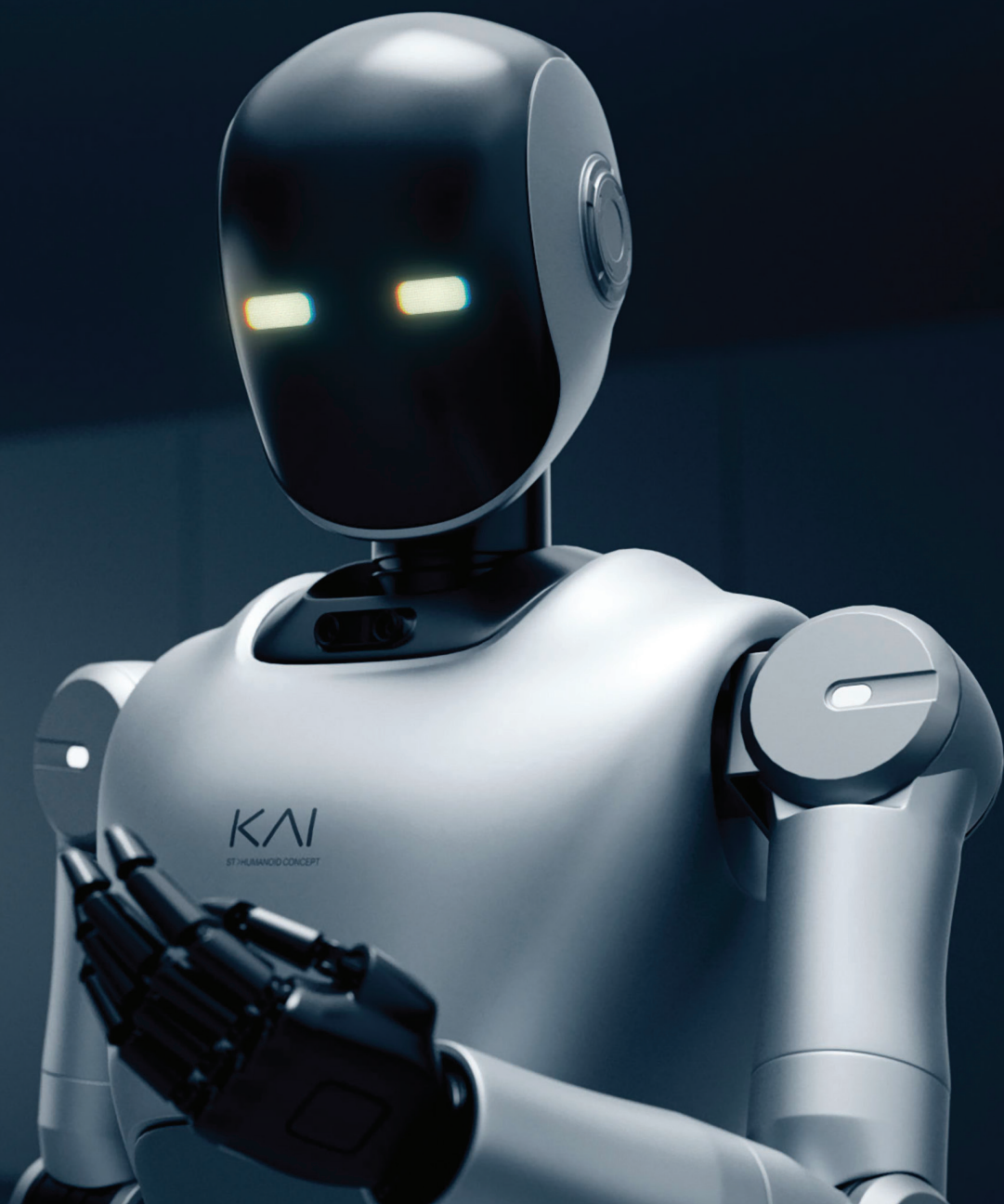




人形机器人参考指南



目录

- 4 简介
- 5 机身传感单元子系统
 - 6 子系统框图
 - 6 意法半导体MEMS产品
 - 8 一站式解决方案
- 9 关节单元子系统
 - 10 子系统框图
 - 11 人形机器人电机控制MCU选型指南
 - 11 电机驱动器IC
 - 14 电流检测
 - 14 运算放大器和比较器
 - 15 一站式关节电机控制解决方案
 - 16 软件与固件
- 17 机身主处理单元子系统
 - 17 子系统框图
 - 17 存储器
 - 17 嵌入式安全
- 18 电源管理单元子系统
 - 18 子系统框图
 - 19 开关转换器和稳压器IC
 - 20 半桥GaN驱动器
 - 21 电池管理
 - 22 保护功能
 - 23 一站式解决方案

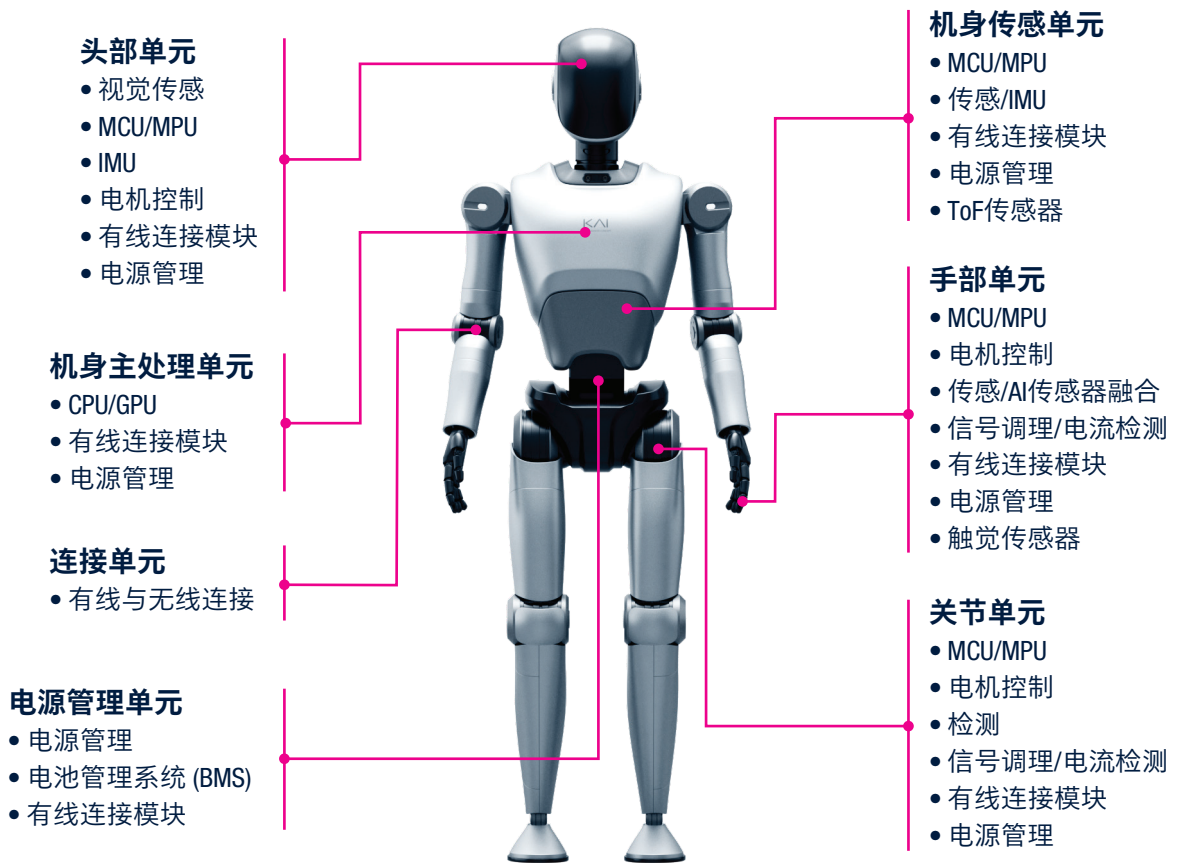
24	连接装置子系统
25	子系统框图
25	控制单元与区域处理器
25	有线连接
26	无线连接
29	一站式解决方案
30	头部单元子系统
30	子系统框图
31	ALS与ToF
31	3D深度与dToF测量以及环境建模
32	2D图像传感器
33	用于AI处理的微控制器
34	一站式解决方案
36	核心基础组件
36	可保护机器人头部单元和保障子组件真实性的安全芯片
38	区域处理器
38	存储器
39	一站式解决方案

简介

如今，人形机器人正在逐步替代过去一直由人工完成的各类任务，从服务运营到先进自动化，各行各业无不经历着由人形机器人所引发的变革浪潮。这一创新格局的背后离不开尖端半导体技术的支撑；正是这些技术为其提供了性能、安全性与效率方面的保障。

人形机器人的架构支持子系统设计与组件的策略性复用，同时深度融合电源管理、电机控制与传感等多项技术，从而实现了边缘端具身AI的落地。而意法半导体将凭借基于系统解决方案理念打造的多样化产品组合，助力客户实现各项技术之间的无缝集成。

意法半导体可以提供丰富的产品与完善的软硬件工具生态系统，全面助力设计人员以更快的速度和更加智能的方式开发人形机器人解决方案。



本文档内容涵盖了以下结构：

- 机身传感单元子系统
- 关节单元子系统
- 机身主处理单元子系统
- 手部单元子系统
- 电源管理单元子系统
- 连接单元子系统
- 头部单元子系统
- 核心基础组件

“**核心基础组件**”一章中将重点介绍嵌入式安全、区域处理器和存储器IC。

机身传感单元子系统

简介

无论是在严苛的工业环境下还是在人机协作场景中，感知能力都是保障系统可靠运行的关键。要获得出色的感知能力，我们需要对多种模拟人类重要感官的传感器技术进行深度融合，例如：

方位与运动：采用MEMS（微机电系统）惯性传感器，提供高精度的运动学反馈与平衡控制。

触觉与环境感知：捕捉触觉、振动与音频数据，实现与现实世界的自然交互。

接近感应与空间建图：将飞行时间（Time-of-Flight，简称ToF）传感器纳入机身传感架构，实现高分辨率距离测量与三维环境感知功能。

凭借这些技术，我们能够使机器人从“盲目”的机械装置一跃成为具备空间与物理自我感知能力的智能实体。

MEMS相当于机器人的“内耳”和“神经系统”，不仅能够为其提供内部状态与周边环境反馈，还支持实现以下功能：

惯性导航 (IMU)：将MEMS加速度计和陀螺仪有机结合，能够帮助机器人保持平衡。该功能可检测到最微小的倾斜或加速度变化，从而实现动态步态稳定（防止跌倒）。

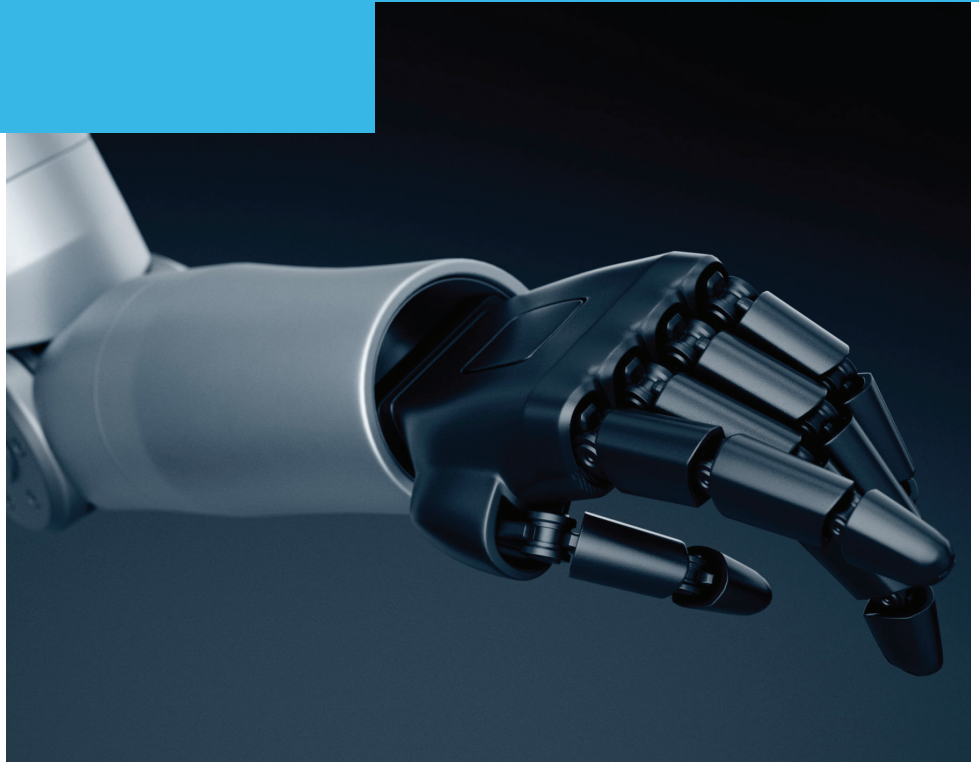
声音传感：MEMS麦克风可提供声源定位与识别能力，使人形机器人能够将头部转向谈话对象，或是识别预示机械应力的结构振动。

飞行时间 (ToF) 传感器可作为机器人的“接近感应”或“近距离视觉”器官，在其周围构建起一个安全区域，并助力实现以下功能：

避障与SLAM：ToF传感器可通过发射光脉冲并测量其返回时间来计算距离，从而实现周边环境的实时3D建图。

手眼协调：在执行操作任务时，集成在腕部或手部的ToF传感器可提供与目标物体之间的高精度距离数据，图像传感器可以提供物体形状、大小等信息，确保机器人不会压碎易碎物品或发生抓取失误。

人机交互 (HRI)：此类传感器能够检测到附近人员的在场情况与运动状态。与传统摄像头不同，ToF传感器旨在处理深度数据而非高分辨率图像，因而能够在低光照条件下可靠运行。

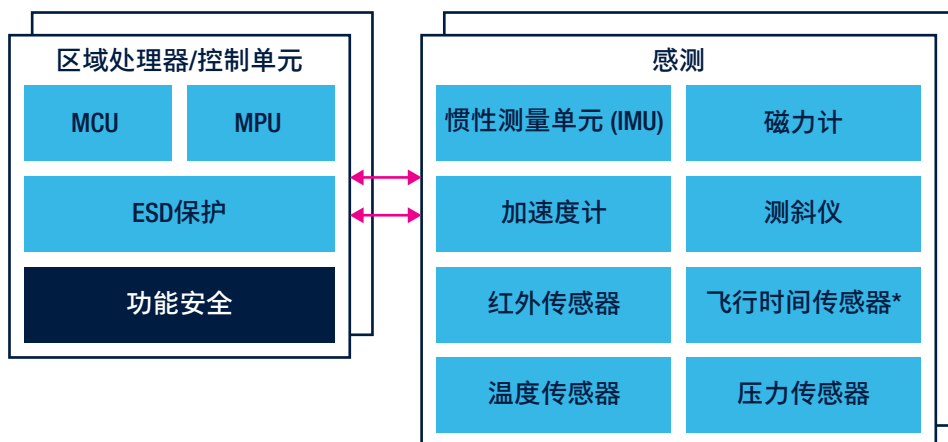


子系统框图

人形机器人的运行需要依靠遍布在其四肢、躯干、头部以及肢体末端的机身传感单元网络。

这些单元涵盖了多种传感器（包括IMU、加速度计、磁力计、振动传感器、温度传感器、压力传感器以及测斜仪等等），可以全方位采集运动与环境数据。

为实现无缝通信与远程监控，这些传感器通过I2C和SPI等标准接口与微控制器进行连接。



注意：* 有关传感器的详细信息，请参见头部单元相关段落

意法半导体MEMS产品

意法半导体可专门面向人形机器人应用领域提供品类齐全的微机电系统 (MEMS) 产品组合。

这些产品包括加速度计、陀螺仪、磁力计和环境传感器，对于实现机器人系统的方位感知、运动控制与环境感知有着至关重要的意义。

意法半导体MEMS解决方案旨在提升设备的性能、可靠性与能效，可助力实现运动跟踪、环境感知和响应交互等更高级别的功能，从而帮助开发人员打造出能够以智能的方式在动态环境中安全运行的机器人。

IMU	IMU Asil B	振动计与测斜仪	压力	磁力计
 <p>ISM330DHCX ISM330IS ISM6HG256X LSM6DSV16X</p>	 <p>ASM330LHHXG1 ASM330LHHBG1</p>	 <p>IIS3DWB</p>	 <p>ILPS22QS ILPS28QSW LPS22DF</p>	 <p>IIS2MDC LIS2MDL</p>

IMU

惯性测量单元 (IMU) 将加速度计和陀螺仪集成在一个紧凑的6轴系统中，可为人形机器人提供精准的方位与运动数据。

通过将多种传感器输出数据进行融合，意法半导体IMU能够以较高的测量精度，助力机器人实现高水平的平衡控制、运动协调、空间感知以及其他功能。

新一代的意法半导体IMU可通过嵌入式机器学习内核 (MLC) 实现情景感知，并支持低功耗边缘处理。这些功能可在有限状态机 (FSM) 的辅助下，实现各类运动模式与活动的实时分析——这对于打造高响应度的智能化人形机器人至关重要。

产品编号	封装	传感轴	加速度范围 (g)	角速率范围 (°/s)	供电电压 (V) 最大值	角速率噪声密度 (°/s / $\sqrt{\text{Hz}}$)
ASM330LHBG1	LGA 14L 2.5x3x0.86 mm	X、Y、Z、 偏航、 俯仰、横滚	±16、±2、±4、±8	±4000	3.6	0.005
ASM330LHHXG1						
ISM330BX	±2、±4、±8					
ISM330DHCX	LGA 14L 2.5x3x0.86 mm		±16、±2、±4、±8	±2000		0.005
ISM330DLC						0.0038
ISM330IS			0.0034			
ISM6HG256X			±128、±16、±2、 ±256、±32、±4、 ±64、±8	±4000		0.0045

压力传感器

意法半导体MEMS压力传感器具备出色的性能和低于4 μA 的超低电流消耗，可有效提升人形机器人的电池续航能力。

这些传感器具备更出色的温度补偿功能，并有以下两种全量程范围可供选择：260至1260 hPa（适合标准大气压传感），以及最高4060 hPa（约4 bar）的扩展量程范围（适合监测压力更高的应用场景）。

灵活的量程范围选择得益于意法半导体先进的传感器架构与校准技术，它使得开发人员能够根据具体的环境与应用需求对设备进行灵活配置。

由于采用了意法半导体独有的全成型封装设计，此类传感器具有出色的可靠性和抗老化性能，确保能够在要求严苛的机器人系统中实现长期稳定运行。

产品编号	封装尺寸 (mm)	压力噪声 (hPa) RMS	最大ODR (Hz)	最大工作压力 (hPa)
ILPS22QS	2x2x0.73	0.0034	200	4060
ILPS28QSW	2.8x2.8x1.95	0.0032		

磁力计

在人形机器人应用中，磁传感可以提供极其准确的航向与方位数据；该数据与加速度计和陀螺仪数据互为补充，从而实现精准的运动控制。磁力计集成在传感器融合系统中，可以帮助机器人保持平衡、提升定位精度并确保其运行稳定。

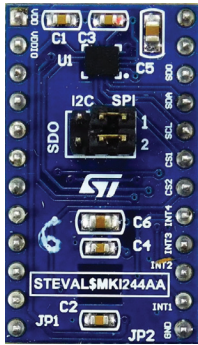
意法半导体MEMS磁力计为磁场传感应用提供了外形紧凑的创新型解决方案。这些传感器采用了先进的微加工技术，具有精度高、功耗低和微型化等优势，堪称机器人、便携式设备、可穿戴设备、无人机和物联网等应用的理想选择。

意法半导体MEMS磁力计通常与IMU加速度计和陀螺仪一同集成在多传感器模块中，可以提供全面的方位与运动数据。凭借稳健的设计与出色的灵敏度，这些磁力计即使在电磁干扰较强的环境中也能保证稳定可靠地运行。

产品编号	封装	传感轴	磁场范围（高斯）典型值	最大供电电压 (V)
IIS2MDC	LGA 2x2x0.7 12引线	X、Y、Z	±49	3.6

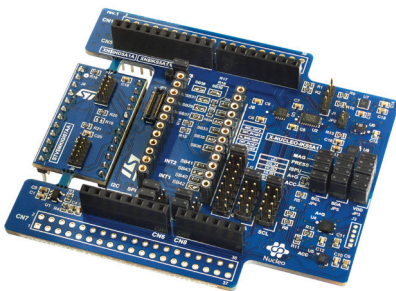
一站式解决方案

STEVAL-MKI244A



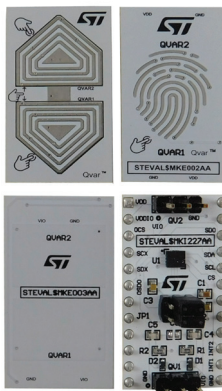
支持ASM330LHBG1的Nucleo扩展板适配器板。

X-NUCLEO-IKS5A1



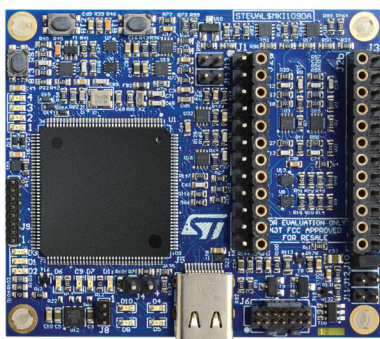
X-NUCLEO-IKS5A1是一款工业运动MEMS与环境传感器评估板套件，支持基于FSM、MLC、ISPU和传感器集线器（搭配板载ISM330IS和ISM6HG256X）等特性进行应用开发。

STEVAL-MKI223V1K



STEVAL-MKE001A、STEVAL-MKE002A或STEVAL-MKE003A电极板可堆叠在STEVAL-MKI223V1开发板上。该套件提供了完整的ILPS28QSW引脚排列。STEVAL-MKI109D评估平台可为该适配器提供支持。

STEVAL-MKI109D



STEVAL-MKI109D评估平台让工程师能够监控意法半导体MEMS传感器的运行状态，优化新产品设计性能，显著缩短产品上市周期。该评估板兼容意法半导体MEMS适配器板，支持I2C、I3C、SPI和TDM通信接口，实现超高数据输出速率。

关节单元子系统

简介

人形机器人的主要关节、颈部与手指都需要精准、可靠的电机控制，这对于实现流畅的拟人化运动效果至关重要。意法半导体可面向12 V至48 V的电机提供定制化解决方案，从而灵活满足各类机器人设计的专属需求。

此类系统通常采用三相永磁电机（BLDC、PMSM、PMAC），并通过由PWM控制的三相桥（三个半桥）进行驱动；在某些特定应用（尤其是手部应用）中，也会采用无芯直流电机。该架构支持变频与变压功能，可提供精准的扭矩和速度控制，从而帮助机器人实现自然流畅的运动。

意法半导体能够为该方案提供核心组件，包括单片式驱动器IC、功率MOSFET、IGBT、栅极驱动器、功率模块以及专用微控制器，且上述组件均针对效率、安全性和可扩展性进行了优化。

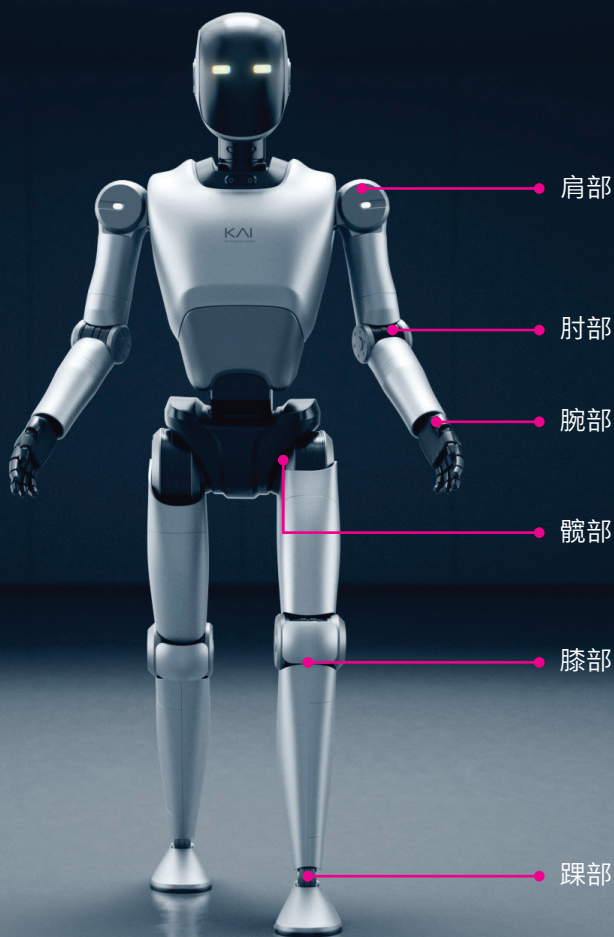
主要关节

- 大电流/扭矩
- 高效率
- 快速响应

电机选项



三相BLDC



颈部

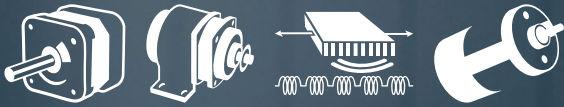
- 中等电流/扭矩
- 精确的位置控制



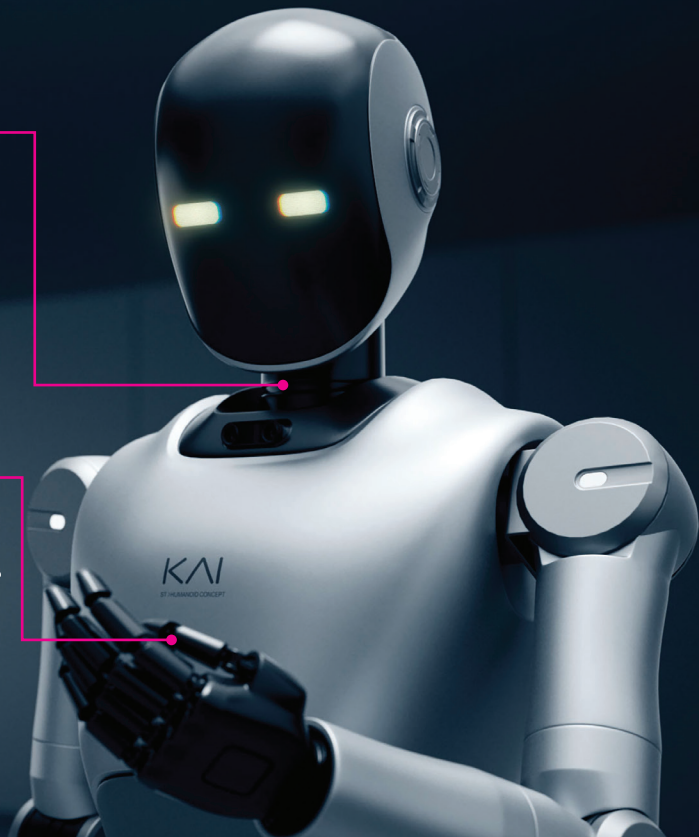
- 三相PMSM/BLDC伺服电机
- 步进电机

手指

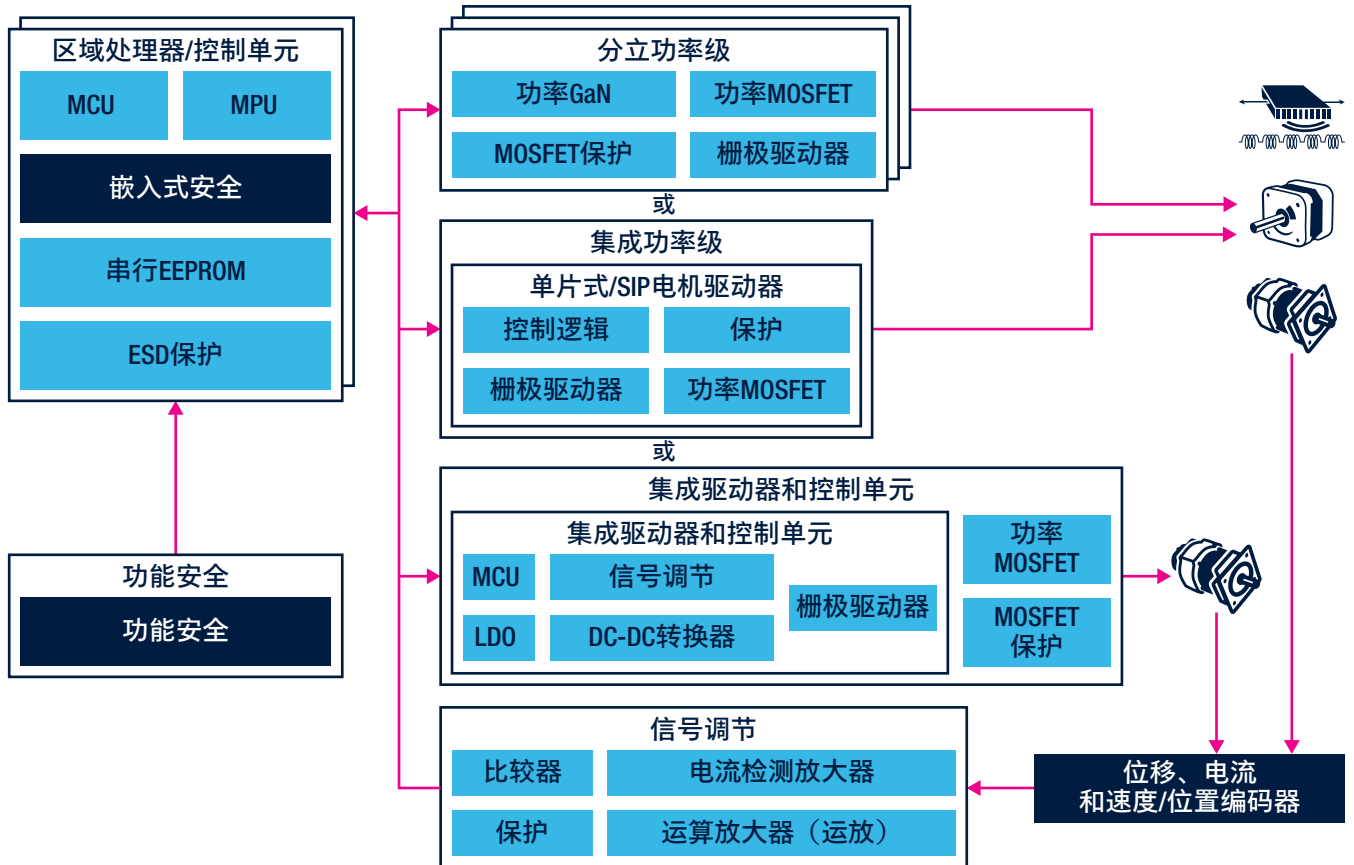
- 中低电流/扭矩
- 精确的位置控制






- 三相PMSM / BLDC伺服电机
- 步进电机
- 有刷直流电机
- 线性电机



子系统框图



主要产品

MCU	电机驱动器IC	栅极驱动器	功率MOSFET
 <p>STM32H7 STM32F7 STM32G4 STM32H5</p>	 <p>STSPIN830 STSPIN32G4 STSPIN958/9P1 powerSTEP01</p>	 <p>STDRIVE101 STDRIVE131</p>	 <p>F7系列</p>

有关意法半导体电机控制相关产品的详细信息，请参见电机控制参考指南。

人形机器人电机控制MCU选型指南

电机	STM8S	STM32G0 STM32F0 STM32F1	STM32G4 STM32F41x STM32F3 STM32L4 STM32H5	MPU STM32H7 STM32F7 STM32F4
有刷直流电机	•	•	•	•
步进电机	•	•		
三相PMSM/FOC - 矢量控制		•	•	•
三相BLDC/6步	•	•	•	•

STM8S:
有刷直流电机

STM32:
步进电机
三相无刷电机

电机驱动器IC

人形机器人需要依靠十分精确和可靠的电机控制方案，实现流畅的拟人化多关节协同运动效果。**STSPIN电机驱动器**集成了实现高效、精准驱动所需的各项核心功能，能够有效应对上述挑战。**集成式运动曲线生成器**能够显著降低主机微控制器的计算负载，同时全面的保护与诊断功能可确保系统长期在严苛的应用环境下可靠运行。

为满足复杂的机器人运动需求，多款STSPIN IC采用了针对微步进电机的**自适应电流衰变控制与电压模式驱动技术**。这些技术能够显著提升**扭矩精度和运动平滑度**——这一点对于实现四肢关节的自然运动与精细的运动控制至关重要。出色的可扩展性与模块化设计使得STSPIN解决方案能够灵活适配多样化的系统架构，并支持人形机器人设计中经常采用的电压范围与机械配置。**节省空间且优化了散热性能的封装**无需以牺牲性能为代价，即可满足紧凑型机器人组件的集成需求。

通过将**先进的运动控制算法**与稳健的安全机制相结合，STSPIN驱动器可以帮助设计人员有效应对人形机器人设计环节遇到的各类关键挑战，其中包括实现精准驱动、维持高效率，以及在可变负载与恶劣工况下确保系统可靠运行等等。

产品编号	说明	Vin最小值 (V)	Vin最大值 (V)	Rdson (Ω)	I输出最大值 (Arms)
STSPIN830	三相三分流BLDC电机驱动器	7	45	0.5	1.5
STSPIN9P1	大电流半桥直流电机驱动器	7	75	0.016	10
STSPIN958	全桥电机驱动器	5	58	0.4	5

集成有MOSFET的电机驱动器：POWERSTEP01

POWERSTEP01解决了人形机器人领域的一项关键问题，即在高压工况条件下实现精准的可配置运动控制。该产品专门面向要求严苛的应用场景，其工作电压可达**85 V**，集成了先进的微步进控制器和8个功率MOSFET，且可通过**16 mΩ**的较低RDS (ON) 实现高效的电力传输。

设计人员可利用其**双模式特性**在以下模式之间进行灵活选择：

- **电压模式** – 提供极致平滑与静音的驱动效果，实现流畅的关节运动
- **电流模式** – 确保精准的扭矩控制和出色的运行稳定性

人形机器人**必须兼顾运动质量与能效**，因此这种灵活性对它而言至关重要。

除核心驱动功能外，POWERSTEP01还具备以下特性：

- 完全可定制的加速、减速及速度运动曲线
- 内置定位计算功能
- **无传感器失速检测**
- 实时诊断与用户可配置的故障保护

这些功能特性可确保系统即使在可变负载与恶劣工况下，也能**长期实现稳健、可靠的运行**。

产品编号	说明	Vin最小值 (V)	Vin最大值 (V)	Rdson (Ω)	I输出最大值 (Arms)
powerSTEP01	系统级封装集成了微步控制器和10 A功率MOSFET	7.5	85	0.016	10

集成有MCU的电机驱动器：STSPIN32G4

STSPIN32G4是一款集成度和灵活度很高的电机控制器，其主要用途为驱动**三相无刷电机**，可帮助设计人员选择最合适的驱动模式，同时有效减少PCB面积并缩减总体物料成本。在人形机器人领域，这种高集成度有助于实现紧凑型设计和高效的执行器控制。

其内部集成有：

- **一个三通道半桥栅极驱动器**，能够以**1 A灌/源电流**驱动功率MOSFET
- **三个自举二极管**，用于简化系统设计

产品**集成有互锁功能**，因此同一半桥的高、低侧不会同时导通。此外，**硬件VDS监控电路**会持续监测6个外部MOSFET，并在检测到过压状态后切断所有栅极驱动器输出。

内部**高精度低压降LDO稳压器**可通过REGIN输入电压生成**3.3 V供电电源 (VREG3V3)**。该电源输出可同时为栅极驱动器的逻辑部分和微控制器供电，并具备**短路、过载及欠压状态保护功能**。

该集成式MCU (**STM32G431VBx3**) 基于**32位Arm® Cortex®-M4内核**，其工作频率可达**170 MHz**，且具备以下特性：

- 单精度FPU
- 完整的DSP指令集
- 旨在提升安全性的存储器保护单元 (MPU)

最后，通过搭配外部三相驱动器（如**STDRIVE101**），STSPIN32G4能够驱动**两个独立的三相BLDC电机**，从而优化系统应用并节约物料成本——对于需要多关节协同的人形机器人而言，这无疑是一项明显的优势。

产品编号	说明	Vin最小值 (V)	Vin最大值 (V)
STSPIN32G4	采用内嵌STM32 MCU (单片机) 的先进BLDC (直流无刷) 控制器	5.5	75

STDRIVE三相桥式栅极驱动器

意法半导体三相STDRIVE将三相电机应用所需的所有栅极驱动器集成在一个组件当中，其较高的集成度有助于简化设计和降低开发成本。此外，这种高度集成还能确保传播延时始终如一（这一点对功率应用中的同步开关而言至关重要），并且有利于满足人形机器人对多个执行器间精准时序的严苛要求。

产品编号	通道#	最大电压 (V)	最大输出电流 (A)	最大供电电压 _c (V)	TTL/CMOS 逻辑输入 (V)	传播延时 (ns)	封装
STDRIVE101	6	75	0.6	15	3.3、5	120	QFN4x4 24引线
STDRIVE131		52	2.2			400	TQFP7x7 48引线

功率MOSFET - STripFET F7

STripFET F7 MOSFET可为电压为40 V、60 V、80 V和100 V的器件提供极低的导通电阻，从而尽可能降低导通损耗。此外，这些器件的电容和栅极电荷极低，在保证实现高效开关操作的同时，减少了能源浪费。

为了进一步提升性能，该系列器件利用经过优化的本征电容比 (Crss/Ciss) 来限制电磁干扰 (EMI) 效应，并利用较高的电流承载能力和极低的热阻来改善设备的散热效果。

上述特性能够帮助设计人员满足严格的功率和效率目标，同时有效缩减设备尺寸并降低相关成本。在实际应用中，这意味着所需器件更少，且封装更加紧凑。

主要优势包括：

- 导通电阻低，可有效降低导通损耗
- 电容比经过优化，可有效抑制EMI
- 电流处理能力强且散热性能出色

这些特性对人形机器人应用而言尤为重要，因为在严苛的工况下，紧凑、高效的功率级能够在很大程度上提升驱动多个执行器的可靠性。

VDSS	产品编号	市场状态	封装	R _{DS(on)} (@VGS = 10 V) 最大值 (Ω)	Qg典型值 (nC)
100	STX310N10F7	已量产	TO-220/H ² PAK-2/H ² PAK-6	0.0023	180
	STX150N10F7		TO-220/TO-220FP/H ² PAK-2/I ² PAK	0.0039	117
	STL110N10F7		PowerFLAT 5x6	0.006	72
	STX100N10F7		TO220/D ² PAK/DPAK/TO-220FP	0.008	61
	STL90N10F7		PowerFLAT 5x6	0.008	45
	STX80N10F7		DPAK/TO-220FP	0.0095	45
	STL8N10F7		PowerFLAT 3.3x3.3	0.02	25
80	STX270N8F7		TO-220/H ² PAK-2/H ² PAK-6	0.021	193
	STX170N8F7		TO-220/H ² PAK-2	0.0037	120
	STX140N8F7		TO-220/TO-220FP/H ² PAK-2	0.004	96
	STL130N8F7		PowerFLAT 5x6	0.0036	96
60	STL220N6F7		PowerFLAT 5x6	0.0014	100
	STP220N6F7		TO-220	0.0023	100
	STL140N6F7		PowerFLAT 5x6	0.0028	55
	STX140N6F7	TO-220/H ² PAK	0.0032	55	
	STL130N6F7	PowerFLAT 5x6	0.0035	42	
	STX130N6F7	TO-220/D ² PAK/DPAK	0.005	42	

PowerGaN晶体管

意法半导体增强模式PowerGaN 100 V晶体管拥有极低的导通损耗、较高的电流承载能力并支持超快的开关操作。这些特性有助于获得较高的功率密度和卓越的性能表现。

产品编号	封装	级别	VDSS标称值 (V)	R _{DS(on)} 最大值 (mΩ)	最大漏极电流 (DC) (A)	P _{TOT} 最大值 (W)	Q _g 典型值 (nC)	技术
SGT1D5R10MEA	EN-FCLGA 5x6 mm	工业级	100	1.5	474	658	19	增强模式 GaN
SGT3D5R10MEB	EN-FCLGA 3.3x3.3 mm			3.5	201	255	7.6	

注意：2026年二季度末可提供MP样件

电流检测

电流检测放大器是一种差分放大器，可提供与通过其输入端流入负载的电流成比例的模拟输出电压。

在人形机器人应用中，电流检测解决方案可有效防止大功率执行器过热并检测其内部是否存在短路，从而提升系统的安全性与保护能力。此外，这些解决方案还能提供实时的**扭矩控制**和自适应运动反馈。

电流检测功能对**电能计量**应用至关重要；它可以通过精确的功率监测实现电池使用优化，并确保复杂的机器人系统得以可靠运行。

产品编号	封装	级别	最小供电电压 (V)	最大供电电压 (V)	最小共模输入电压 (V)	最大共模输入电压 (V)	带宽 (kHz) (@ -3dB 典型值)	电流检测 (双向)
TSC1801	SOT23-6	车规级	2.0	5.5	0.5	3.5	2100	有
TSC240	SO-8、TSSOP-8	车规级	2.7	5.5	-4	100	560	有
TSC202	MiniSO-8、SO-8	车规级、工业级		18	-16	80	200	无
TSC2020	MiniSO-8、SO-8、TSSOP-8L	车规级、工业级		5.5	-4	100	750	有
TSC2021	MiniSO-8、SO-8、TSSOP-8L	车规级、工业级		5.5	-4	100	750	有
TSC2022	MiniSO-8、SO-8、TSSOP-8L	车规级、工业级		5.5	-4	100	750	有
TSC210	QFN-10L, SC70-6	车规级、工业级		26	-0.3	26	25	有
TSC211	QFN-10L, SC70-6	车规级、工业级		26	-0.3	26	8	有
TSC212	QFN-10L, SC70-6	车规级、工业级		26	-0.3	26	6	有
TSC213	QFN-10L, SC70-6	车规级、工业级		26	-0.3	26	100	有
TSC214	QFN-10L, SC70-6	车规级、工业级		26	-0.3	26	40	有
TSC215	QFN-10L, SC70-6	车规级、工业级		26	-0.3	26	60	有

运算放大器和比较器

在人形机器人应用中，精准的传感、较低的功耗与高速信号调理对实现精确的运动控制和实时决策有着至关重要的意义。意法半导体旗下的一系列运算放大器和比较器产品可以充分满足上述需求。TSZ901和TSB192等器件具备超低的偏移电压与较高的精度水平，可协助电池供电式机器人子系统实现高效运行。TSV794四路高速运算放大器是处理低侧电流检测任务的理想之选，可以在电机应用中协助系统实现扭矩和速度控制。同时，TS3121比较器还可实现快速响应和可靠的阈值检测，这是安全监测与事件触发必不可少的特性。这些组件相辅相成，可以帮助开发人员打造性能更优的模拟前端设计方案，从而提升高级人形机器人的精度、能效与系统可靠性表现。

产品编号	封装	级别	Vcc (V)	带宽 (MHz)	压摆率 (V/us)	Vio (μV)	dVio/dT (μV/°C)	设备类型
TSV794	SO14, TSSOP14	车规级、工业级	2.2至5.5	50	30	200	5	四路运算放大器
TSB192	S08、Mini S08		4至36	8	5	20	0.1	单路运算放大器
TSZ901	SOT23-5		2.5至5.5	10	6	5	0.03	单路运算放大器
TS3121P	SC70-5, SOT23-5		1.7至5.5	-	-	6000	20	带POR的漏极开路比较器

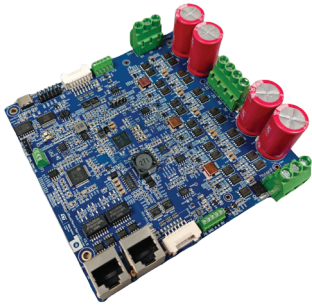
一站式关节电机控制解决方案

STEVAL-ETH001V1 (基于STM32F767ZI、STDRIVE101)



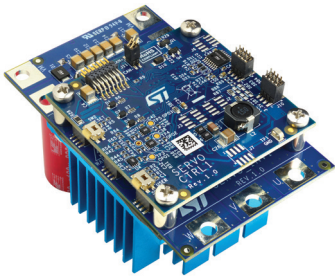
- 700 W/48 V伺服驱动器
- 基于FOC算法的位置控制
- 霍尔传感器接口
- RTE - 采用Hilscher公司的EtherCAT协议栈
- RS-485物理层

STEVAL-DUOSRV1CB (基于STSPIN32G4、STDRIVE101、STL90N10F7)



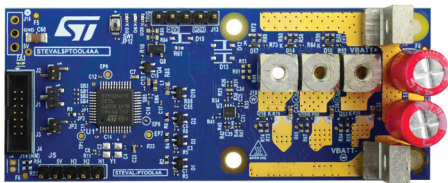
- 1 kW双电机解决方案/48 V伺服驱动器
- 基于FOC算法的位置控制
- 霍尔传感器接口
- 支持CoE协议栈的RTE通信
- CAN物理层

EVL-SERVO1 (基于STSPIN32G4、STL160N10F8)



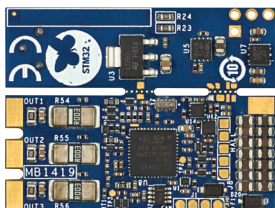
- 专门针对48 V电压进行了优化
- 主动冷却功率可达3 kW，被动冷却功率可达2 kW
- 外部再生制动电阻
- 速度与位置反馈，支持霍尔传感器及增量式/绝对式编码器
- CAN总线通信

STEVAL-PTOOL4A (基于STM32G4、STDRIVE101、STL220N10F7)



- 支持FOC算法，电压可达28 V的电机驱动器板（搭配L7987L时电压可达48 V）
- 可在极低速度下显著提升扭矩的ZeST固件
- 最大电流18 A
- 极低待机功耗
- CAN总线通信

B-G431B-ESC1 (LP)



- 支持FOC算法的24 V电机驱动器板
- 三相电机驱动
- 强制空气冷却条件下的最大电流为40 A
- 外形紧凑

软件与固件

BLDC电机



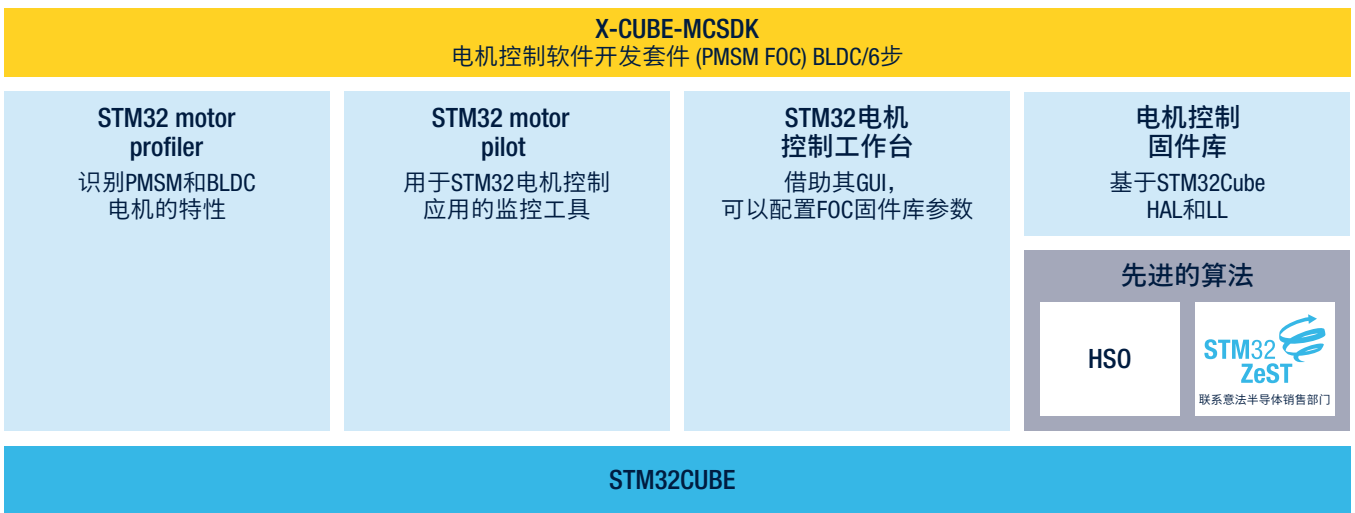
STM32 MC SDK (X-CUBE-MCSDK) 可提供一个完整的电机控制固件包，其中包含了**永磁同步电机 (PMSM) 库**以及支持通过图形界面进行参数配置的**STM32电机控制工作台**。

凭借PC端Workbench软件，设计人员可根据应用需求生成项目文件并初始化固件库，从而大幅简化固件配置过程。控制算法中涉及的变量均支持实时的监控和调整，这一点对于极其重视动态负载条件和精准扭矩控制的人形机器人应用尤为关键。

在实际应用中，该功能可支持：

- 为承受多变机械应力的关节实现**自适应运动调节**
- 进行实时参数调整，确保复杂运动过程中的稳定性
- 高效集成磁场定向控制 (FOC) 策略，确保执行器运行平顺

STM32 MC SDK可以帮助设计人员减少工作量并为其提供实时反馈，使其从容应对人形机器人领域的关键挑战，例如平衡多个执行器的能效和运动精度。



步进电机与有刷直流电机



STSPIN Studio是一款简单易用的软件工具，用于评估采用STSPIN系列器件的**有刷直流电机**和**步进电机**。该工具支持控制多个**步进电机**和**有刷直流电机驱动器评估板**，从而能够简化早期开发工作。

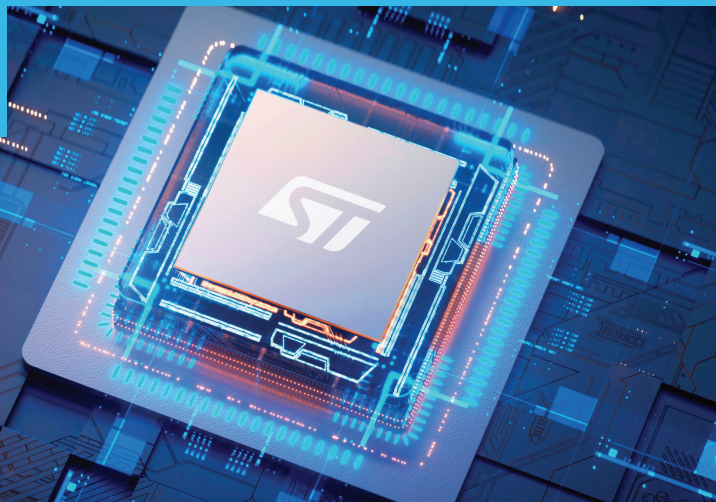
在**人形机器人**应用领域，设计人员通常需要：

- 在进行硬件集成之前，**验证不同负载条件下的电机性能**
- 针对极其重视运动平滑度与扭矩控制的肘部或腕部等关节，**调试其运动曲线**
- 调节影响电池续航与热性能的参数，从而**优化能效**

STSPIN Studio可为工程师提供一个**软件驱动的评估环境**，帮助其**降低原型设计的复杂程度**，并**加快机器人系统的算法开发速度**。



机身主处理单元子系统



简介

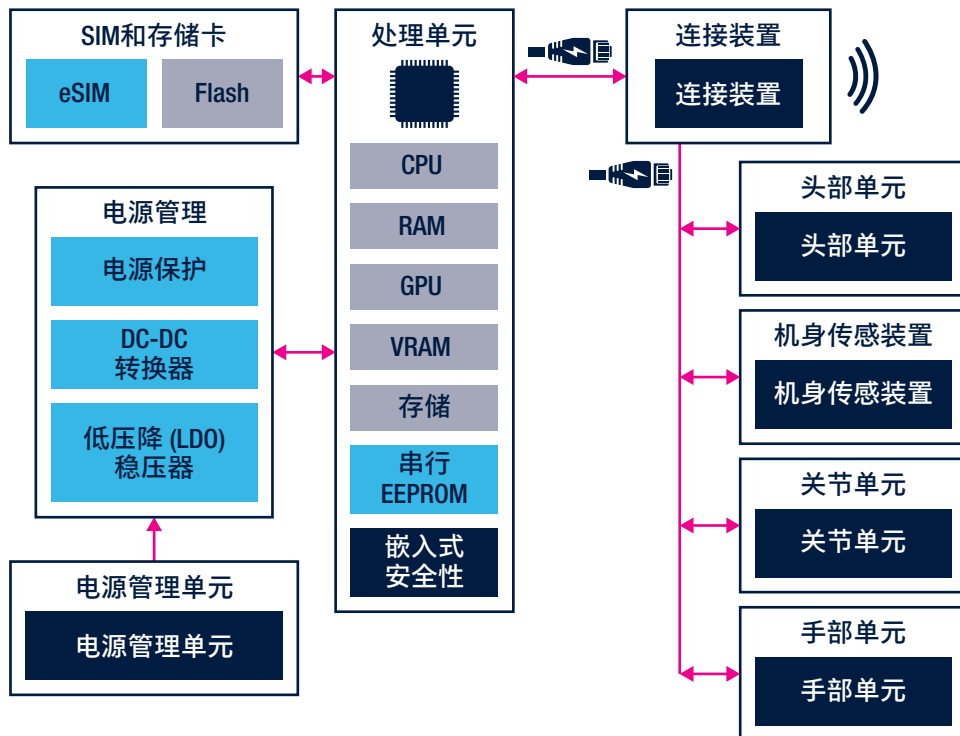
主处理单元是人形机器人的核心控制中枢。该单元内置了高性能微处理器、存储器、安全芯片及嵌入式安全解决方案，旨在处理运动规划、传感器融合与实时决策等复杂任务。

该单元在人形机器人系统中的作用至关重要，且必须能够：

- 以较低延迟协调多个子系统（视觉、运动控制和操作子系统）的运行
- 处理用于实现感知和自适应控制的AI算法
- 确保数据完整性与网络安全，尤其是协作环境中的数据完整性与网络安全
- 支持对传感器与执行器产生的海量数据进行高速存储器访问

意法半导体可提供涵盖存储器、安全芯片和嵌入式安全解决方案的丰富产品组合，帮助设计人员打造兼具高性能与高安全性的先进机器人应用系统。

子系统框图



存储器

EEPROM存储器应用于人形机器人内部，用于存储配置参数、历史数据及后处理结果等各类信息。有关详细的产品编号及相关特性列表，请参见“[核心基础组件](#)”一章。

嵌入式安全

嵌入式安全解决方案在此类应用中的作用至关重要，可将其分布式部署在机器人的不同模块当中。有关意法半导体解决方案的详细信息，请参见“[核心基础组件](#)”一章。

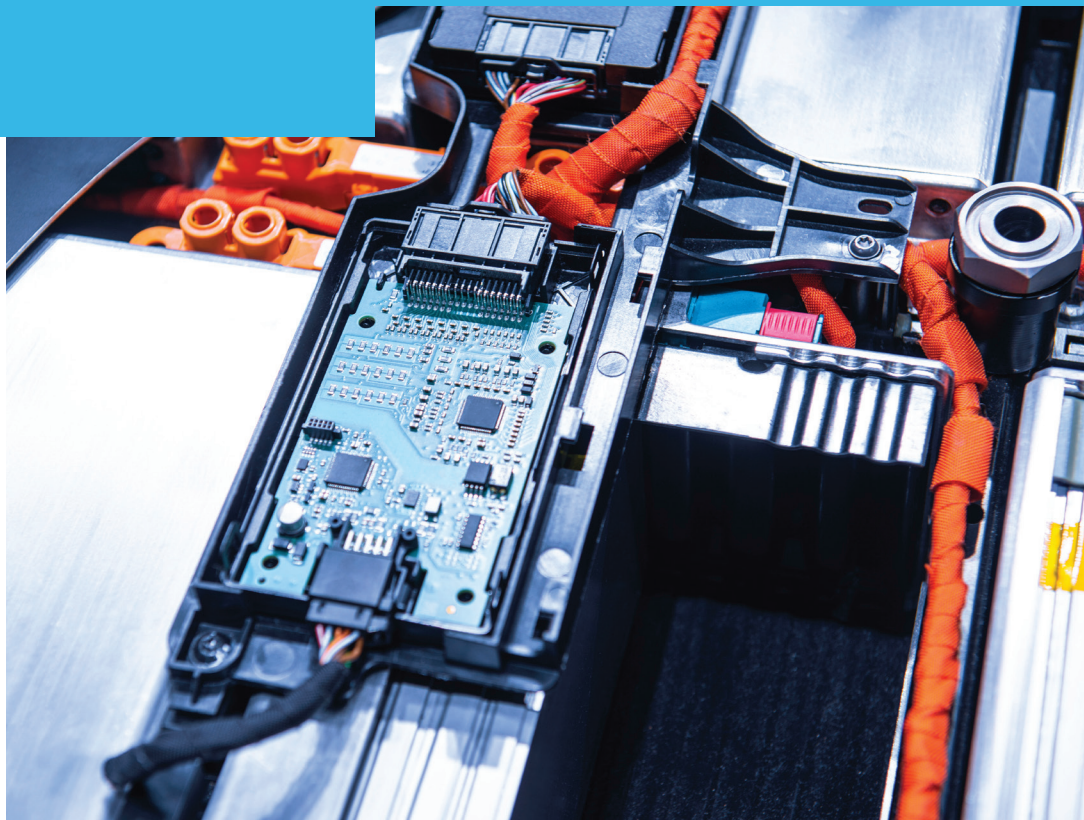
电源管理单元子系统

简介

凭借卓越的技术、较高的集成度与出色的可靠性，意法半导体可为人形机器人领域提供丰富的优质解决方案。其中包括：

- 电压转换器件，可实现电池电源向不同子系统的适配转换。
- 用于稳定电压的稳压器，特别适用于低压逻辑电路。
- 用于监测电流、温度和位置的检测电路。
- 适用于高效电机驱动系统的电源转换组件。
- 电池管理系统器件，用于确保安全执行充放电及电能计量。

这些构建模块对人形机器人至关重要，它们可以在紧凑、可靠的架构中同时满足严格的能效、系统安全与精准控制要求。



子系统框图

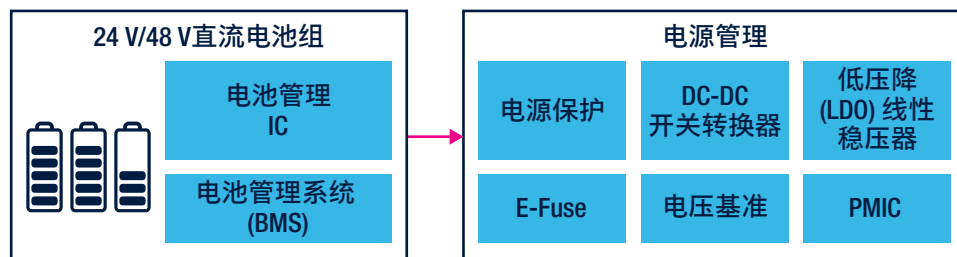
在人形机器人应用领域，**电源管理**是确保各个功能域稳定运行的关键子系统。其架构通常涵盖：

- 一个**集中式主单元**，位于电池组附近，负责系统级的电源分配与状态监测
- 多个**分布式电源管理模块**，部署在机器人的各个部位。这些模块用于处理本地节点任务，例如为传感器、执行器及控制板提供低压基准等等

这种分布式架构可以最大限度减少压降、降低布线复杂度并提升系统容错能力——这对于极度依赖高机动性与高可靠性的机器人系统而言至关重要。

以下是部分实际考量因素：

- 当多个稳压器在空间受限的环境中运行时，热管理的重要性显著提升
- 在高功率域与低功率域之间提供隔离有助于防止敏感控制电路受到噪声干扰
- 模块化设计便于后期维护，并为未来的升级预留了扩展空间



开关转换器和稳压器IC

低压降稳压器

LDO稳压器属于线性稳压器，非常适合在极低的输入-输出电压差（即**压差电压**）下工作。这一特性在人形机器人领域极具价值，可以在严苛的空间限制与热管理要求下满足相关应用对高效功率转换的需求。

主要优势：

- **热耗散更低：**较低的压差电压可将转化为热量的功率损耗降至最低，从而优化热管理。
- **转换效率高：**当输入电压与输出电压接近时尤其如此
- **设计简洁：**几乎不需要外部组件，系统集成简单直接
- **成本效益高：**堪称低电流应用（通常低于几安培）的理想选择

最佳应用场景：

- 当输出电压接近输入电压时，可避免不必要的能源浪费
- 适合在机器人肢体或传感器集群内的分布式电源管理系统中生成本地低压基准

虽然LDO在此类场景中表现优异，但它不太适合大电流负载或大压差应用——此时开关稳压器的能效表现更佳。

产品编号	封装	级别	最大直流输入电压 (V)	标称输出电压 (V)	标称输出电流 (A)	可调稳压输出电压	标称压差电压 (V)
LDLN025	Flip-Chip4、DFN4 1x1、SOT23-5L	工业级	5.5	1.2至5	0.25	无	0.25
LDH40MRY	DFN 2x2 6L、SOT23 5L、SOT23 5L、DFN 6L	车规级	40	1.2至22	0.2	有	0.7

DC-DC转换器

在人形机器人应用领域，电源管理单元 (PMU) 是一个关键组件，其中集成的DC-DC转换器可以有效优化能源利用率。此类转换器对于将各种子系统（包括电机驱动器、通信模块和高级处理单元）的电压维持在稳定水平必不可少。凭借高效的DC-DC转换器，PMU可以确保机器人在不同负载条件下可靠运行，在延长电池寿命的同时，使整体性能得到提升。此外，这些转换器采用的紧凑型设计便于将其无缝集成到人形机器人有限的空间中，而其较高的开关频率有助于减少电磁干扰 (EMI)，并确保敏感电子元件平稳运行。

意法半导体产品组合中包含了多款专为满足多样化的市场需求和电源管理需求的高度专业化产品。其中包括可靠性与稳健性出色的工业和汽车应用高压技术，以及专为消费类应用量身定制的紧凑型高效解决方案。

产品编号	封装	级别	输入电压 (V) 最小值	输入电压 (V) 最大值	稳压输出电压 (V) 最小值	稳压输出电压 (V) 最大值	最大输出电流 (A)	同步整流	稳压器开关频率 (kHz) 典型值
L3751	QFN 3.5x4.5x1.0 20L间距0.50	工业级	6	75	0.8	60	-	有	400
DCP0606Y	POA FCQFN 2x3x0.9 11L	车规级	-0.3	6.5	-	-	6	-	-
DCP360x	SOT23-6L	工业级	3.3	36	0.85	-	3	有	500、1000

多输出控制器IC

对人形机器人应用而言，较高的配电效率是一项基本要求，所涉及到的紧凑型设计、散热限制和动态负载条件使系统架构面临着艰巨的挑战。多输出电源管理集成电路 (PMIC) 可在维持较高性能水平的同时，通过减少组件数量和优化系统整体尺寸来有效应对这些挑战。

意法半导体多输出PMIC解决方案采用了先进的电源技术，可助您打造**高效和经济的架构**。这些器件集成了低压差线性稳压器 (LDO) 和高效DC-DC转换器，可确保在各种工作条件下提供出色的瞬态响应和精准的输出电压调节。对融合了视觉处理、运动控制和传感器阵列等异构子系统的机器人平台而言，上述特性至关重要。

值得一提的是，**STPMIC07M、STPMIC06和STPMIC02**系列产品专门面向机器人系统内部的存储与嵌入式应用。这些产品配备了多种保护机制、多个稳压器以及丰富的多功能接口，可为复杂的设计提供可靠且可扩展的电力传输方案。

以下是一些关键的工程考量因素：

- **元器件精简**：将多个电源轨整合在一起可以降低PCB的复杂程度并减少潜在故障点
- **热效率**：较高的转换效率能够有效缓解热量堆积，这对封闭式机器人组件至关重要
- **设计灵活性**：多输出配置便于为各种功能模块提供定制化的电压域

借助此类PMIC架构，设计人员能够打造出结构紧凑且能效较高的人形机器人，以满足在多变且严苛的工作负载下持久运行的需求。

产品编号	封装	标称输出数量	最小输入电压 (V)	最大输入电压 (V)	标称最大输出电流 (A)	最大稳压输出电压 (V)	标称效率 (%)	级别	同步整流
STPMIC2L	VFQFPN40L 5x5x1	10	2.8	5.5	2	3.3	80	工业级	有
STPMIC1	WFQFN 44L 5x6x0.8间距0.4	14	2.8	5.5	2	3.9	95		有
STPMIC1L	VFQFPN 28 4x4x1.0	-	2.8	5.5	-	-	-		-
STPMIC25	VQFN6.5x6.5x0.9 56L间距0.40	-	2.8	5.5	-	-	95		有

半桥GaN驱动器

STDRIVE GaN栅极驱动器系列中包含了专为增强模式GaN FET或N沟道功率MOSFET设计的半桥栅极驱动器。这些器件可以确保高性能功率转换系统高效、可靠地运行。

高侧部分经过专门设计，可承受高达**600 V**的电压，适合最高总线电压为**500 V**的应用场景。其架构可通过以下特性为驱动高速GaN与Si FET提供支持：

- **较高的电流承载能力**，支持快速开关操作
- **较短的传播延时**，可在很大程度上减少时序损耗
- 支持低至**5 V**的供电电压，可以提升设计灵活性

这些驱动器融合了以下特性：

- 高边与低边级均具备**UVLO 保护**，有效防止系统在低效率或不安全的工况下运行
- 具备**互锁功能**，避免功率开关之间发生交叉导通
- **兼容CMOS/TTL的逻辑输入**电压低至**3.3 V**，有助于简化与微控制器和DSP之间的接口设计

STDRIVE器件非常适合机器人等需要紧凑型高速开关解决方案的先进电力电子应用领域。

产品编号	封装	最大供电电压 (VDD) (V)	标称保护选项类型	功率开关类型 (外部)	欠压锁定 (V) (@ V _{CC} 0N) 标称值	欠压锁定 (V) (@ V _{CC} 0FF) 标称值	级别
STDRIVEG210	QFN-18L	18	欠压锁定、互锁功能、过温保护	GaN	8.5	8	工业级
STDRIVEG211			比较器、智能关断、欠压锁定、互锁功能、过温保护		10	9.5	

电池管理

电池管理集成电路 (IC) 能够在确保运行安全的同时，有效提升包括先进机器人在内的电池供电设备的续航能力。这些解决方案可通过精准测量**电压、电流和温度**来执行关键监测功能，从而确定单个电池及电池组的精确荷电状态。

除了优化能耗之外，电池管理IC还采用了多种**安全机制**，可在运行或充电期间温度超过阈值时断开电源。这能有效防止出现热失控等危险情况，并确保系统符合严苛的可靠性标准。

以下是一些关键的功能特性：

- 通过精确的检测与校准来确保**荷电状态精度**
- 通过**热保护**来保障极端条件下的电芯安全
- 通过**能耗控制**实现均衡的充放电循环

人形机器人必须具备上述能力，原因是不间断的电力传输和系统完整性会直接影响到机器人的运动能力、运行性能和用户安全。

产品编号	一般描述	封装	最低工作温度 (°C)	最高工作温度 (°C)	最小供电电压 (VDD) (V)	最大供电电压 (VDD) (V)
L99BM114	多电池监控与均衡IC	TQFP 64 10x10x1.0	105	8.5	8	工业级

保护功能

ESD保护

在人形机器人应用中，复杂的电子系统通常需要在易积累静电的环境中运行；因此，为传感器集线器、电机控制器和AI计算板等关键节点部署ESD保护至关重要。意法半导体的ESD保护器件符合**IEC 61000-4-2标准**，可有效防止静电事件干扰系统性能或损坏敏感组件。

此类器件最初的设计目标是达到车规级可靠性，它们所具备的各类特性同样能够对机器人起到至关重要的作用。较低的钳位电压可以确保在ESD冲击期间有效散热，从而减轻处理器和传感器的压力。较低的漏电流有助于维持低功耗子系统的电源完整性，而超低电容和超宽带宽则有助于维持视觉系统和通信总线等高速接口的信号完整性。

产品编号	概述	封装	方向性	击穿电压 (V) 最小值	电容 (pF) (@ 0V, I/O接地) 典型值	IEC 61000-4-2 (kV) (接触放电) 最小值	钳位电压 (V) (@ TLP 16A) 典型值
ESD051-1BF4	汽车级单线5 V TVS, 采用SOD323封装	SOD323	单向	6.2	190	30	-
ESDA051-1JY	4线ESD保护, 14.2 V VBR, SOT666封装	SOT666	双向	14.2	25	8	-
ESDA14V2BP6	车规级双线12 V TVS, 采用SOT23-3L封装	SOT23-3L	单向	14.2	90	30	-
ESDA14V2LY	Quad Transil™阵列, 用于ESD保护	SOT23-6L	单向	14.2	100	30	-
ESDA14V2SC6	汽车级双线单向12 V ESD保护, 采用SOT323封装	SOT323	单向	14.2	125	30	17.5
ESDA18WY	Quad Transil™阵列, 用于ESD保护	SOT23-6L	单向	19	80	30	-
ESDA19SC6	4线ESD保护, 25 V VBR, SOT666封装	SOT666	双向	25	22	8	-
ESDA25-4BP6	车规级双线24 V TVS, 采用SOT23-3L封装	SOT23-3L	单向	25	50	30	-
ESDA37WY	低钳位单线单向ESD保护	ST0201	单向	5.8	110	30	-
ESDAxxxWx	车规级双线TVS, 采用SOT23-3L封装用于CAN总线 (12 V系统)	SOT23-3L	双向	25	25	30	-
ESDCAN01-2BLY	车规级双线TVS, 采用SOT323-3L封装用于CAN总线 (12 V系统)	SOT323	双向	28.5	3	30	-
ESDCAN02-2BWY	车规级双线TVS, 采用SOT323-3L封装用于CAN总线 (24 V系统)	SOT323	双向	39	3	30	-
ESDCAN05-2BWY	车规级双线TVS, 采用SOT23-3L封装用于CAN总线 (24 V系统)	SOT-23	双向	38	13	30	-

eFuse

和需要熔断导体的传统保险丝不同，eFuse可通过钳位输出电压或限制电流对故障做出快速、智能的响应。该方案可有效防止负载和电源受损，并避免在瞬态条件下发生错误触发。在直流母线应用中，eFuse能够最大限度降低负载故障引起的压降，避免同一母线上的其他器件受到欠压的影响。eFuse不会破坏其通道元件，可以通过循环供电或自动重试来复位，因而能够最大限度延长设备正常运行时间并降低维护成本。eFuse还可通过控制输出电压的上升速率来实现热插拔操作，并在连接多个负载时限制浪涌电流并保护电源。此外，eFuse提供了多个灵活的配置选项，允许用户设置电流限制、启动时间、欠压锁定、输出钳位电平和工作模式，以满足特定的应用需求。

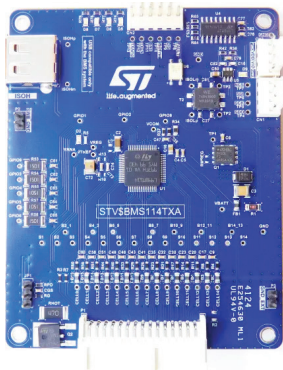
产品编号	封装	级别	Vcc (V)	工作电压 (V)	诊断功能	外设接口
STEF12H60M	QFN 5x5	工业级	5至18	12	可编程软启动、过流、过温、极速短路保护	无
STEF12H60G						
VNFD1248	QFN 5x5x0.9	车规级	6至70	12/24/48	2t曲线、过压、欠压、短路、过温、紧急停止、跛行回家、低功耗待机模式	SPI
STEF4848H28*	QFN42L 7x7 mm	车规级	9至80	工业级	过流、热保护、温度监测	-

注意：* 如需查看产品预览，请登陆：www.st.com

配置	产品	发布渠道	封装	电流限值 (A)	关断峰值电流 (A)	每通道导通电阻 (mΩ)	工作电压 (V)
栅极控制器	VNF1048F	1	QFN 5x5	内部限制	-	外部MOSFET	6至70
	VNF1248F	1		内部限制	-	外部MOSFET	6至70
集成解决方案	VNF9D5F	2	QFN 6x6	75.0	-	5.9	4至28
	VNF9Q20F	4		34.5	-	21.5	4至28
	VNF9D1M2Q	2	PQFN 7x8.5	-	145	1.2	4至28
	VNF9D1M5Q	2		-	120	1.5	4至28
	VNF9D3Q	2		-	70.0	3.0	4至28

一站式解决方案

STEVAL-BMS114TX (支持产品: L99BM114 电池监控IC、L99BM1T SPI收发器)



- 支持管理4至14个电池单元
- 监控单个电池单元和整个电池节点的电压
- 整个电池节点的电流检测
- 电池单元与电池节点的状态检查
- 支持与远程MCU通信以获取SOH和SoC状态
- 被动均衡

连接装置子系统

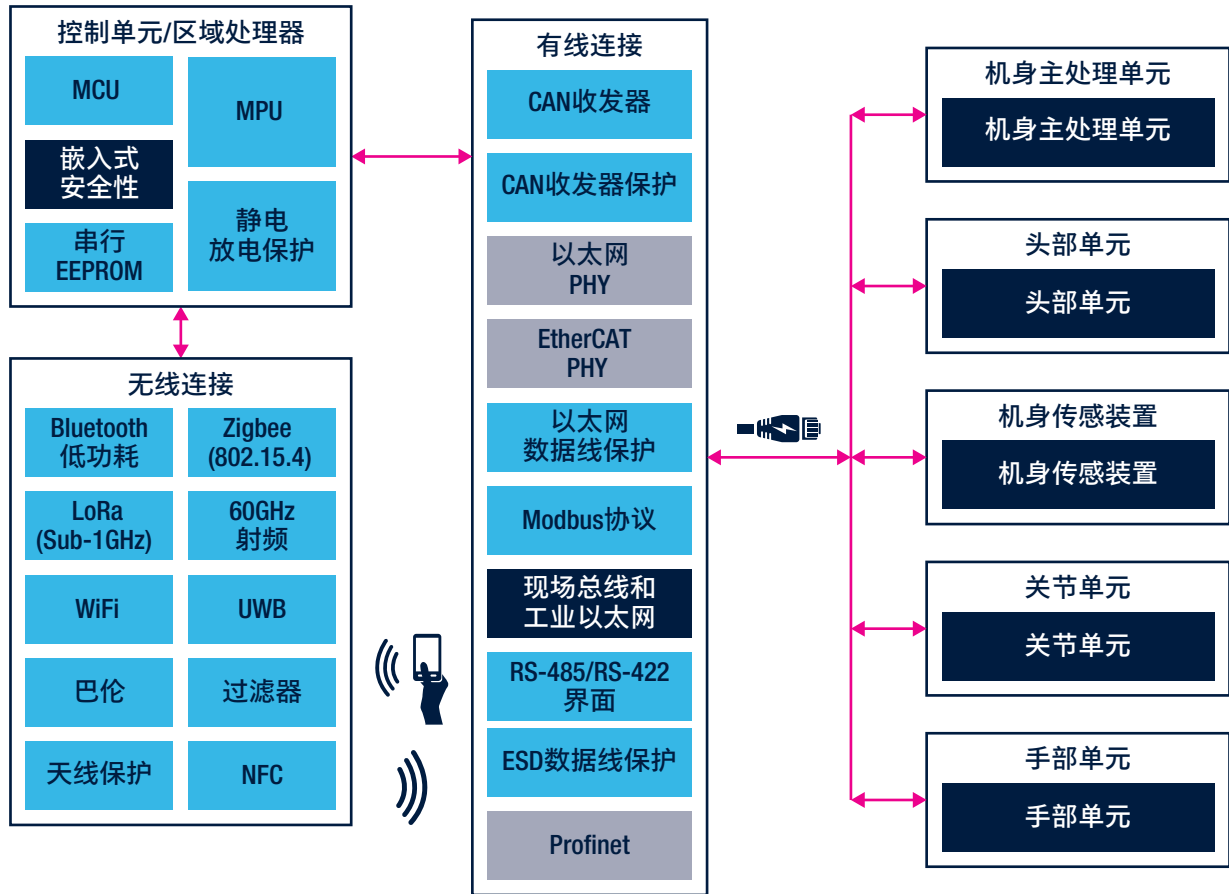


简介

连接技术旨在实现传感器、执行器与控制单元之间的无缝通信，是人形机器人应用的基础。意法半导体可通过专用IC和嵌入式模块，打造全方位的有线与无线连接解决方案。

这些连接方案能够使人形机器人保持高效的内部通信，同时支持构建用于控制、数据交换和系统更新的外部接口，以确保实现先进机器人架构所需的灵活性与可扩展性。

子系统框图



控制单元与区域处理器

该模块主要代表离域控制单元，其内部集成了微控制器、微处理器、存储器及其他器件。

有关MPU、存储器和嵌入式安全解决方案，“**核心基础组件**”一章中将按照具体产品编号予以详细介绍和说明。

有线连接

意法半导体可从硬件和软件两个层面，为系统解决方案提供全面的有线连接支持。

在硬件层面，意法半导体可提供专门用于实现稳健的工业通信和高速数据传输的微控制器与收发器。在以太网物理层领域，意法半导体正在与开发EtherCAT支持硬件的合作伙伴积极开展合作。

在软件层面，意法半导体及其合作伙伴能够就EtherCAT、基于EtherCAT的功能安全以及CANopen协议提供相关支持。这些解决方案将助您实现可靠且安全的工业自动化。

有关合作伙伴计划的更多详细信息，请访问意法半导体网站链接 <https://www.st.com/zh/partner-products-and-services.html>

RS-485

ST4E1216、ST4E1240和STR485系列均为低功耗差分线路收发器，专门适用于半双工模式下的现代RS-485应用。这些收发器兼容3.3 V和5 V电源（STR485系列具备1.8 V I/O能力），可提供稳健的性能、理想的数据速率和出色的ESD保护。它们是长距离电缆多点应用的理想之选，能够在复杂的环境中确保实现可靠的数据传输。

产品编号	封装	标称输出数量	最小输入电压 (V)	同步整流
ST4E1240	S08、DFN8	3至5.5	40	半双工
ST4E1216	S08		16	
ST4E1650F	DFN10	3至3.6	50	全双工
ST4E165xF	S014			
ST4E1650	S08、DFN8、MSOP8	3至5.5		半双工

无线连接

意法半导体可通过专门的产品和嵌入式解决方案提供无线连接能力，具体涵盖NFC、Bluetooth®低功耗 (LE) 和Wi-Fi等技术。NFC功能可在分立标签以及连接至STM32控制器的动态标签和读卡器的协助下实现，适用于门禁控制、配件识别和参数设置等应用。

Bluetooth®低功耗功能可通过专用模块以及微控制器内置方案实现，可为各类外设提供低功耗的短距离通信能力。意法半导体通过专用模块来支持Wi-Fi连接，为远程监控、设备诊断和云集成等应用场景提供高带宽数据传输能力。

ST25 NFC标签与读卡器

NFC技术提供了一种简单的零功耗解决方案，无论用户、配件及模块处于人形机器人平台中的哪个位置，均可轻松将其识别。ST25系列NFC标签、动态标签与读卡器能够为人形机器人提供直观的非接触式接口；该接口可用于通信、配件识别与参数设置，并可兼容各类支持NFC功能的智能手机或专用NFC读卡器。

- **针对各种门体、面板、工具柜或扩展坞的访问管理：**将凭证存储在ST25标签中，通过连接至STM32控制器的ST25读卡器对其进行验证，从而为维护人员或操作人员授予临时的或基于角色的访问权限。
- **配件识别与自动配置：**借助基于紧凑型ST25标签与动态标签的配件识别功能，识别每个附件并自动加载匹配的参数（如运动学限制、安全阈值或通信设置），从而有效缩短系统设置时间。
- **非接触式参数设置与包装内配置：**凭借ST25动态标签的快速传输模式、低功耗运行和能量采集功能，用户无需为产品拆箱或为系统上电，即可实现控制板的个性化定制、调整配置寄存器或上传新的校准数据。

产品编号	封装	同步整流
ST25TN01K	NFC Forum Type 2标签IC	ISO14443A
ST25TV02KC	NFC Type 5/RFID标签IC	ISO15693
ST25DV64KC	动态NFC/RFID标签IC	ISO15693
ST25R200	通用NFC读卡器	ISO14443A/B、ISO15693
ST25RN300	NCI读卡器/NFC控制器	ISO14443A/B、ISO15693、FeliCa

ST25产品组合提供了一套完整的生态系统（包括基于STM32的探索套件、即用型Nucleo扩展板、软件工具以及移动应用程序），可将NFC技术轻松集成至任何机器人连接子系统。

60 GHz高速射频收发器

ST60系列提供了多款在60 GHz V波段运行的非接触式连接解决方案，可为结构紧凑且对功耗极其敏感的应用场景提供高速无线数据传输能力。这些收发器在标准配置下即可支持低速及480 Mbps的通信速率，又可支持峰值6.25 Gbps的传输速率，能够以极低的功耗提供同类产品中更为出色的性能表现。

ST60型号可用于移动应用和嵌入式系统，其主要特性包括：

- 外形小巧，适合空间受限的设计方案
- 物料成本经过优化，可显著降低系统复杂度与相关成本
- 低功耗运行，这一点对电池供电设备尤为重要
- 兼容SerDes, EtherCAT, CAN-FS, MIPI, USB, UART, GPIO及I²C等多种协议，可确保跨多种架构进行灵活集成

其创新型架构兼具高速射频性能和简单易用的特性，使设计人员能够在不影响数据吞吐量或可靠性的前提下，打造出高效、紧凑的解决方案。



典型应用

- 机器人转轴关节，解决行业痛点
- 非接触式测试工厂自动化及售后服务
- 全天候防护无孔个人设备
- 非接触式配件
- 非接触式个人设备扩展坞与数据传输

产品编号	封装	最高工作温度 (°C)	最低工作温度 (°C)
ST60A2	VFBGA 25 2.2x2.2x0.8 P 0.4 mm	104	-40

低功耗Wi-Fi 6与Bluetooth LE组合协处理器模块

这种一体化设计可显著降低成本并提升性能，是需要采用单芯片方案的物联网边缘设备的理想选择。ST67W611M1可作为一个物联网连接收发器运行，并由外部主控STM32 MCU管理应用程序。

ST67W611M1集成了：

- 一个PCB天线（-B版本）、一个用于外接天线的射频连接器（-U版本），或带有专用射频引脚的版本，通常用于支持带外接射频开关的多天线实现方案
- 4 MB NOR Flash存储器
- 40 MHz高精度石英晶体，可优化射频性能
- 集成SMPS功能及关联物料清单 (BOM)
- 所有必要的分立元件，用以减少整体板级BOM成本
- 通过SPI建立的数据接口
- 32,768 Hz内部振荡器。对于低功耗用例，提供了两个引脚以使用32,768Hz石英振荡器。其中一个引脚还可用于接收来自主机处理器的精确32,768 Hz信号

这种集成组件与灵活配置的有机结合，使ST67W611M1成为了对能效、可靠性与空间优化要求极高的物联网系统的可靠解决方案。



产品编号	Wi-Fi版本	无线接口	天线	最大工作电压 (V)	最大输出功率 (dBm)	频率范围 (GHz)	通信协议
ST67W611M1	6	Bluetooth LE、Wi-Fi	集成天线、UFL连接器	3.63	20	2.4-2.5	802.11 b/g/n/ax、Bluetooth LE、TCP/IP

蓝牙低功耗2.4 GHz连接

蓝牙低功耗 (BLE) 规范可凭借其时序约束，为无线设备提供低功耗射频连接；这一点对人形机器人应用很有价值，因为高效率对于延长机器人的连续运行时间具有重要意义。

可将软件开发套件中提供的基于BlueNRG SoC射频底层驱动程序2.4 GHz专用射频示例，用作机器人系统内需要精确通信和快速数据传输的应用的参考。

产品编号	封装	最大工作电压 (V)	内部Flash存储器大小标称值 (KB)	内部RAM大小标称值 (KB)	接收灵敏度典型值 (dBm)	最大输出功率 (dBm)
BlueNRG-1	VFQFPN 32 5x5x1.0 mm、VFQFPN 5x5x1.0 32L WET FLK、WLCSP MSL1	3.6	160	24	-88	8
BlueNRG-2	VFQFPN 32 5x5x1.0 mm、VFQFPN 48 6x6x0.9 mm、VFQFPN 5x5x1.0 32L WET FLK、VFQFPN 6x6x0.85 48L P0.4 WF、WLCSP MSL1		256	24	-88	8
BlueNRG-M2	BLUENRG-2 MODULE QFN、PCB ANT；BLUENRG-2 MODULE QFN、CHIP ANT		256	24	-85	7
BlueNRG-2N	VFQFPN 32 5x5x1.0 mm、VFQFPN 5x5x1.0 32L WET FLK、WLCSP MSL1		-	-	-88	8

Bluetooth®低功耗应用处理器

意法半导体可提供品类齐全的Bluetooth®低功耗 (LE) 微控制器系列产品，以满足各种应用需求：

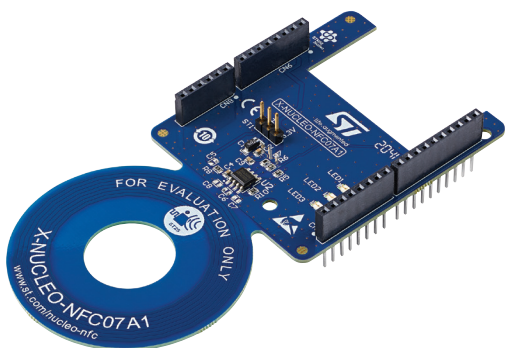
- 入门级和成本敏感型设计
 - STM32WB0系列：**专门用于实现基础连接功能，并针对经济性进行了优化
- 灵活的高性能解决方案
 - STM32WB和STM32WBA系列：**可提供先进的处理能力与出色的应用灵活性

除了微控制器之外，意法半导体产品组合中还包含了Bluetooth®低功耗应用处理器，既可为用户提供优化了模块化设计性能的网络处理器和应用处理器，又可为其提供将两者功能合而为一以简化系统集成的一体化解决方案。该系列产品提供了包括QFN32和BGA121在内的多种封装选项，以满足不同的尺寸和功能集需求。

产品编号	封装	待机电流 (μA) 典型值	接收灵敏度 (dBm) 典型值	输出功率 (dBm) 最大值
STM32WB05KZ	VFQFPN 32 5x5x1.0 mm	0.64	-104	8
STM32WB05TZ	WLCSP MSL1	0.64	-104	8
STM32WB06CC	VFQFPN 48 6x6x0.9 mm、WLCSP MSL1	0.64	-104	8
STM32WB09KE	VFQFPN 32 5x5x1.0 mm	0.64	-104	8
STM32WB15CC	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm、WLCSP 49 3.3x3.4x0.6 P 0.4 mm	0.6	-96	6
STM32WB30CE	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	0.7	-100	4
STM32WB35CE	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	0.6	-100	6
STM32WB50CG	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	0.7	-100	4
STM32WB55CC	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	0.6	-100	6
STM32WB55CG	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	0.6	-100	6
STM32WB55VG	UFBGA 129 7x7x0.6 P 0.5 mm、WLCSP 100 4.4x4.4x0.6 P 0.4 mm	0.6	-100	6
STM32WB55VY	WLCSP 100 4.4x4.4x0.6 P 0.4 mm	0.6	-100	6
STM32WB5MMG	SIP LGA 86 7.3x11x1.342 mm	0.25	-100	6
STM32WBA50KG	UFQFPN 32 5x5x0.55 mm	-	-96	10
STM32WBA55CE	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	-	-96	10
STM32WBA55CG	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	-	-96	10
STM32WBA55HG	WLCSP 41 3x2.8x0.47 P 0.40 mm	-	-96	10
STM32WBA5MMG	SIP LGA 76 8x12.5x1.372 mm	-	-96	10
STM32WBA62CG	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	-	-96	10
STM32WBA62MG	WLCSP 88 3.8x3.5x0.47 P 0.35 mm	-	-96	10
STM32WBA62MI	WLCSP 88 3.8x3.5x0.47 P 0.35 mm	-	-96	10
STM32WBA63CG	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	-	-96	10
STM32WBA63CI	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	-	-96	10
STM32WBA64CG	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	-	-96	10
STM32WBA64CI	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	-	-96	10
STM32WBA65CG	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	-	-96	10
STM32WBA65CI	UFQFPN 48 7x7x0.55 mm	-	-96	10
STM32WBA65MI	WLCSP 88 3.8x3.5x0.47 P 0.35 mm	-	-96	10
STM32WBA65RG	VFQFPN 68 8x8x1.0 mm	-	-96	10

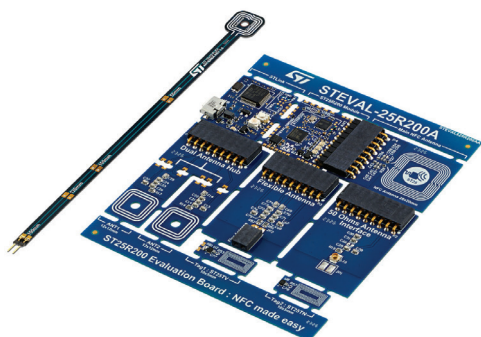
一站式解决方案

X-NUCLEO-NFC07A1



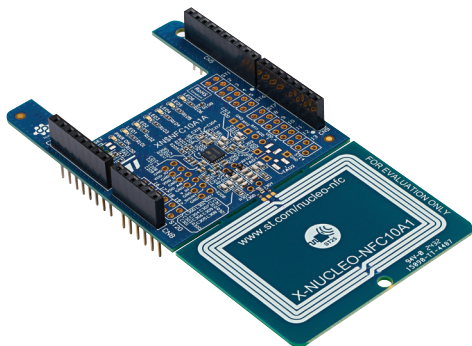
基于ST25DV64KC的STM32 Nucleo扩展板。

STEVAL-25R200SA



ST25R200探索套件，蚀刻在PCB上的五根13.56 MHz感应天线及相关调谐电路。

X-NUCLEO-NFC10A1



基于ST25R200的STM32 Nucleo扩展板。
ISO/IEC 14443 Type A/B和ISO/IEC 15693射频通信协议。

头部单元子系统



简介

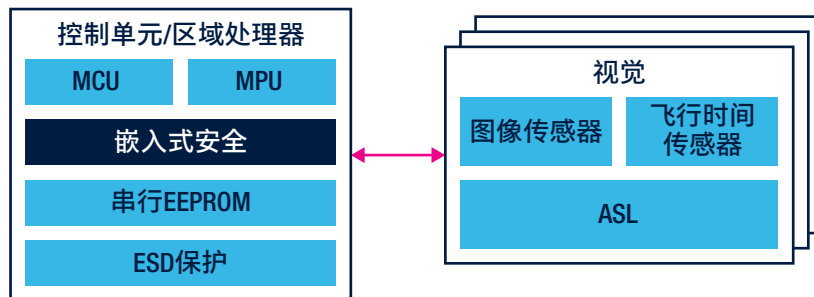
视觉架构与人工智能 (AI) 的深度融合是人形机器人领域的重大突破。视觉系统可以凭借先进的图像处理与传感器融合技术，协助机器人感知和解析复杂的周围环境。在融入AI技术之后，该系统可以实现实时的视觉数据分析、物体识别与自主决策，从而大幅提升人形机器人与动态环境的交互能力。

这种技术的融合不仅提升了机器人的自主性，而且进一步拓展了机器人的实际应用场景：例如在医疗健康领域，可以协助进行病患监护与康复训练；在工业制造领域，可以助力完成协作装配与质量检测；在客户服务领域，可以为零售与酒店业提供顾客互动体验。

将视觉系统与AI算法深度融合，可以实现物体识别与分类、手势与人脸识别以及避障导航等重要功能。这些功能的实现需要依靠连续不断的数据采集和解析，这样才能适应复杂多变的真实物理环境。

为了获得可靠的感知能力，人形机器人需要集成多种传感器技术以及功能强大的数据处理平台。图像传感器能够捕捉无运动模糊的高速图像，而3D深度传感器则能够提供空间感知和精确的距离测量能力。接近传感器有助于防止碰撞；环境光传感器可确保系统在复杂光照条件下保持稳定性能；STM32N6微控制器负责采集和处理数据，并通过AI算法为人形机器人提供类人感知能力。这些组件分布在机器人的不同部位（包括头部、躯干和四肢），以确保其具备全方位的环境感知能力。

子系统框图



ALS与ToF

环境光传感器 (ALS) 对于维持一致的视觉感知性能至关重要。该传感器可与前后摄像头协同工作，在评估光源、优化白平衡的同时，提供频闪补偿。对人形机器人而言，这样可以确保在多变的照明环境下为其提供**稳定的图像处理能力**，而这项能力对于精准的物体识别、手势解析和安全导航来说都必不可少。

飞行时间 (ToF) 传感器可以提供精确的距离和深度测量，使机器人能够检测障碍物、规划无碰撞路径，并与人类进行安全交互。该传感器集成了多个先进的组件，例如用于结构光投影的**VCSEL发射器**，以及用于光子级探测的SPAD阵列。传感器采用了超低功耗架构，可在不牺牲能效的前提下提供连续深度感知能力——这一点对于需要长时间运行的移动机器人十分关键。

高分辨率3D ToF摄像头可通过生成高精度的深度图来实现复杂的环境建模、姿态估计、手势和微小物体识别，从而使上述能力得到进一步的提升。这些特性是人形机器人在动态场景中执行任务的基础；在此类场景中，精准感知人员的存在和移动状况是确保人机协作与安全的关键。

除了提供基本测距功能，现代传感器还能助力实现**场景理解**与自适应视觉能力。触控对焦和动态对焦调节等功能能够帮助机器人实时优化感知性能，从而提升其解析复杂环境并做出精准响应的能力。

对人形机器人的主要影响：

- **可应对多变光照条件的可靠视觉性能**，确保实现精准的识别与导航
- **准确的空间感知**，帮助机器人实现安全行走与避障
- **人体姿态与手势检测**，赋能自然人机交互
- **高能效的深度感知**，有效延长机器人自主运行时间
- **精准的检查与测量**

ToF的主要优势		CMOS图像传感器的主要优势			ALS的主要优势		
支持高分辨率3D深度感知与测量，且产品集成在紧凑的一体化模块中		利用高分辨率、高灵敏度、低功耗的微型图像传感器，实现计算机视觉功能			通过精确的照度和色温计算以及频闪去除功能，提升机器人视觉能力		
单点自动对焦辅助 触控对焦	用户交互与安全	捕捉图像 以录制视频	识别特征	检查与测量零件	测量光线和 颜色信息	适应 显示设置	消除 频闪效应

3D深度与dToF测量以及环境建模

意法半导体可以专门面向机器人与自动化领域的高精度深度测量及成像应用提供品类齐全的**直接飞行时间 (dToF)** 与**3D深度感知** 解决方案组合。

dToF技术可通过计算光脉冲到达物体并折返所需的时间，为人形机器人和工业机器人提供精准的测距能力，从而满足**导航**、**避障** 以及**环境建模**等复杂的任务需求。

在此基础上，意法半导体的3D深度感知产品还能够捕获目标物体及周围环境的详细三维特征。上述能力可为**物体检测**、**手势识别** 和**场景理解**功能提供支持，对于动态环境下的人机交互与自主决策具有至关重要的意义。

这些解决方案将先进的光学组件与高效的处理架构相结合，可为精度、速度与适应性要求极高的机器人应用提供高度可靠的性能表现。

产品编号	概述	最大工作测距 (m)	FOV (°) (对角线)	最小供电电压 (VDD) (V)	最大供电电压 (VDD) (V)	区域数	级别	超低功耗
VL53L9CX*	面向消费级市场的3D dToF一体化激光雷达模块，内置片上处理功能	9	HxV 55°x42°	2.8	4.8	2.3 K	工业级	有
VD55H1	低功耗、低噪声3D iToF 0.5 Mpix传感器晶片	5	65	1.1	5	-	工业级	-

注意：* 2026年第一季度上市

dToF模块

产品编号	概述	最大工作测距 (m)	FOV (°) (对角线)	最小供电电压 (VDD) (V)	最大供电电压 (VDD) (V)	区域数	级别	超低功耗
VL53L0CX	飞行时间 (ToF) 测距传感器	2	25	2.6	3.5	1	工业级	无
VL53L1CB	飞行时间 (ToF) 长距离测距传感器, 具有高级多区域和多目标检测功能	8	27	2.6	3.5	2x2		有
VL53L1CX	飞行时间 (ToF) 测距传感器 基于意法半导体的FlightSense技术	4	27	2.6	3.5	1		有
VL53L3CX	飞行时间 (ToF) 测距传感器 支持多目标检测	5	25	2.6	3.5	1		有
VL53L5CX	具有宽视野的飞行时间 (ToF) 8x8多区域测距传感器	4	65	1.8	3.3	8x8		无
VL53L7CH	具有90度视场的飞行时间 (ToF) 8x8多区域传感器, 支持人工智能	3.5	90	1.8	3.3	8x8		有
VL53L7CX	具有90度视场的飞行时间 (ToF) 8x8多区域测距传感器	3.5	90	1.8	3.3	8x8		无
VL53L8CH	高性能8x8多区域飞行时间 (ToF) 传感器, 助力人工智能	4	65	1.8	3.3	8x8		无
VL53L8CX	低功耗高性能8x8多区域飞行时间 (ToF) 传感器	4	65	1.8	3.3	8x8		无

2D图像传感器

为了实现高分辨率成像以及和各种先进系统的高效集成, 意法半导体推出了一系列**2D CMOS图像传感器**。这些摄像头具有精确的图像采集与分析能力, 可为**计算机视觉、机器人视觉、工业自动化和自主导航**等应用领域提供支持。它们具备先进的处理功能, 可与意法半导体旗下的微控制器和微处理器完美兼容, 确保能够无缝集成到各种复杂的架构中。

通过实现**性能、可靠性与能效**的提升, 这些摄像头能够在对精度与速度要求极高的应用环境中实现更加准确的视觉感知。产品支持多种通信接口, 确保能够与各种机器人和自动化平台灵活集成。

产品编号	分辨率/阵列尺寸	色度	快门	像素尺寸 (μm)	光学格式	输出格式	运行帧率 (Fps)
VB1943	5.08 MP	RGB-IR, 封装	全局和卷帘	2.25	1/2.5"	MIPI CSI-2	100 fps (全分辨率)
VB5943	5.08 MP	单色, 封装	全局和卷帘	2.25	1/2.5"	MIPI CSI-2	100 fps (全分辨率)
VD16GZ	1.53 MP	RGB-IR	全局	2.61	1/4"	MIPI CSI-2	88 fps (全分辨率)
VD1943	5.08 MP	RGB-IR, 裸片	全局和卷帘	2.25	1/2.5"	MIPI CSI-2	100 fps (全分辨率)
VD55G1	0.56 MP	单色	全局	2.61	1/9"	MIPI CSI-2、I3C	194 fps (全分辨率)
VD56G3	1.53 MP	单色	全局	2.61	1/4"	MIPI CSI-2	88 fps (全分辨率)
VD5943	5.08 MP	单色, 裸片	全局和卷帘	2.25	1/2.5"	MIPI CSI-2	100 fps (全分辨率)
VD66GY	1.53 MP	RGB	全局	2.61	1/4"	MIPI CSI-2	88 fps (全分辨率)

用于AI处理的微控制器

意法半导体推出了专用的**STM32N6**微控制器系列；该系列产品集成了神经网络处理器，可与先进的设备端AI搭配使用。该系列器件基于运行频率高达**800 MHz**的**Arm® Cortex® M55**内核，可借助Helium（M Profile向量扩展）实现DSP加速，专门用于在单个MCU上处理将信号预处理/后处理与推理相结合的边缘工作负载。

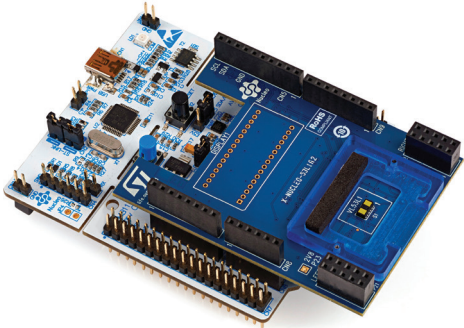
STM32N6内置了自研的**意法半导体Neural ART加速器**（一款时钟频率高达**1 GHz**、算力高达**600 GOPS**的NPU），可为计算机视觉和音频流水线执行实时神经网络推理，同时将功耗保持在适合运行嵌入式系统的水平。该平台将NPU与大容量的**4.2 MB连续SRAM**、带有图像信号处理器的摄像头流水线（并行和MIPI CSI 2）以及硬件多媒体模块（例如H.264编码器、JPEG编码器）有机结合，从而在无需主机处理器干预的情况下，在器件上实现端到端的采集 → 处理 → 推理。

在机器人应用领域，该架构可利用摄像头接口和片上加速功能，为边缘侧的物体检测、姿态/手势估计以及场景理解等任务提供支持，从而满足导航和人机交互中特有的实时性要求。

产品编号	封装	内核	工作频率 (MHz)	FPU	协处理器类型	RAM大小 (KB)	图形加速器	密码学算法	安全功能	以太网	最小供电电压 (V)	最大供电电压 (V)	NPU AI/NN 硬件加速器	视频硬件加速器
STM32N657A0	VFBGA 169 6x6x1.0 P 0.4 mm	Arm Cortex-M55	800	双精度 FPU、 半精度 FPU、 单精度 FPU	Neural-ART	4200	Chrom-ART、 JPEG编解码器、 NeoChrom GPU	AES、 ECDSA、 HMAC、 OTF ENC/ DEC、PKA、 S-AES、 S-ECC、 S-RSA、 SHA-1、 SHA-2、 TRNG	异常情况处理、 应用生命周期管理、 审计/日志、 加密引擎、识别/ 身份验证/认证、 隔离TrustZone、 安全启动、 安全安装/更新	1Gbps (IEEE 1588)	1.71	3.6	600 GOPS	H.264编 码、ISP
STM32N657B0	VFBGA 198 10x10x1 P 0.65 mm								异常情况处理、 应用生命周期管理、 审计/日志、 加密引擎、识别/ 身份验证/认证、 隔离TrustZone、 安全启动					
STM32N657I0	VFBGA 178 12x12x1 P 0.8 mm													
STM32N657L0	VFBGA 223 10x10x1 P 0.5 mm													
STM32N657X0	VFBGA 264 14x14x1 P 0.8 mm													

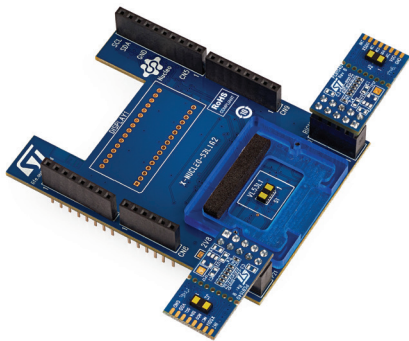
一站式解决方案

P-NUCLEO-53L1A2



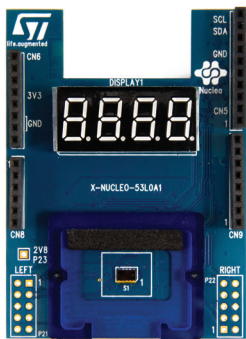
VL53L1 Nucleo套件。

X-NUCLEO-53L1A2



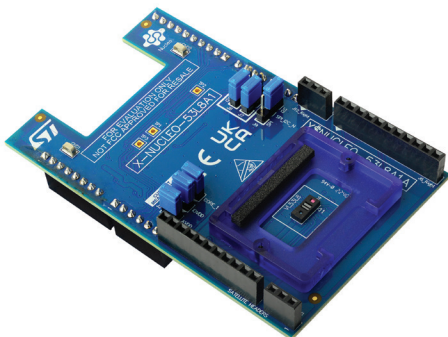
VL53L1 Nucleo扩展板。

X-NUCLEO-53L0A1



基于VL53L0X的STM32 Nucleo测距传感器扩展板。

X-NUCLEO-53L8A1



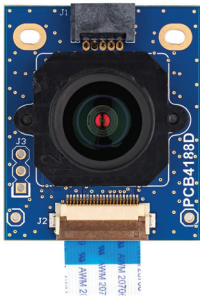
X-NUCLEO-53L8A1是一款扩展板，可用于任何配备Arduino R3连接器的STM32 Nucleo板。该产品可帮助您学习、评估和开发基于VL53L8系列飞行时间传感器的应用。

STEVAL-56G3MAI



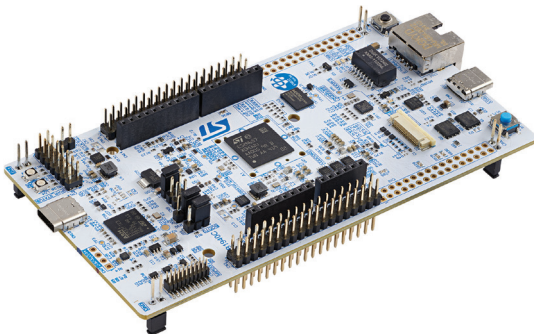
VD56G3 S-Board MIPI CSI-2套件，用于将VD56G3图像传感器集成到MPU与MCU开发板上。

STEVAL-66GYMAI



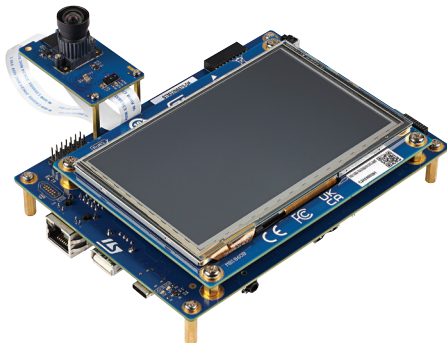
MIPI CSI-2套件，用于将VD66GY图像传感器集成到MPU与MCU开发板上。

NUCLEO-N657X0-Q



STM32 Nucleo-144，其中包含了全套的STM32免费软件库和示例。

STM32N6570-DK



STM32N6570-DK探索套件包含了丰富的硬件功能，可帮助用户评估各类外设，例如USB Type-C®、八线SPI Flash存储器和Hexadeca SPI接口、以太网、摄像头模块、LCD、音频编解码器、数字麦克风等等。

核心基础组件

可保护机器人头部单元和保障子组件真实性的安全芯片

机器人技术具有极佳的多功能性，能够通过品类众多的机器人解决方案满足来自工业、医疗及消费类应用领域的大量服务需求。机器人很少是完全自主运行的，通常需要连接至云端运行的远程服务。因此无论在哪个垂直领域，机器人通常都是上层全局系统的一个组成部分，且面临着相同的安全威胁，如ID克隆、数据篡改、隐私泄露和恶意软件注入等等。

此外，机器人本身也是一个生态系统，由相互连接的智能组件构建而成。机器人行为的一致性取决于其子组件的可靠度。因此，必须为这些子组件及其数据交换过程提供同等级别的保护，以抵御ID克隆、数据篡改、隐私泄露和恶意软件注入等安全威胁。

STSAFE安全芯片可提供硬件信任根，用于保护头部单元、智能子组件及耗材。

面向机器人头部单元和智能组件的STSAFE-A安全芯片

STSAFE-A安全芯片系列产品可为机器人等终端设备或智能子组件提供身份验证和安全数据管理服务。

在机器人系统中，这种支持意味着：

- **强大的身份验证：** 凭借支持强身份验证的个性化证书，确保仅允许经过授权的设备或子组件接入系统
- **数据的完整性与机密性：**
 - 通过数据签名防止数据交换过程遭到篡改
 - 通过建立TLS连接防止数据流出现隐私泄露
- **平台完整性：** 在执行或更新应用之前验证应用签名，以确保设备平台的完整性

STSAFE-A是联网设备主处理器的配套芯片，通过简单的I²C接口进行通信。STSAFE-A安全芯片基于已通过CC EAL5+认证的平台，其中预先配置了在意法半导体安全生产基地加载的密钥与证书。

产品名称	产品特性	接口	认证	封装选项	工作温度范围	NVM存储
STSAFE-A120	<ul style="list-style-type: none">• 使用个性化X 509证书进行认证• 安全连接 (TLS)• 对称加密和解密• 安全数据存储和计数器• 签名验证• 远程云身份验证• Amazon AWS JIT和Microsoft Azure DPS设备注册	I ² C	CC EAL5+硬件	S08N 4x5 mm DFN8 2x3 mm	-40 °C至+105 °C	16 KB

面向机器人子组件、耗材和电池的STSAFE-L安全芯片

许多机器人需要用到可更换的耗材和无源子组件，例如电池、医疗耗材或配件。这些物品极易遭到仿制，或是在未经授权或管控的情况下擅自进行重复使用或延长其使用时间；这些行为可能会降低系统性能、突破安全限制或对现有商业模式造成损害。

STSAFE L针对上述情况进行了优化，能够提供以下功能：

- **反克隆：**通过个性化证书进行身份验证，确保机器人仅可接受正品子组件、耗材和电池
- **使用情况监控：**借助安全计数器和安全数据存储功能限制耗材的使用次数，以免出现过度使用

和STSAFE A一样，STSAFE L器件也在意法半导体安全生产基地预先完成了个性化处理，包括部署唯一的ID、证书和密钥等等。STSAFE-L可以直接贴装在子组件或耗材之上，并通过I²C或ST1Wire接口与主机设备MCU建立连接。

产品名称	产品特性	接口	封装选项	工作温度范围	NVM存储
STSAFE-L010	<ul style="list-style-type: none"> • 使用通用证书或个性化证书进行身份验证 • 非对称爱德华兹曲线 • 安全数据存储和安全计数器 	I ² C ST1Wire	DFN8 2x3 mm DFN6 1.4x1.6 mm 接触式DFN3 4x3.2 mm	-25 °C至+85 °C	32 KB EEPROM

ST4SIM eSIM

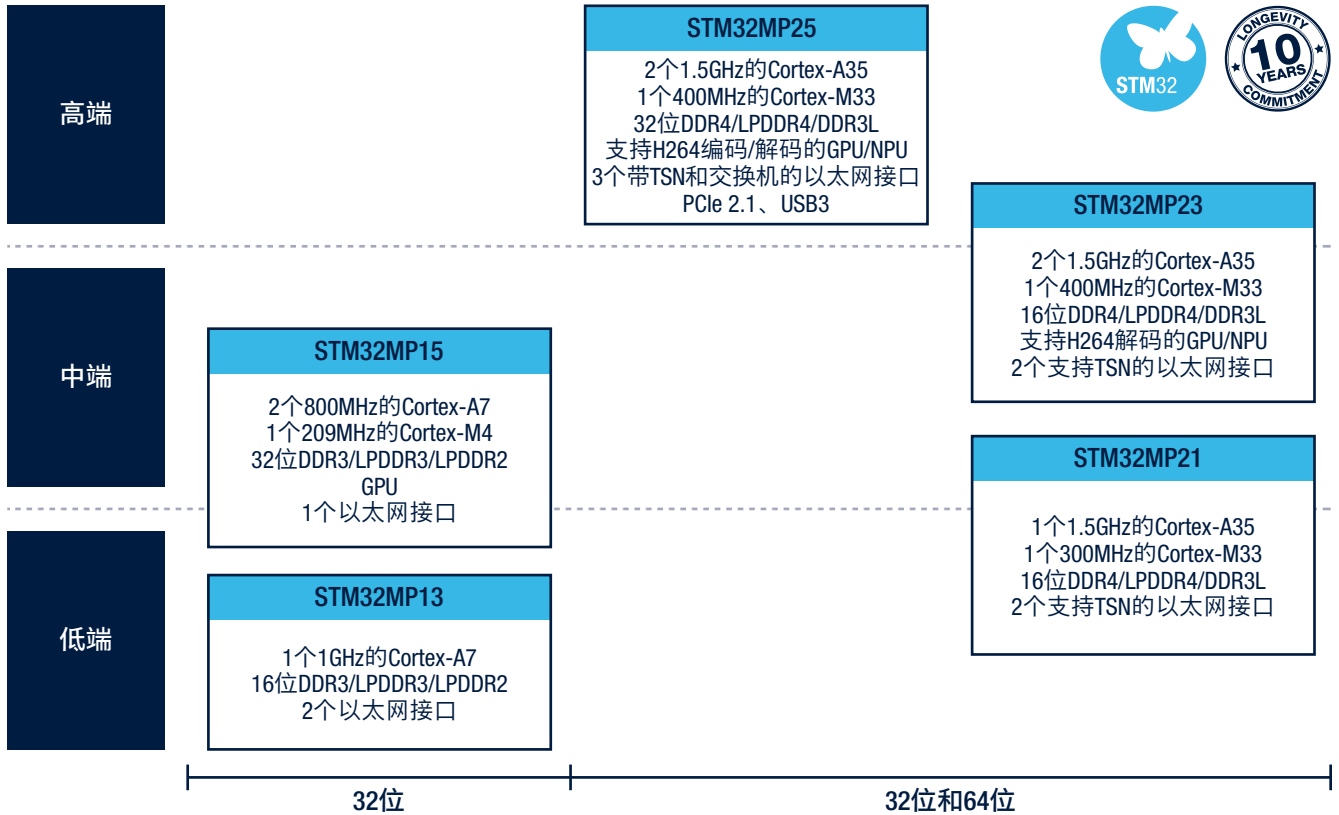
运营商可通过移动网络对人形机器人进行安全的识别和身份验证，并提供用于机器人车队管理、遥测、跟踪和远程诊断的数据连接服务。ST4SIM符合最新的GSMA远程SIM配置 (RSP) 规范，并能够完全兼容NB-IoT网络。得益于RSP协议和引导程序连接的支持，ST4SIM能够根据人形机器人所在的国家/地区，自动匹配本地连接提供商。此外，ST4SIM还可通过配置来保障连接的连续性：当检测到当前启用的网络运营商出现断连时，系统能够自动切换到其他预先加载好的、能够提供数据覆盖的运营商网络。

产品编号	一般描述	功能集	产品功能	通信接口	认证
ST4SIM-300M	面向物联网环境的GSMA IoT eSIM片上系统解决方案	M2M	eSIM	接触式ISO7816、I2C、SPI接口	CC EAL6+、GSMA

区域处理器

在采用区域制电子架构的人形机器人中，每个微处理器 (MPU) 均可作为智能中枢，统筹管理其所在物理区域（如头部、躯干、手臂和腿部）的感知、驱动与通信功能。该处理器需要在本地融合来自摄像头、激光雷达、IMU和触觉传感器的数据，运行运动与安全实时控制回路，并仅将经过预处理的相关信息转发至中央计算单元。

STM32系列通用微处理器将负责处理Linux和AI工作负载的高性能应用内核与负责确定性控制的实时微控制器内核集于一身，能够完美满足上述需求。该产品拥有丰富的连接选项，包括支持TSN的以太网交换机、工业现场总线以及高速传感器接口。这种异构设计方便了各个区域分担主控单元的感知、控制和安全任务，可以最大限度降低布线复杂度，并支持构建模块化、可扩展且高性能的机器人架构。该MPU集成了用于边缘AI推理的GPU和NPU，并内置了安全通信功能，可将每个区域转化为智能的自主节点，以支持高级运动控制、设备操作和人机交互等应用。



存储器

用于存储、校准、数据记录和计数器的串行EEPROM

串行EEPROM支持长期保存数据且具备较多的循环可擦写次数，是实现小尺寸、高可靠性及低功耗存储的理想选择。该器件通常负责处理与处理器、摄像头、传感器、执行器或通信节点相关的基准设置、决策阈值配置或事件记录，在上电循环、机械维护或传感器更换期间，仍能保持稳定的性能表现。字节级的灵活性使得固件能够独立更新单个参数，而不受区块擦除的限制，从而最大限度降低微控制器的写入成本。低电压与低功耗特性可以有效降低系统能耗与热耗散，是敏感型模拟前端、外露表面以及电池供电式子系统的理想选择。

产品编号	概述	(其他关键特性)
M24512E-F	512 Kb 串行I2C总线EEPROM	可配置器件地址寄存器 软件写保护寄存器
M95M02E-F	2 Mb SPI总线EEPROM, 带高速时钟	附加128字节或256字节标识页

面向实时、大容量数据记录的Serial Page EEPROM

Serial Page EEPROM是搭配STM32 MCU使用的理想存储器解决方案；它不仅功耗超低，而且支持固件存储与FOTA更新。该方案唤醒时间极短，支持运行状态标志、快速擦除与编程，并可结合嵌入式ECC技术实现长期数据保存，从而提供安全、高效的固件管理。具备字节级灵活性的短页编程与写入功能支持实时或随机配置更新，可凭借更少的擦写循环实现高效的事件记录。Serial Page EEPROM支持多达50万次写入循环，并可在55°C的环境下将数据保存100年，可为大容量数据记录应用提供可靠的性能。

产品编号	概述	(其他关键特性)
M95P08-I	超低功耗8 Mb串行SPI Page EEPROM	高写入/擦除性能 用于实现高存储器可靠性的ECC (DEC、TED) 用于ISO26262的运行状态标志
M95P16-I	超低功耗16 Mbit串行SPI Page EEPROM	
M95P32-I	超低功耗32 Mbit串行SPI Page EEPROM	

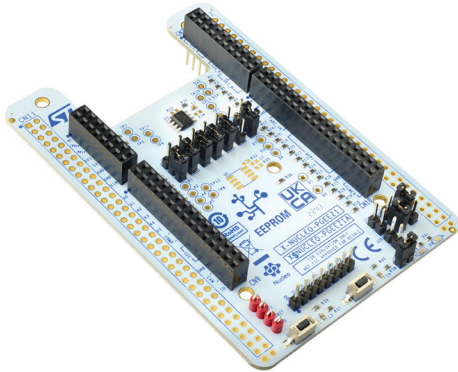
用于身份识别与追溯的UID EEPROM

UID EEPROM将可靠的串行EEPROM与工厂预置的唯一标识符有机结合，可通过一种简单的方法来识别每个人形机器人整机、子系统或模块化组件，并执行重复项检测。凭借高达400万的循环可擦写次数和长达200年的数据保存时间，UID EEPROM可以显著简化电池、工具模块或配件等模块化组件的库存管理与维护流程。UID可与数字孪生模型相关联，或与制造数据、服务日期以及其他实用信息进行绑定，从而方便了产品的追溯与维护管理。UID EEPROM可以凭借行业标准I²C接口以及与串行EEPROM封装的无缝兼容轻松进行集成，从而为机器人整机与组件快速部署即用型的追溯功能。

产品编号	概述	(其他关键特性)
M24256E-U	256 Kb串行I ² C总线EEPROM，带唯一标识符	可配置器件地址寄存器

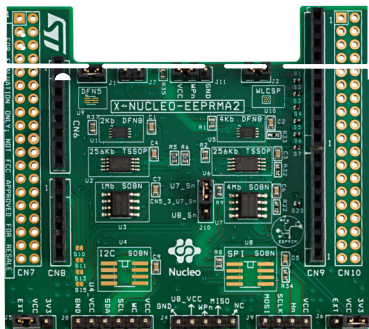
一站式解决方案

X-NUCLEO-PGEEZ1



基于M95P32系列的标准SPI页面EEPROM存储器扩展板，用于STM32 Nucleo。

X-NUCLEO-EEPMA2



基于M24xx和M95xx系列的标准I²C和SPI EEPROM存储器扩展板，用于STM32 Nucleo。

意法半导体， 科技始之于你

有关意法半导体产品和解决方案的更多信息，请访问www.st.com

© STMicroelectronics - 2026年5月 - 保留所有权利
ST和ST徽标是STMicroelectronics International NV或其附属公司在欧盟和/或其他地区的注册和/或未注册商标。具体而言，ST及ST徽标已在美国专利商标局注册。
若需意法半导体商标的更多信息，请参考www.st.com/trademarks。
其他所有产品或服务名称是其各自所有者的财产。

