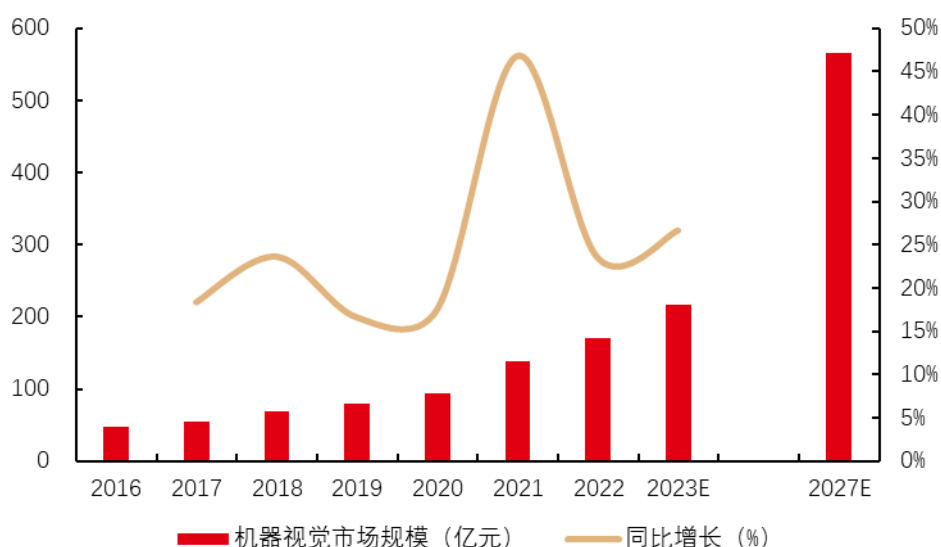
机器视觉的产业链中，上游主要有光源、镜头、工业相机、工控机（包含图像采集卡）、图像处理软件等机器视觉组件设备的提供商；**产业中游**包括基于视觉应用软件的应用系统（如检测、测量、定位、识别系统/定位引导系统等）以及各类视觉设备；**产业链下游**主要为各行业的产线综合解决方案供应商终端行业，如 3C 电子、汽车与零部件、新能源、半导体、医疗制药等。其中，产业链上游的工业相机、图像采集卡等核心零部件及算法软件是整个机器视觉行业中价值量最高的部分。

我国机器视觉市场现阶段正处于快速增长阶段，到 2027 年有望突破 560 亿规模。根据 GGII 发布的数据，2022 年，中国机器视觉行业的市场规模达到了 170.65 亿人民币，这一数字并未包含自动化集成设备的市场规模。与上一年相

比，市场实现了 23.51% 的增长率。在机器视觉市场中，2D 视觉部分的市场规模大约为 152.24 亿人民币，年增长率为 20.21%，而 3D 视觉部分的市场规模为 18.40 亿人民币，年增长率则高达 59.90%。

GGII 进一步预测，到 2027 年，中国机器视觉市场的总规模有望突破 560 亿人民币，期间 CAGR 为 27.19%。其中，2D 视觉市场的规模预计将超过 400 亿人民币，3D 视觉市场的规模预计将接近 160 亿人民币。随着中国劳动力成本的上升，制造业对提高生产效率和产品质量的要求日益增加，机器视觉技术因其能够替代人工完成高效率和高精度的任务而受到青睐，这些因素共同推动了中国机器视觉产品需求的增长。

图表5：2016-2027 年中国机器视觉市场规模及预测



资料来源：GGII，中邮证券研究所

中国机器视觉行业起步较晚，本土企业不断追赶。国际市场上，美国（如康耐视公司）和日本（如基恩士公司）等国家在全球市场占据超过 50% 的份额，相比之下，中国的机器视觉市场还处于发展阶段。然而，得益于中国制造业自动化和数字化转型的推进，以及国内机器视觉技术的持续进步和创新，中国本土企业如海康威视、大恒科技、天准科技等开始在市场份额上稳步提升。这些企业在核心零部件（包括工业相机、图像处理软件、光源、镜头视觉控制系统等）和独立软件算法上进行了大量投资，从而有望进一步增强其品牌竞争力。

2.3 机器视觉主流技术方案

不同应用领域或场景对视觉的测量范围、测量精度、尺寸和功耗等性能要求均不同。视觉技术按照成像维度的不同，可以划分为 2D 和 3D 两大类。

2D 视觉技术在过去几十年里经历了显著的进步，分辨率从最初的数十万像素提升至现今的数亿像素，图像的色彩还原变得更加真实，图像质量也得到了显

著提升。尽管如此，2D 成像技术使用到的传统 RGB 相机，仅能捕捉到物体表面的纹理信息，没有物体到相机的距离信息，无法提供对于精确的识别、追踪等功能所需的空间形态、几何尺寸和位姿信息等。

3D 视觉感知技术有效地补充了 2D 视觉技术的不足，使得更加复杂和智能的功能得以实现。作为机器人感知的前沿和核心手段，根据成像原理的不同，3D 视觉感知技术可分为光学和非光学两大类，主要包括飞行时间（ToF）法、结构光法、激光扫描法、莫尔条纹法、激光散斑法、干涉测量法、照相测量法、激光跟踪法、基于运动的形状获取、基于阴影的形状获取等多种技术，以及其他归类于 Shape-from-X 的创新方法。现阶段，光学方法因其应用广泛而备受青睐。这里对于几种主流的 3D 视觉感知技术进行介绍：

图表6：主流 3D 视觉感知技术对比

3D 视觉感知主要技术		最佳测量距离	分辨率	测量精度	主要适用场景
ToF	iToF	< 3.5m	中	近距离：中 中距：高	手机前置、后置、扫地机器人、AR/VR、门禁等
	dToF	< 5m	低	近距离：低 远距离：高	手机后置、平板后置、扫地机器人等
双目		< 15m	高	低	汽车侧面、室外机器人、智能安防等
结构光		< 5m	高	近距离：高 中远距：低	手机前置、刷脸支付、刷脸门锁、服务机器人、安防监控、屏下 3D 结构光等
激光雷达		< 200m	低	近距离：低 远距离：高	汽车自动驾驶、汽车 ADAS、低速物流车自动驾驶等

资料来源：奥比中光招股书，中邮证券研究所

双目立体视觉法的技术原理是通过从两个视点观察同一物体，从而来获得同一物体在不同视角下的图像。通过三角测量原理来计算图像像素间的位置偏差（视差）来获取物体的三维图像，比如把一只手指放在鼻尖前方，左右眼看到手指会有一个错位的效果，这个位置差被称为视差。相机所要拍摄的物体离相机越近，视差越大，离相机越远，视差就越小。当两个相机的位置等条件已知时，就可以通过计算相似三角形的原理来得出从物体到相机的距离。其工作过程跟人类眼睛的工作原理相似。

双目立体视觉系统通常可分为数字图像采集、相机标定、图像预处理与特征提取、图像校正、立体匹配、三维重建六大部分。在双目立体视觉系统的硬件结构中，通常采用两个摄像机作为视觉信号的采集设备，通过双输入通道图像采集卡与计算机连接，把摄像机采集到的模拟信号经过采样、滤波、强化、模数转换，最终向计算机提供图像数据。

双目立体视觉法优点在于具有高 3D 成像分辨率、高精度、高抗强光干扰等优势，且可以保持较低成本。缺点主要有二，一是需要通过大量的 CPU/ASIC 演算取得它的深度和幅度信息其算法极为复杂较难实现，同时该技术易受环境因素

干扰，对环境光照强度比较敏感，且比较依赖图像本身的特征，因而拍摄暗光场景时表现差；其二是过度的依赖于被拍摄物体的表面纹理，如果被拍摄物体表面没有明显的纹理，使用双目立体视觉法会无法匹配与之对应的像素。

图表7：双目立体视觉工作原理

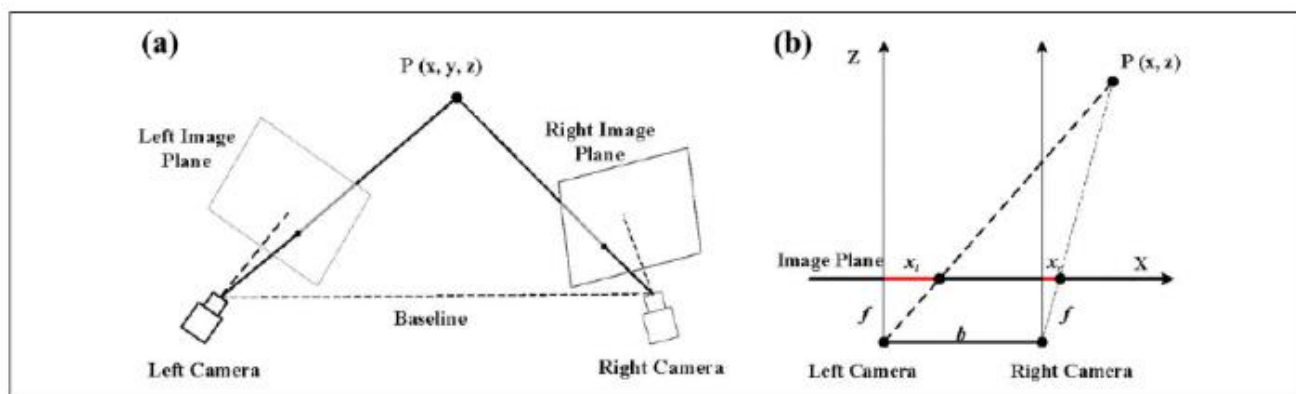


Figure 4. (a) Typical stereo vision system.¹³⁸ (b) Simple model: optic axes of two parallel cameras.¹³⁸

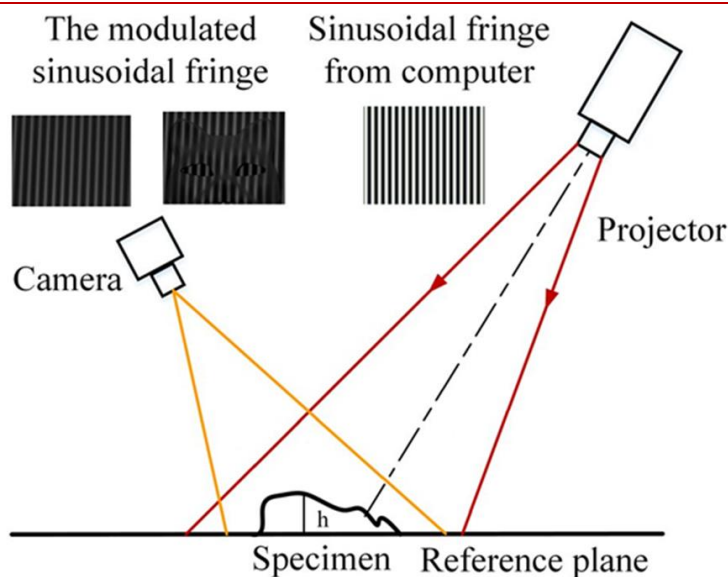
资料来源：Advances in sensing and processing methods for three-dimensional robot vision (Yu He, Shengyong Chen)，中邮证券研究所

结构光法 (Structured Light) 是一种主动双目视觉技术，其基本原理是通过近红外激光器，将具有已知的结构特征（比如离散光斑、条纹光、编码结构光等）的光线投射到被拍摄物体上，再由专门的红外摄像头进行采集三维物体物理表面成像的畸变情况，最后通过观测图案与原始图案之前发生的形变由此来得到图案上的各个像素的视差。这个技术通过光学手段获取被拍摄物体的三维结构，再将获取到的信息进行更深入的应用。其工作原理可看作是另一种双目法，红外激光器和红外摄像头可当做是双目立体视觉法中的左右双目的观测原理。

结构光技术相较于双目技术的优势在于：

- (1) 在场景较暗的场景下也可以运作正常结构光的红外激光器是主动发射光的光源，可以照亮被扫描物体，所以结构光并不像双目结构一样依赖于光源；
- (2) 在表面较平整、没有明显图案纹理的物体表面也可以实现深度扫描，从而测算出物体的三维深度。

图表8：结构光工作原理

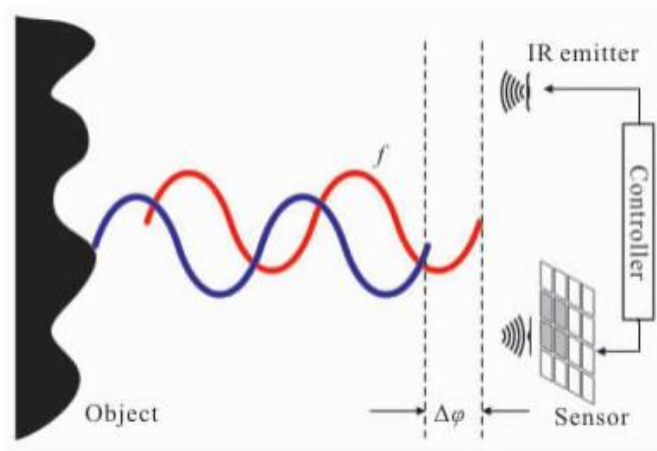


资料来源：cnblogs，中邮证券研究所

飞行时间法（ToF, Time of Flight）是一种 3D 测量方法，其原理是通过给目标连续发送光脉冲，然后用传感器接收从物体返回的光，通过探测这些发射和接收光脉冲的飞行（往返）时间来得到目标物距离。传感器通过计算光线发射和反射时间差或相位差，来换算被拍摄景物的距离，以产生深度信息，此外再结合传统的相机拍摄，就能将物体的三维轮廓以不同颜色代表不同距离的地形图方式呈现出来。

ToF 技术具有以下优点：1) 软件复杂性低，设计与应用简单；2) 在暗光与强光环境下表现不错；3) 功耗不高；4) 有较远的探测距离；5) 成本低；6) 响应速度快。缺点则在于室外受自然光红外线影响大、远距离无法保证精度。

图表9：ToF 工作原理



资料来源：《TOF 相机实时高精度深度误差补偿方法》（李占利等），中邮证券研究所

ToF 又分为两种，一是直接飞行时间（Direct ToF 即 dToF），其原理比较简单，即直接发射一个光脉冲，之后测量反射光脉冲和发射光脉冲之间的时间间隔，就可以得到光的飞行时间。探测器系统在发射光脉冲产生的同时启动一个高精度的秒表，当探测到目标发出的光回波时，秒表停止并直接存储往返时间。

dToF 通常用于单点测距系统，但由于像素级亚纳秒电子秒表的实现困难，dToF 的成本以及技术难度相较于 iToF 更高。目前主流方案是采用 SPAD（一种高灵敏度的半导体光电检测器，被广泛运用于弱光信号检测领域）结合 dToF 技术，来精确检测记录光子的时间和空间信息，从而进行场景的三维重构。dToF 的原理看起来虽然简单，但实际上很难达到较高的精度，主要原因是过程中对于秒表和脉冲信号的精度都有很高要求，且 dToF 中核心组件 SPAD 制作工艺复杂，综合成本对比 iToF 高很多，故目前多数厂家都在推进 iToF 的研究。

二是间接飞行时间（Indirect ToF 即 iToF）。iToF 的原理要复杂一些，其发射的并非一个光脉冲，而是调制过的光。接收到的反射调制光和发射的调制光之间存在一个相位差，通过检测该相位差就能测量出飞行时间，从而估计出距离。其中，往返行程时间是从光强度的时间选通测量中间接外推的。在这种情况下，不需要精确的秒表，而是需要时间选通光子计数器或电荷积分器，它们只需较少的计算工作和硅面积，就可以在像素级实现。

图表10：dToF 与 iToF 的对比

	dToF	iToF
原理	计算光子飞行时间差、SPAD+TDC、单光子雪崩二极管+时间数字转换电路	测相位偏移法
成像帧率	高	低
动态范围	好	一般
精度	高（理论上不受距离增加影响）	偏低，精度随距离降低
分辨率	偏低	较好
功耗	小	较大，随距离增加
信噪比	高	低
多回声处理	好	不好
抗干扰能力	强	弱，多路径干扰

资料来源：赛迪集成电路研究所，中邮证券研究所

2.4 机器视觉产品价格水平

机器视觉产品按照下游应用场景的性能要求，可以大致分为消费级和工业级两类。工业级机器视觉对于技术、精度、稳定性等的要求相对更高，而且取决于应用场景及需求不同，整体定制化程度较高，主要通过国外品牌采购上游核心零部件，因此整体成本较高。消费级视觉方案对于精度的要求相对较低，市场参与者更多竞争更为激烈，故而对于成本控制的需求更为严苛。

工业级机器视觉产品的价格水平，以主营工业相机的埃科光电为例，根据其招股书中的信息，其上游零部件如图像传感器、处理器等，主要使用国外知名品牌如 Sony（索尼）、AMS（艾迈斯）、ON（安森美）、Altera（阿特拉）、Xilinx（赛灵思）等，图像传感器均价近 3000 元，处理器均价约 550 元。埃科光电的主营产品工业线/面扫描相机平均单价为 6626.54、36695.15 元。

图表11：2022 年埃科光电主要原材料及产品价格情况

		采购金额（万元）	采购数量（个）	平均单价（元/个）
主要原材料	图像传感器 (采购占比 44.82%)	9382.97	31508	2977.96
	处理器 (采购占比 24.68%)	5165.41	93775	550.83
		销售收入（万元）	销售数量（台或张）	平均单价（元/台或张）
主营产品	工业线扫描相机	12347.23	18633	6626.54
	工业面扫描相机	6605.13	1800	36695.15
	图像采集卡	5636.21	19004	2965.80

资料来源：埃科光电招股书，中邮证券研究所

消费级 3D 视觉方案产品的价格水平，以供货给优必选的奥比中光为例，根据其招股书中的信息，3D 视觉传感器主要由深度引擎芯片、光学成像模组、激光投影模组以及其他电子器件、结构件等构成。其中光学成像模组的核心部件包括感光芯片、成像镜头、滤光片等核心元器件，激光投影模组包括激光发射器、衍射光学元件、投影镜头等核心元器件。感光芯片供应商有索尼、三星、韦尔股份、思特威等；滤光片供应商有 Viavi、五方光电等，光学镜头供应商有大立光、玉晶光电、新旭光学等；激光发射器供应商有 Lumentum、菲尼萨（Finisar）、艾迈斯半导体（AMS）等，衍射光学元件供应商有 CDA、AMS、驭光科技等。

图表12：2021 年奥比中光主要原材料、产品价格情况及部分产品零售价

		采购金额（万元）	采购数量（万 pcs）	平均单价（元/pes）
主要原材料	电子器件 (采购占比 23.38%)	5526.61	16747	0.33
	通用感光芯片 (采购占比 8.15%)	1925.35	115	16.71
	自研芯片 (采购占比 4.25%)	1005.54	70	14.42
		销售收入（万元）	销售数量（万台）	平均单价（元/台）
结构光	Astra	8423.18	15.95	528.25
结构光	Astra E	21495.60	66.80	321.81
双目	Astra G	4412.74	7.46	591.13

iToF	Astra X	1006.30	8.78	114.57
iToF	Astra T	7.79	0.01	1276.34
结构光	Astra +	-	-	1180.00
结构光	Gemini 2 L	-	-	2499.00
iToF	Femto Bolt	-	-	2866.00

资料来源：奥比中光招股书，京东奥比中光专卖店，中邮证券研究所

现阶段人形机器人进入规模量产阶段，对视觉方案的需求更关注于产能供应和成本控制两方面，推测消费级 3D 视觉产品有望成为需求主流。但随着未来人形机器人应用场景的复杂化及多元化之后，不排除需求工业级机器视觉产品的可能性。

3 产业链相关标的

（一）奥比中光：3D 视觉感知行业领先，携手科技巨头微软、英伟达

奥比中光专注于 3D 视觉感知技术，其应用领域广泛，包括生物识别、AIoT、工业、消费电子和汽车等。奥比中光在硬件开发上与科技巨头英伟达和微软联手，成功打造并推出了 3D iToF 相机 Femto Mega，产品已面向全球市场，标志着公司在全球 3D 传感技术领域迈出了重要一步。同时，公司在构建生态系统方面也取得了显著进展，与 NVIDIA Omniverse 建立了深度合作关系，共同研发了 3D 开发套件 PerseeN1。这一合作使得奥比中光的多款 3D 相机得以无缝集成至英伟达的机器人仿真开发平台，为开发者提供了更为广阔的应用场景和开发可能性；在与微软的合作框架下，双方共同研发的 Femto 系列 iToF 相机已经推出了三款不同型号的产品。这些产品的推出，极大地促进了全球开发者利用奥比中光的 3D 相机技术，在微软 Azure 云计算平台上进行创新，开发出多样化的 3D 视觉深度感知应用。这些应用覆盖了从工业自动化到消费电子产品的广泛领域，为用户带来了更加丰富和高效的技术解决方案。

目前，奥比中光已与多家机器人客户如优必选、斯坦德、云迹科技、高仙机器人等建立了业务合作关系，根据 GGII 数据，其在国内服务机器人视觉传感器市场的占有率超 70%；奥比中光与合作伙伴共同投资建立了深圳国创具身智能机器人有限公司；利用 AI 大模型技术+Gemini 2 系列深度相机，奥比中光成功打造了能够理解和执行语音任务的机械臂 1.0，实现了多模态大模型在机械臂上的应用部署，并初步完成了大模型与硬件终端的适配结合。

2024 年 2 月 24 日，英伟达宣布成立 GEAR 项目，将机器人技术带入现实世界，其愿景是在未来所有可移动的机器都将实现自主化，机器人和模拟智能体将如同智能手机一般普及。奥比中光作为英伟达机器人业务的关键合作伙伴，通过与行业巨头的紧密合作和在视觉算力领域的战略布局，预计将在机器人技术快速发展的年份中获得显著利益。

图表13：奥比中光 3D 相机亮相 NVIDIA GTC 2024



资料来源：奥比中光官网，中邮证券研究所

（二）奥普特：机器视觉光源市场龙头，向泛机器人领域延申

奥普特重视自主研发和技术创新，拥有强大的研发团队和深厚的技术积累。公司在光学成像、图像处理、深度学习、3D 视觉技术、异构计算等关键技术上持续投入，为产品研究和开发提供了坚实的技术基础。目前，公司已经形成了完备的机器视觉核心软硬件产品体系，包括视觉软件产品线、3D 产品线、智能读码器产品线、工业相机产品线、工业镜头产品线、光源产品线等。这些产品线能够满足不同行业和客户的多样化需求。

奥普特是我国国内较早进入机器视觉领域的企业之一。成立之初，以机器视觉核心部件中的光源产品为突破口，奥普特进入了当时主要为国际品牌所垄断的机器视觉市场。根据日本富士经济调研数据，奥普特在全球机器视觉光源市场的市占率连续多年稳居全球第二位，国内市占率三年蝉联榜首，显示了其在机器视觉领域的强大竞争力。

奥普特还不断向泛机器人领域延申。2023 年 11 月底，奥普特拟向东莞泰莱（主要从事精密传动部件业务）投资收购其 51% 的股权，向运动控制领域延申；2023 年以来，公司还成立了专门的深度学习（工业 AI）应用开发团队，并设立了专用实验室，全力支持核心大客户诸如外观缺陷检测等项目的开发。2023 年 12 月初，公司发布了 DeepVison3，兼具高效、柔性、易用特点。

（三）凌云光：国内机器视觉领先企业，拓展 AI、立体视觉领域

凌云光是可配置视觉系统、智能视觉装备与核心视觉器件的专业供应商，通过在机器视觉领域的深厚积累和技术创新，成功融入苹果、华为等全球知名企业的供应链，与鸿海精密、京东方、福莱特、宁德时代等顶尖企业建立了稳固的长期合作伙伴关系。

在人工智能技术领域，公司致力于打造新一代技术平台，以确立技术领先地位。成立了“知识理性研究院”，旨在构建软件与算法、先进光学与计算成像、工业人工智能大数据等平台，致力于研究多种人工智能算法、计算成像、大数据与认知图谱等前沿技术，以满足更多行业的需求。公司凭借长期的行业经验和技術积累，已经形成了一套以分类、分割、检测等深度学习任务模型为核心的技术体系，并在训练精度、稳定性、效率和成本等方面取得了显著成果。此外，公司还在工业视觉图像缺陷检测领域进行深度学习框架、高精度模型和算法优化的自主研发，进一步巩固了在行业中的技术优势。

同时，依托先进的成像技术、图像处理技术和人工智能技术，公司开发的立体视觉系统能够精确提取人或物的三维信息，并通过应用数据库进行实时智能化处理。

4 风险提示

人形机器人规模化不及预期风险；
人形机器人视觉感知技术路径变化风险；
消费级视觉产品竞争加剧风险；
3D 视觉技术发展不达预期风险。

中邮证券投资评级说明

投资评级标准	类型	评级	说明
报告中投资建议的评级标准： 报告发布日后的 6 个月内的相对市场表现，即报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数、可转债价格）的涨跌幅相对同期相关证券市场基准指数的涨跌幅。 市场基准指数的选取：A 股市场以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指为基准；可转债市场以中信标普可转债指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普 500 或纳斯达克综合指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期基准指数涨幅在 20%以上
		增持	预期个股相对同期基准指数涨幅在 10%与 20%之间
		中性	预期个股相对同期基准指数涨幅在-10%与 10%之间
		回避	预期个股相对同期基准指数涨幅在-10%以下
	行业评级	强于大市	预期行业相对同期基准指数涨幅在 10%以上
		中性	预期行业相对同期基准指数涨幅在-10%与 10%之间
		弱于大市	预期行业相对同期基准指数涨幅在-10%以下
	可转债评级	推荐	预期可转债相对同期基准指数涨幅在 10%以上
		谨慎推荐	预期可转债相对同期基准指数涨幅在 5%与 10%之间
		中性	预期可转债相对同期基准指数涨幅在-5%与 5%之间
		回避	预期可转债相对同期基准指数涨幅在-5%以下

分析师声明

撰写此报告的分析师（一人或多人）承诺本机构、本人以及财产利害关系人与所评价或推荐的证券无利害关系。

本报告所采用的数据均来自我们认为可靠的目前已公开的信息，并通过独立判断并得出结论，力求独立、客观、公平，报告结论不受本公司其他部门和人员以及证券发行人、上市公司、基金公司、证券资产管理公司、特定客户等利益相关方的干涉和影响，特此声明。

免责声明

中邮证券有限责任公司（以下简称“中邮证券”）具备经中国证监会批准的开展证券投资咨询业务的资格。

本报告信息均来源于公开资料或者我们认为可靠的资料，我们力求但不保证这些信息的准确性和完整性。报告内容仅供参考，报告中的信息或所表达观点不构成所涉证券买卖的出价或询价，中邮证券不对因使用本报告的内容而导致的损失承担任何责任。客户不应以本报告取代其独立判断或仅根据本报告做出决策。

中邮证券可发出其它与本报告所载信息不一致或有不同结论的报告。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断，可随时更改且不予通告。

中邮证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或者计划提供投资银行、财务顾问或者其他金融产品等相关服务。

《证券期货投资者适当性管理办法》于 2017 年 7 月 1 日起正式实施，中邮证券客户中的专业投资者使用，若您非中邮证券客户中的专业投资者，为控制投资风险，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息。本公司不会因接收人收到、阅读或关注本报告中的内容而视其为专业投资者。

本报告版权归中邮证券所有，未经书面许可，任何机构或个人不得存在对本报告以任何形式进行翻版、修改、节选、复制、发布，或对本报告进行改编、汇编等侵犯知识产权的行为，亦不得存在其他有损中邮证券商业性权益的任何情形。如经中邮证券授权后引用发布，需注明出处为中邮证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节或修改。

中邮证券对于本声明具有最终解释权。

公司简介

中邮证券有限责任公司，2002 年 9 月经中国证券监督管理委员会批准设立，注册资本 50.6 亿元人民币。中邮证券是中国邮政集团有限公司绝对控股的证券类金融子公司。

公司经营范围包括：证券经纪；证券自营；证券投资咨询；证券资产管理；融资融券；证券投资基金销售；证券承销与保荐；代理销售金融产品；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问。此外，公司还具有：证券经纪人业务资格；企业债券主承销资格；沪港通；深港通；利率互换；投资管理人受托管理保险资金；全国银行间同业拆借；作为主办券商在全国中小企业股份转让系统从事经纪、做市、推荐业务资格等业务资格。

公司目前已经在北京、陕西、深圳、山东、江苏、四川、江西、湖北、湖南、福建、辽宁、吉林、黑龙江、广东、浙江、贵州、新疆、河南、山西、上海、云南、内蒙古、重庆、天津、河北等地设有分支机构，全国多家分支机构正在建设中。

中邮证券紧紧依托中国邮政集团有限公司雄厚的实力，坚持诚信经营，践行普惠服务，为社会大众提供全方位专业化的证券投、融资服务，帮助客户实现价值增长，努力成为客户认同、社会尊重、股东满意、员工自豪的优秀企业。

中邮证券研究所

北京

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：北京市东城区前门街道珠市口东大街 17 号

邮编：100050

上海

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：上海市虹口区东大名路 1080 号邮储银行大厦 3 楼

邮编：200000

深圳

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：深圳市福田区滨河大道 9023 号国通大厦二楼

邮编：518048