

电子工程 EE Times China 专辑

EE Times-China

2026年06月

无人机的“传感应用革命”

精英访谈

Altium联合创始人：中国电子系统设计缺什么？

聚焦

无人机集群：规模化重塑未来作战格局

无人机集群：从“科幻”到田间地头的商业实战

续航翻倍，氢燃料电池重塑无人机作业

假肢手能达到人类般的灵巧度吗？

传感器创新为视障人士开启无障碍新时代

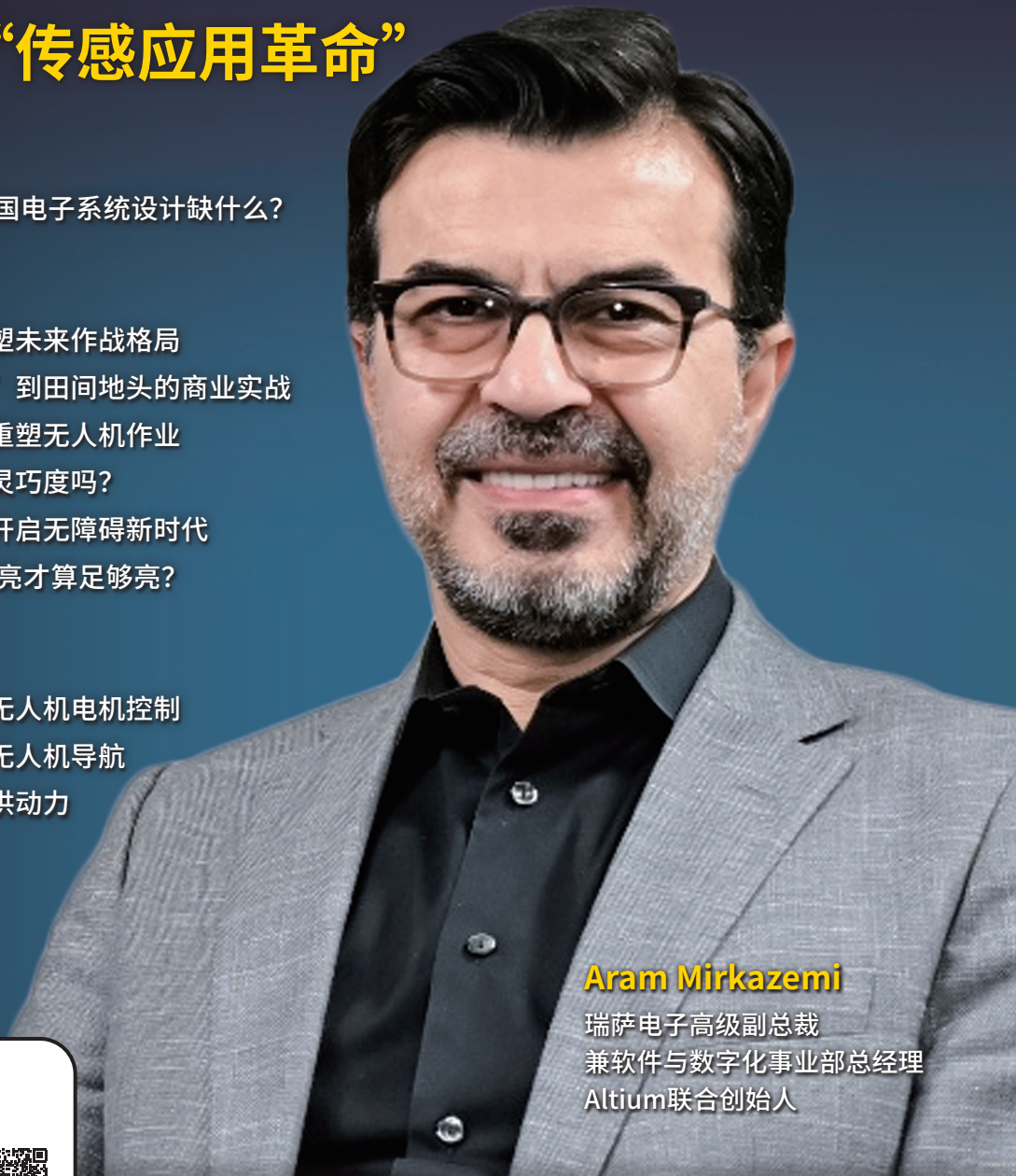
现实世界中，AR需要多亮才算足够亮？

设计新技术

利用电调参考设计简化无人机电机控制

利用晶体传感技术辅助无人机导航

氮化镓为人形机器人提供动力



Aram Mirkazemi

瑞萨电子高级副总裁
兼软件与数字化事业部总经理
Altium联合创始人

www.eet-china.com

网站精粹:

苹果“下一个十年”的增长引擎——Vision Pro已悄然落幕



机器人需搭载上百颗传感器，感知技术迎来三大变革



电子工程专辑

移动版随时随地
把握电子产业动态

ISSN 1684-1115



06

9 771684 111009



超强抗干扰, 超级加密

车规 AEC-Q100 Grade1 MCU 设计公司, 高稳定, 低功耗
技术咨询选型: www.STCAI.com 分销电话: 0513-5501 2928, 8989 6509

CAN两组, USB, 32位 8051, 32G12K128, 高精淮12位ADC, DMA 支持: TFT彩屏/ADC/4组串口/SPI/I2C

不需外部晶振的单片机
不需外部复位的单片机

送
本身就是仿真芯片

比相同频率传统8051快70倍
ISP/IAP技术创新厂商

大容量 12K 字节 SRAM

十万次Flash 程序存储器 64K/128K字节

硬件USB 内置系统ISP 监控程序

32位 8051 STC

高速, 高可靠
低功耗, 超低价

- 宽电压(1.9V~5.5V)
- 内部高精淮时钟, ISP下载用户程序时可设置
- 内置高可靠复位电路(4级复位位门阈电压可设置)
- 省电/掉电模式: 可外设/所有IO/外中断/专用定时器唤醒

6组8位并行端口 P0/P2/P3 + P4/P6/P7
PI.0 - PI.1
PI.3 - PI.7
PS.0 - PS.4
最多60个IO

所有IO均可中断和掉电唤醒
中断模式:
上升沿/下降沿
高电平/低电平

DMA 支持:
ADC
SPI/I2C
4组串口
TFT/8080接口

CAM/Lin/SPI/I2C 超高速四串口(UART) 分时复用可当10组使用 5个16位自动重装定时器

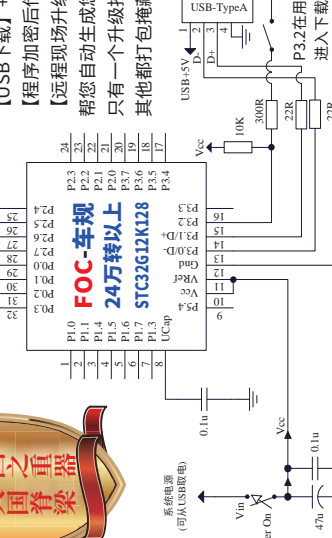
1组比较器 12位ADC 超高速15路

144MHz 16位高级PWM; 8通道 可实现互补对称带死区输出 可作定时器或D/A

ADC: 800k/S
提升的是性能
降低的是成本

远程现场升级=

【USB下载】+
【程序加密后传输】+
【远程现场升级APP发布】
帮您自动生成您自己界面的
只有一个升级按钮的升级APP
其他都打包掩藏起来了



硬件USB直接下载用户程序步骤:

1. 将P3.2与GND短接按接板下; P3.2在用户区可做其他用途
 2. 上电, 或停电再上电, 电脑端识别出USB, 此时可松开P3.2按键
 3. 点击电脑端ISP软件的【下载/编程】按钮, 下载成功。
- 另外: 如果P5.4/nRST已被设置为复位脚, 通电状态下, 外部手动复位也可进入USB下载

全部175°C
8小时高温烘烤



高可靠制造保证

程序加密后传输防拦截: 让您的用户自己升级程序而拿不到您的原程序, 在单片机内部先烧录您自己的加密钥匙, 以后要升级时, 用加密钥匙对原程序进行加密生成一个加密文件, 再将其发布成只有一个升级按钮的您自己定义外观的升级软件给用户升级

8H/32G系列, 16位高级PWM定时器; 一组可配置成4对互补/对称/死区控制的PWM, 另一组可配置成4路PWM输出或捕捉外部信号, 周期可不同, 分别单独设置, 支持正交编码器功能
8G2K64S4, 45路15位增强型PWM定时器: 可设置成6组周期不同的PWM, 0组/(PWM00 - PWM07), 1组/(PWM10 - PWM17), 2组/(PWM20 - PWM27), ...
比较器的正输入端默认是P3.7/CMP+, 可设置为ADC1/ADC2...; ADC0 / ADC1 / ADC2...; ADC14; 比较器的负输入端默认是P3.6/CMP-, 可设置为内部1.19V输入

选择8H/32G系列单片机理由:

- ★ 不需外部晶振不需外部复位的单片机, 还可对外输出时钟和低电平复位信号给外国的FPGA/DSIP/GPU/CPU/MCU使用, 片上EEPROM功能
- ★ 绝大部分芯片可直接仿真, 本身就是仿真器, 无需专用仿真器, 在系统可编程, 无需专用编程器, 可自开发远程升级功能
- ★ 32G系列同时时钟频率比传统8051快70倍以上; 8H系列相同时钟频率下比传统8051快13倍以上, 绝大部分指令1个时钟完成, 高速内核, 四级流水线
- ★ 高速12位ADC, 80万次/秒以上, 外部15通道, 内部第16通道ADC15用来测量内部参考电压, 可反推工作电压如电池电压, 支持外部参考源, 有多种强大的PWM
- ★ 超低功耗: 1. 掉电模式: 典型功耗, 0.4μA 2. 空闲模式: 典型功耗 < 500μA 3. 正常工作: 典型功耗 < 1.5mA 4. 掉电模式可串行口/外部中断或内部掉电唤醒定时器

来电即送样品/USB型烧录工具/仿真器, 全部免费送!

目录Contents

精英访谈

04—— Altium联合创始人：中国电子系统设计缺什么？

Altium Develop近期面向中国市场正式发布，定位“赋能中国智能制造”。围绕平台化、生态化与本土化，Altium将如何落地？

聚焦

07—— 无人机的“传感应用革命”

当前，无人机正从“会飞的航拍工具”升级为“会思考的智能节点”，一场深刻而持续的传感应用革命正在发生。《电子工程专辑》对话全球传感器代表厂商，结合行业宏观视角，深入剖析这场革命背后的驱动力、关键技术趋势、核心挑战及广阔应用前景。

12—— 无人机集群：规模化重塑未来作战格局

军事关注焦点已从少数大型昂贵无人机，转向无人机集群——数十至数百架小型、廉价无人机协同作战。

16—— 无人机集群：从“科幻”到田间地头的商业实战

2015年前后，无人机集群研究从理论走向实验、从学术模型迈向工程现实；如今，技术集成落地已具备可行性。



网站文章

机器人普及前或需要新标准： 异构系统+安全框架

机器人要从“手搓原型”迈向规模化，这中间似乎总缺了关键一环……如何规划具身智能机器人的技术栈逻辑，具体又该如何落地？本文提出的这套框架，或许能提供有益参考。



订阅号



服务号



@电子工程专辑



20 续航翻倍，氢燃料电池重塑无人机作业

多数小型无人机仍依赖锂电池，飞行时长普遍不足4h。对于远程监视、长时巡检及恶劣环境作业，锂电池已难以满足需求。

25 假肢手能达到人类般的灵巧度吗？

一款名为“亚当之手”的AI仿生手，为工厂车间的人形机器人赋予了更强抓握力和感知能力。

28 传感器创新为视障人士开启无障碍新时代

智能手杖与智能眼镜，正为低视力及失明人士开辟自主、安全的全新出行路径。这些辅助设备不止于便利，更助力视障人士融入为健全人设计的世界。

30 现实世界中，AR需要多亮才算足够亮？

亮度已成为AR领域的关键指标之一，决定了显示屏是仅在受控演示中表现惊艳，还是能在现实复杂光照下保持清晰可读。

设计新技术

32 利用电调参考设计简化无人机电机控制

本文聚焦无人机电子技术，重点解析电调(ESC)方案，及其在简化电机控制中的关键作用。

35 利用晶体传感技术辅助无人机导航

降低无人机应用成本、同时保证定位精度，是设计的核心挑战之一。

37 氮化镓为人形机器人提供动力

人形机器人市场快速增长，电机控制为设计关键。本文概述电源架构、电力电子器件要求，并以EPC公司方案为例展开说明。

出版人：Cyrus Krohn

亚太区总经理：Yorbe Zhang

编辑：Luffy Liu

责任编辑：Franklin Zhao

设计师：Sam Guo

封面设计：Sam Guo

发行者：EDN Asia Advertising Pte. Ltd.

出版日期：Jun 2026

地址：9 Raffles Place, #26-01 Republic Plaza,
Singapore 048619

电话：+65-6236 3467

订阅 / 查询：emedia.support@aspencore.com

网站：www.eet-china.com

印刷者：C & C Offset Printing Co. Ltd
1-9/F C&C Building, 36 Ting Lai Road,
Tai Po, New Territories,
Hong Kong, China

全球销售联系人

新加坡 Singapore

电话 Tel: +65-6236 3467

中国 China

中国北京

电话 Tel: +86-158 8957 2379

中国香港

电话 Tel: +852-2253 3975

中国上海

电话 Tel: +86-21-6238 0098

中国深圳

电话 Tel: +86-755-3324 8104

中国台北

电话 Tel: +886-2-27591366 ext.102

美洲 Americas

电话 Tel: +1-720-329 2494

+1-510-7573953

欧洲 Europe

电话 Tel: +1-720-329-2494

+49-911-939764-42

EE Times-China

(ISSN 1684-1115) is published by EDN Asia Advertising Pte. Ltd. (Registered office address: 9 Raffles Place, #26-01 Republic Plaza, Singapore 048619). All publishing rights and copyrights ©2026 are held by EDN Asia Advertising Pte. Ltd. The magazine is distributed free to a limited number of qualified readers. Although every care will be taken, the Publisher accepts no responsibility for damage to or loss of photographs, transparencies, or other materials submitted for publication. Printed by C & C Offset Printing Co. Ltd, 1-9/F C&C Building, 36 Ting Lai Road, Tai Po, New Territories, Hong Kong, China.

版权所有，未经许可，不得转载。

Altium联合创始人： 中国电子系统设计缺什么？

作者：欧阳洋葱

前不久Altium Develop面向中国市场正式发布。这是一套集成了Altium Designer、Altium 365等关键组件的数字化解决方案——能够连接关键工具、数据与团队，显著提升设计效率以及跨团队协作能力，加速从设计到制造的全流程数字化转型。

Altium期望借助这款产品“赋能中国智能制造”。当产品强调“平台”角色定位和“生态构建”，并涉及针对中国市场的“本土化”时，Altium具体是怎么做的？为此，《电子工程专辑》专访了瑞萨电子高级副总裁兼软件与数字化事业部总经理、Altium联合创始人Aram Mirkazemi。

“我们一直希望能够将现代化的工业互联网和云带到中国。”显然，对Altium Develop的深入理解，也将有助于我们明晰电子系统设计的时代脉搏。

贯通“割裂的电子行业价值链”

Mirkazemi谈到，对于当代“软件定义”的各类产品而言，行业生态涵盖了5个相对独立的环节：(1)半导体设计与制造；(2)嵌入式软件解决方

案；(3)电子元器件分销；(4)电子设计与开发；(5)电子产品生命周期管理。

“它们内部本身是碎片化的，彼此之间也未能达成协作。Altium Develop就是要针对这一生态系统，构建一个基于云的平台，将这些价值链从宏观和微观层面贯通起来。”

Mirkazemi将Altium称作系统“底座”。Altium起到的作用是实现电子生态系统的连接与交互，涉及“所有低层级的工具与工具链整合”。其中，Renesas 365就是建基于Altium平台的嵌入式解决方案，也是Altium平台的供应商实例和参考设计。该平台之上还有其他合作伙伴，共同搭建起了Altium设想中的完整生态。Altium Develop就是这套系统的核心构成。

Mirkazemi总结说，Altium Develop是能让用户、设计师、工程师，以及电子行业的不同专业人士，与电子生态系统内的行业合作伙伴进行交互的全新云平台。产品的三大功能亮点，除了包含Altium Designer的设计工具外，还包括数据管理(元器件库管理、项目管理等)和设计协同(如BOM分析管理、与机械工程师合作，及团队协作和项目共享等)。

因此，Altium Develop预期实现的是“帮助企业的电子设计师、工程师，供应链主管、产品经理等突破协作瓶颈、高效合作”。为了实现这样“贯通”，Altium具体是怎么做的？

云是基础，而且需要可编程性

借助Altium眼中的两大关键要素——云和AI，或许能找到答案。

首先是云——Mirkazemi说Altium Develop是真正意义上的云原生，而基于云、基于模型的协作是当代电子系统设计与生命周期管理平台的核心要素。

在Mirkazemi看来，云是Altium Develop贯通上述“割裂价值链”、实现“互操作性”的基础，同时也为后续向Altium产品注入更多AI能力提供了支撑。Altium也是整个行业内在云技术采用上走在更前沿的企业。

云的存在让高层级API实现互操作性成为可能。“很多现有工程工具并不具备真正意义上的平台级API。Altium平台有可编程的云API，而不单是数据访问或可配置。”

“可编程性”是Mirkazemi在演讲和采访中反复提到的关键词，是当

代“软件定义”企业实现流程自动化与规模化的基础。“实现可编程性，需要更为复杂的软件工程努力。行业内其他竞争对手的产品或许并不是可编程的，而仅是可配置的。”

AI:推进“上下文”战略

他举例说，市面上部分云上CAD协作只是在云平台存储数据，“而不是真正的CAD级协作”；还有一些具备CAD级别协作能力的产品，要求用户放弃原有桌面工具。这些在Altium看来，都不是云上CAD协作正确打开方式。

基于云平台实现的协作，“我称之为计算机辅助协作以及基于模型的协作”，这样的协作让Altium Designer具备了云上智能。

Altium Develop作为当代的计算机辅助协作，“不再是PDF和Excel式的协作，而是基于模型的协作”。基于此，也才得以让Altium Develop第二大关键要素AI有了发挥空间。

Altium Platform围绕三大核心方向构建：AI辅助构思、基于模型的实现、基于云的应用。

“AI辅助构思”依托AI技术与瑞萨联合开发的ESD(Electronic System Designer, Altium Develop核心组件)，实现对系统复杂度的理解与管理，并支撑软硬件协同设计。在解析系统级需求、处理大量文档信息后，可结合功能模块与设计上下文，辅助工程师完成器件选型与系统架构决策。

“基于模型的实现”则保障AI

推理的准确性，让系统模型与CAD设计精准对应；同时在电子与设备生命周期管理阶段，AI模型可不断学习并实时更新。

值得一提的是，在谈论“AI辅助构思”理解工程所需的海量复杂上下文时，Mirkazemi提到了Altium对于AI技术的关键理解：对于Altium及电子设计企业而言，上下文比AI智能本身更重要。

“我们相信AI会给行业带来更大的革新，但不会自己去做AI模型，而是选择与AI企业合作，共同赋能企业级的代码输出软件。我们要做的是将模型应用到企业软件之中”。

未来AI要真正贯穿电子系统设计，与生命周期管理全流程，实现更程度的自动化。在此过程中最可贵的就是设计与开发的“上下文”。通过上下文来实践AI技术，也是Altium在AI方向上的未来战略。

当面向中国市场时

在本土化发展之路上，除了安全与合规——如Altium大中华区总经理赵京南在采访中提到符合中国市场的的核心数据安全要求，以及平台的安全性可靠性标准要求——Altium Develop的发展必然需要价值链上更多本土合作伙伴的参与。

Mirkazemi总结说，中西生态系统之间的几大差异主要包括：云基础设施、社交网络、供应链、智能制造，以及AI生态系统。故而对于强调速度和规模的中国生态，“基础设施是全新的，我们认为平台需要对中国独特

的生态系统做针对性开发”。

商业模式上，在Altium Develop发布前，Altium在中国采用基于每用户的传统授权模式。而基于Altium Develop对于多环节“协作”的追求，这种方式就变得不再合理。新业务模型转向了SaaS，令企业开销可远低于传统授权方式，这也符合Altium Develop作为“云平台”的定位。

Mirkazemi形象地将中国生态比作海洋，而将美国为代表的西式生态比作山川。这番比喻的关键在于“西方系统是在电子尚未成为中心之时的旧世界建立起来的。”比如PLM源于90年代，该市场的CAD也还能看到曾经的影子——“优势在于成熟度高”，有能力和深度。而“中国生态系统是流动的，带着速度和规模，充满能量、蓬勃年轻。”Mirkazemi说。

赵京南补充：“中国文化强调上善若水，要流动、要赋能。”这些都让Altium看到了中国电子设计市场更多的可能性。

在电子工业缺乏工业互联网之时，以“创建一体化电子系统设计与生命周期管理平台”的三大支柱为依托，在数字线程行进过程中，有机会构建起“针对电子系统的工业互联网”。“我们相信中国极有可能成为首个构建起工业互联网的国家，实现工业生态系统的革新——就像海洋在高速流动一样充满生机。这背后，是中国强大的行业规模作为支撑。” EET



无人机的“传感应用革命”

作者：林祯

当前，无人机从“会飞的航拍工具”转变为“会思考的智能节点”，正引发一场深刻而持续的“传感应用革命”。

根据IDTechEx预测，全球无人机市场将在2036年达到1478亿美元。更值得关注的是，2025至2036年间，商业无人机出货量预计增长2.3倍，而传感器出货量将增长4倍。这一数据清晰地反映出多传感器集成趋势的加速——到2036年，许多工业及超视距飞行无人机将搭载10至15个传感器，包括多摄像头视觉系统、高性能激光雷达(LiDAR)与毫米波雷达、超声波模块、气压高度计，以及关键任务所需的多重惯性测量单元(IMU)冗余。

传感器作为低空飞行器的“感官神经”，是实现自主导航、环境感知、安全控制和任务执行的核心元件。未来，无人机将不再是“无人”的

飞行平台，而是具备“感知-思考-行动”闭环的智能体。从物流配送避障，到农业植保中的精准喷洒，以及城市治理的数据采集，它们将成为城市“神经末梢”、天空中的机器人，推动社会向自主化、智能化、协同化迈进，重塑低空经济格局。

《电子工程专辑》深度对话艾迈斯欧司朗(ams OSRAM)和安森美(onsemi)等全球传感器领域的代表厂商，结合行业宏观视角，深入剖析这场“传感应用革命”背后的驱动力、关键技术趋势、核心挑战以及未来无限的应用图景。

“自主智能体”：背后迭代的核心驱动力

无人机应用边界的不断扩大，本质上是由感知能力的跃迁所驱动的。近年来，无人机正逐步完成从“飞行

平台”到“自主空中智能体”的角色演进。安森美智能感知事业群工业感知部应用工程高级经理开丽军认为，这一演进并非偶然，而是由多种核心因素共同驱动的系统性变革。

首先，应用场景的复杂化与多元化。无人机正从开阔空域的航拍、测绘，深入至城市物流、电力巡检、应急救援、农业植保等复杂、非结构化环境。这些新场景充满动态障碍物，面临光照剧变、恶劣天气(雨、雾、烟尘)和GPS信号拒止环境(室内、桥隧下)等挑战，推动传感器从“实验室理想条件”走向“严苛实战”。

其次，自主性等等级跃升的内在需求。早期的无人机多依赖GPS、IMU和简单光流完成飞行或固定路径搬运。如今，从“遥控操作”到“辅助飞行”再到“全自主作业”，无人机需要像自主移动机器人(AMR)一样，具备实时环境理解、决策规划和避障的能力，以应对在非结构化环境中进行实时避障、精准测绘、目标识别与交互操作。这要求传感器系统不仅能“看见”，更要能“看懂”，提供足以支撑实时决策的高精度、高可靠环境模型。

此外，低空经济政策与规模化发展的推动。中国等国家开放低空试点，推动物流、巡检等规模化应用，这对传感器的成本、可靠性和量

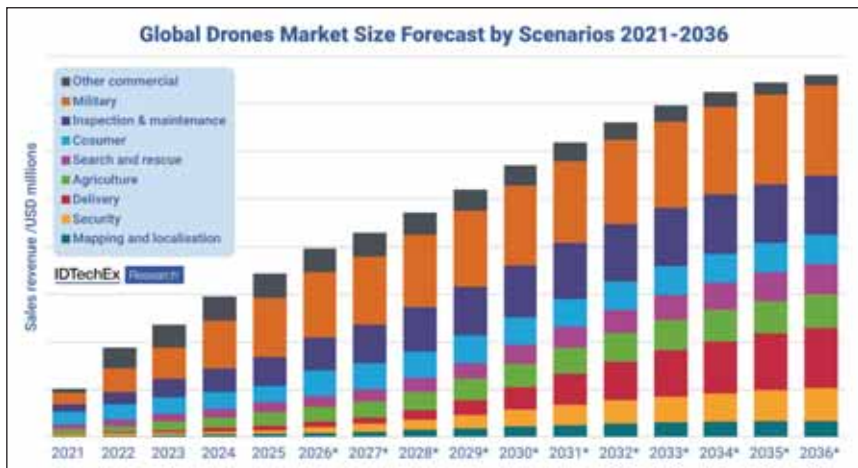


图1：全球无人机销售额预测(2026至2036年)。(来源：IDTechEx)

动态范围、运动无畸变和系统功耗的综合考虑。在全局快门与高动态范围(HDR)方面,无人机高速飞行与复杂光照(如穿越云层、逆光)对视觉系统提出极致要求。安森美的Hyperlux系列图像传感器是解决此类挑战的关键。

开丽军介绍:“Hyperlux SG系列的AR0235采用全局快门技术,可避免无人机高速飞行或拍摄快速移动物体时产生‘果冻效应’,而Hyperlux LH系列的AR0822采用三重曝光的嵌入式高动态范围技术,可在极端明暗反差场景下获取更完整的亮部与暗部细节。”

在短波红外(SWIR)方面,安森美的SWIR ACUROS系列基于胶体量子点技术,能穿透薄雾、烟尘,在夜间和恶劣天气下实现清晰成像,延长无人机的作业窗口。

艾迈斯欧司朗的相关产品布局也紧密围绕无人机悬停、避障、夜视、补光、图像增强等关键环节提供扎实的光学与传感支撑。艾迈斯欧司朗高级市场经理王树刚表示,无人机在不同光照下采集图像时,实时感知环境光色温与亮度,辅助摄像头实现精准自动白平衡与色彩还原,已成为行业刚需。艾迈斯欧司朗的高精度环境光传感器及多光谱传感器可实时采样相关色温(CCT),显著改善图像质量。

针对无人机弱光或夜间作业,其视觉系统需要既能快速捕捉清晰图像,又具备主动补光能力,艾迈斯欧司朗的Mira220全局快门CMOS图

像传感器具备近红外增强特性,配合OSLON、OSCONIQ系列高功率白光/彩色LED补光方案,可有效拓展无人机的夜间作业边界。

除了图像传感器,直接飞行时间(dToF)和间接飞行时间(iToF)技术因其在集成度、测距精度、响应速度和低功耗等方面的显著优势,也成为无人机避障和定高的主流方案。艾迈斯欧司朗发布的TMF8829 dToF传感器将分辨率从行业常见的8×8分区大幅提升至48×32分区,可精准探测细微空间差异。王树刚表示:“TMF8829的高分辨率特性有助于区分间距较小或形态相近的物体,其测距范围最远可达11m,距离分辨率达到0.25mm,并覆盖80°的视场角,为无人机提供了堪比广角镜头的全景深度信息。”

王树刚还特别提到了UV-C LED+dToF悬停辅助的新兴应用。在农业植保领域,UV-C LED结合dToF悬停辅助,可实现对病虫害的精准紫外消杀,拓展无人机的功能边界。艾迈斯欧司朗已构建相应的UV-C LED与dToF传感器组合方案。他表示:“dToF具有更远的探测距离、更好的抗环境光干扰能力,正成为无人机定高、避障的主流方案。同时,相比LED,垂直腔面发射激光器(VCSEL)具有窄带宽、高光束质量、高热稳定性,适用于3D感知和远距离/夜视照明。”

相对dToF技术,安森美更倾向于使用iToF技术来实现深度感知。开丽军介绍:“以Hyperlux ID系列的

AF0130和AF0131为例,它们是‘120万分分辨率智能iToF CMOS传感器’。AF0130型号集成深度处理ASIC,可直接输出深度图,简化系统设计并加快响应速度,非常适合在无人机平台上实现边缘智能。”

多传感器融合: 从1+1>2到协同感知

为了克服单一传感器的局限性(如摄像头在夜间失效、LiDAR受雨雾影响),获得对环境更全面、更精确、更可靠的感知,多传感融合已成为无人机重要发展趋势之一。尽管多传感器融合成为提升无人机环境感知的必然选择,但也面临诸多技术挑战,主要体现在以下几个方面:

一是时空同步与标定挑战。不同传感器(如图像传感器帧率30/60Hz、激光雷达10/20Hz)的数据采集时刻必须精确对齐(微秒级),否则融合数据将产生错位,导致决策错误。同时,各传感器在机体上的安装位置和角度(外参)及其自身畸变(内参)必须被精确测量和校准,且随着飞行中的振动和温度变化,参数可能发生漂移,需具备在线校准能力。

二是数据关联与融合算法挑战。如何将摄像头捕捉的2D像素框、激光雷达的3D点云簇、毫米波雷达的径向速度点,准确判断为“同一个物体”,这是融合的基础,在目标密集或相互遮挡时极为困难。而且,采用前融合(融合原始数据)、后融合(融合各传感器独立识别结果)还是特征级融合,需要在算法复

MSQUARE

芯粒高速互联 海量算力源泉

奎芯科技是中国领先的集成电路IP及Chiplet供应商，为客户提供一站式的接口IP和高速互联解决方案，满足新产业浪潮中不断扩大的芯片互联和算力需求。

在高速接口IP领域，奎芯通过自主研发，已布局HBM、UCLe、LPDDR、ONFI、PCIe、USB、PSRAM、eDP、SerDes、MIPI等产品，覆盖55-5nm制程节点，助力人工智能、数据中心、汽车电子等多领域存算需求。

同时，为应对当下芯片互联和应用垂直整合挑战，奎芯打造了M2LINK、D2D以及ML100 IO Die等基于互联IP的Chiplet产品。

奎芯科技致力于构建一个AI与Chiplet的开放生态服务平台，旨在为集成电路和芯粒产业的创新和发展提供全方位的支持。

公司于2021年在上海成立，研发人员占比超过80%，在全球设有6个研发中心，为客户提供全面可靠优质的服务。



◎ 接口IP

HBM、LPDDR、ONFI、eDP、PCIe、USB、UCLe



◎ Chiplet

M2LINK、ML100 IO Die



◎ 设计服务

助力客户高效、可控地完成从概念到量产的全过程

行业应用

人工智能、数据中心、智能汽车、物联网、消费电子、工业控制

🌐 企业官网：www.m2ipm2.com

✉ 企业邮箱：marcom@m2ipm2.com



杂度、计算负载和最终性能之间做出权衡。

三是系统复杂度与工程化挑战。多种传感器的供电、散热、电磁兼容性设计变得异常复杂。同时，处理多路高带宽传感器数据并进行实时融合，对机载计算平台的算力和功耗提出了极高要求。此外，增加传感器种类和数量直接带来硬件成本上升，同时大幅提升了软件开发和系统调试的成本。

面对以上技术挑战，艾迈斯欧司朗的实现路径是，通过硬件级融合、互补传感组合及算法工具支持，推动多传感器融合。这使得在满足关键任务可靠性需求的前提下，通过集成化、标准化和场景化剪裁，将单功能传感器的成本增量控制在可接受范围内，从而实现融合方案的商业落地。

王树刚介绍，在硬件级融合方面，艾迈斯欧司朗将dToF测距、环境光感知、闪烁检测等功能集成于同一芯片或模块(如TMF88xx系列已集成环境光和闪烁检测)，从而减少多芯片标定与同步开销。在互补传感组合方面，将dToF(TM8829)用于精确测距，配合NIR增强的全局快门图像传感器(Mira220)提供弱光图像，再由光谱传感器校正白平衡，形成从距离、图像到色彩的完整感知链条。此外，在算法工具支持方面，提供传感器驱动及初步融合算法，降低客户开发门槛。

与艾迈斯欧司朗类似，安森美通过“硬件组合+平台赋能”的系统

性策略，有效降低多传感器融合的开发门槛。

首先，安森美提供涵盖可见光(Hyperlux系列)、红外(SWIR)及深度感知(iToF)的完整异构传感器产品组合，确保了硬件接口、驱动程序及基础性能的一致性，大幅减少了多供应商集成带来的兼容性风险。

其次，依托Premier图像传感器参考模块(PRISM)参考模块生态，安森美解决了传感器选型、平台对接及一致性验证的难题。此外，安森美提供强大的DevWareX软件工具链，支持即插即用的传感器配置与图像质量评估。

开丽军表示：“安森美的策略是提供可扩展的解决方案。客户可以根据应用需求，在安森美统一的产品生态内，选择从VGA到2000万像素、从卷帘快门到全局快门、从可见光到SWIR的不同性能等级传感器进行组合。这种平台化、‘交钥匙’的产品策略，使得客户能以合理的成本，构建出满足特定性能需求的多传感器系统，避免了为单一高性能部件支付过高溢价或进行复杂的多供应商集成，从而加速产品上市。”

边缘智能： 赋能无人机实时决策

如果说多传感器融合让无人机“看得更清，那么边缘智能则赋予了它“思考”和“反应”的能力。将数据处理和AI推理从地面站或云端前移到无人机本身，是传感应用最具变革性的方向。

目前来看，在无人机上进行边缘计算的主要驱动力为：一是对于自主导航、避障、目标跟踪等任务，决策必须在毫秒级内完成；二是高光谱、高分辨率视频、LiDAR等传感器产生的数据量是巨大的，通过无线链路实时传输所有原始数据既昂贵又不可靠，而在边缘进行处理，只传输提取出的关键信息或决策结果，可以极大节省带宽；三是在断开与地面站的通信链接(如在偏远地区或信号干扰环境中)时，具备边缘计算能力的无人机仍可执行任务；四是对于敏感数据，在本地处理可以避免数据传输过程中的泄露风险。

王树刚特别指出：“边缘智能的关键在于前端感知的精准度。如果传感器采集的数据存在偏差，边缘端的算力再强也难以做出正确决策。”对此，艾迈斯欧司朗多光谱传感器TCS3448集成了11个光谱通道及光源闪烁检测功能，能够精确感知环境光的光谱成分、亮度及频闪特征，辅助摄像头实现精准的自动白平衡与色彩还原。这为无人机边缘AI模型提供了真实、稳定的图像输入，使其在复杂光照下仍能可靠识别目标、自主决策。

而安森美通过“智能前移、链路优化、平台赋能”三位一体的策略，系统性推动无人机边缘智能的发展，让数据在传感器端或近传感器端就开始被“理解”和“处理”，从而实现更快速、更高效的思考与反应。

首先，是传感层的智能化，即将传感器从“数据源”升级为“信息节

利用 TI 的边缘 AI 技术 重塑嵌入式系统

借助 TI 支持 AI 的完善器件组合
和全面的软件与工具，
在各类应用中部署边缘 AI



更多边缘 AI 应用案例
敬请探索

点”。这体现在两个方面：一是集成本地智能功能，如Hyperlux LP系列图像传感器具备“运动唤醒”模式，传感器自身能以低于2mW的极低功耗监控场景，仅在检测到运动时才唤醒主处理器，实现了本地的、低功耗的事件触发。二是进行片上预处理，如其Hyperlux ID智能iToF传感器，可直接在芯片上完成深度计算，输出结构化的深度信息而非庞大的原始数据，大幅减少了需要上传和处理的数据量，提升了响应速度。

其次，是处理链路的优化，旨在打造高效的“感知-决策”流水线。安森美致力于优化从传感器到AI处理器的整个数据通路，确保高质量数据能以最低延迟和功耗被利用。其Hyperlux系列或其他图像传感器负责捕捉原始光线信号，并将其转换为数字图像数据。AP系列ISP(如AP1302、AP0202AT)用于图像信号处理，典型架构是：传感器输出原始图像数据进入ISP完成降噪、去马赛克、色彩校正与增强等一系列图像质量增强处理，再把处理后的数据传送给下游的处理器或系统。安森美也提供为整个成像模块供电的电源管理芯片，如LDO稳压器(NCP163)

和DC-DC转换器(NCP6324)，并提供完整时钟管理方案，为传感器和ISP提供稳定、低噪声的电源轨和同步的时钟信号，来为整条处理流水线保驾护航。

最后，通过平台化与工具链支持，大幅降低边缘智能系统的开发门槛。这是安森美推动边缘智能落地的关键。通过PRISM平台及其生态系统，安森美把相机/成像模块早期开发中重复度最高的环节做成可复用的参考模块与连接体系，帮助客户更快完成原型验证、平台联调和图像质量评估，减少从零开始的工程投入。其中，在平台化的参考模块与接口标准化上，PRISM提供经过验证和测试的参考模块，并采用通用标准化连接器，便于在不同传感器之间灵活切换，同时配套DEMO 3与相关开发套件，用于快速上手与原型搭建。在适配器生态以及接入SoC/AP平台上，提供多种适配器，支持将PRISM模块更顺畅地接入不同SoC平台进行系统联调，并支持与合作伙伴生态中的硬件适配器/开发套件配合使用。在开发工具链支持上，聚焦“配置-采集-评估”，配合DevWareX，开发者可以对图像传

感器进行参数配置与编程、实时显示画面，并对信噪比、动态范围等图像质量指标进行评估，从而更高效地完成验证与优化闭环。

总结

如今，无人机的“传感应用革命”正深刻推动其从“被遥控平台”向“自主智能节点”转变。传感器技术(如图像传感、dToF)的突破与边缘智能的融合，为其提供了“感官”与“大脑”，实现了从远程操控到自主决策的质变。

未来，无人机将深度融入通感算一体化网络，与卫星、地面设备协同，构建立体智能的低空数字生态。

通过5G-A/6G与AI的赋能，它不再是单纯的数据采集器，而是能感知、分析、决策的空中智能体。从电力巡检到物流配送，它将作为关键感知节点，成为连接物理与数字世界的空中桥梁，

以前所未有的方式拓展人类行动的边界，塑造更安全、高效的低空经济新图景。EET



无人机集群：规模化重塑未来作战格局

作者：Pat Brans

在美国，劳伦斯·利弗莫尔国家实验室(LLNL)处于无人机集群技术研究的前沿。该实验室于2024年获得美

国联邦航空管理局(FAA)的批准,可在两年内运营多达100架自主无人机,从而得以开展大规模的协作自主实验。

据LLNL自主传感器项目副负责人Brian Wihl介绍,这项认证具有开创性意义。在美国,大多数无人机研究都是通过模拟进行的;即便使用实体设备,也仅限于在受限的测试区内操作少量飞行器。LLNL首次能够在接近实战的环境中,探索规模与协调问题。

“这不仅仅关乎科学——更是为了获得现实世界中存在的系统。”Wihl向笔者表示。

集群的重要性

传统无人机一次只能出现在一个地方,而集群改变了这一等式。“它们提供了冗余性。”Wihl解释道,“即便其中一架发生故障,任务仍可继续。它们还能让你同时出现在多个地点,探测或监视多个目标。此外,通过混合不同的能力,即我们所说的‘异构集群’,你可以创造出大于各部分总和的整体性能。”

LLNL的机械工程师James Reimer将此称为“力量倍增”:协作自主性使多架无人机能够分工合作,比单个系统更高效地完成任。不同的无人机可能搭载不同的传感器——一架配备热成像仪,另一架配备激光雷达,第三架则具备射频探测能力。通过融合这些多样化的数据流,集群能够构建出比任何单架无人机都更为丰富、更具智能的环境视图。



图1: 30架无人机组成的集群在LLNL试验场上空形成圆形队形。(来源: Blaise Douros/LLNL)

Wihl强调,集群技术也关乎“抽象化”。操作员不再需要对每架无人机进行微观管理,因为集群能够理解更高层次的指令。你无需手动操控并拍摄图像,而是可以直接向整个群体下达命令。展望未来,Wihl认为大型语言模型将使操作员能用自然语言指挥集群,从而降低认知负荷。

Wihl表示,LLNL的原型机通常在项目启动后一年内就会部署到与任务相关的环境中。关于集群的研究也不例外,预计其成果将支撑以下实际任务:

- 情报、监视和侦察(ISR): 为集群配备多样化传感器,用于绘制危险区域地图或发现敌对活动。
- 威胁检测与拦截: 识别并应对化学、放射性或爆炸性威胁。
- 能源与基础设施安全: 利用无人平台监控电网、管道和发电厂。
- 快速响应行动: 将集群应用于灾害救援、搜索救援及应急通信。

Wihl指出,这一广泛的关注点反映了LLNL的双重使命: 军事防御

与保障国家能源系统安全。

规模化是核心挑战

操控一架无人机很容易,但操控一百架则不然(图1)。Wihl表示,目标是下达抽象指令(如“覆盖该区域”),然后让集群自行处理轨迹、感知和协调等细节。这需要高度复杂的自主性。

然而,规模化绝非易事。让集群变得强大的特性——并行性、适应性和异构性——也正是使其难以协调的原因。每增加一架无人机,都会增加通信开销,提高碰撞风险,并成倍增加保持集群同步的复杂性。

在接受笔者采访时,土耳其科贾埃利大学(Kocaeli University)航空航天工程系助理教授Yunes Alqudsi博士将这一讨论置于更广阔背景下。他表示,集群协调的难点不仅仅在于计算无人机的数量,还取决于通信拓扑结构与带宽、感知与环境动态的限制、决策架构以及任务分配策略。

“算法必须生成动态可行的轨迹,并尊重每架无人机的动力学特性。随着



图2: LLNL自主传感器项目的成员正在进行集群测试——一名机长(PIC)控制着整个集群,同时三名视觉观察员向机长传递相关信息。(来源: Blaise Douros/LLNL)



图3: LLNL测试场地的鸟瞰图。(来源: LLNL)



图4: LLNL主园区入口附近的一处区域。(来源: LLNL)

集群规模扩大,保持稳健的避障能力至关重要,包括无人机之间以及无人机与障碍物之间的避障。”

不同的决策架构在平衡效率与可扩展性方面差异巨大。在集中式系统中,一个控制器拥有全局视野并分配任务,这能确保最佳协调,但也造成了单点故障风险和严重的可扩展性限制。相比之下,分散式架构赋予每架无人机自主权,使集群更容易扩展并对故障保持鲁棒性——但这往往以牺牲效率和完整性为代价。混合式方法试图兼收并蓄,既拥有用于战略指导的全局监督,又有用于战术执行的局部自主性,这使其成为大型复杂集群的极具前景的选择(图2)。

Alqudsi的大部分研究都集中在克服集群规模化面临的挑战。在2025年的一篇综述中,他合著了一篇论文,指出协调路径规划、任务分配和编队控制是主要障碍。通信瓶颈和轨迹冲突会随着集群规模的扩大呈指数级增长。要维持数百架无人机的同步,需要能够实时重新规划的算法。

该论文还指出,另一个问题在于控制的结构。集中式架构能保证完整性但难以扩展;分散式方法可扩展,但可能导致效率低下或不完整的解决方案。将局部自主性与全局监督相结合的混合方法或许是唯一的出路。

Alqudsi的团队提出了针对这些痛点的框架,包括一种将任务分配与动态可行轨迹规划相结合的架构,以及一种混合优化系统,该系统

电子科技领域 领先的技术机构媒体之一

工程师、采购、企业决策者的优质信息来源

系列专业技术网站

- AspenCore 致力于为全球电子行业的工程师、设计研发、采购和管理人员提供信息服务
- 8个亚太专业技术网站为亚洲具规模的工程师在线社群提供信息服务，同时也为引领电子制造业发展的工程师、采购及企业经理提供决策所需信息
- 权威、专业的资深产业分析师团队深入挖掘特定市场，报道并分析当地市场新闻和趋势；各地资深分析师协同合作，推出跨地区的全面报道和分析
- 每月发布 8,500+ 则业界新闻、产品信息、应用实例、视频、博客文章等

EE Times & EDN Asia & ESM China

- ✓ www.eet-china.com (简体中文)
- ✓ www.eettaiwan.com (繁体中文)
- ✓ www.eetasia.com (英文)
- ✓ www.eetindia.co.in (英文)
- ✓ www.ednchina.com (简体中文)
- ✓ www.edntaiwan.com (繁体中文)
- ✓ www.ednasia.com (英文)
- ✓ www.esmchina.com (简体中文)



在线注册



系列杂志出版物



完成订阅后，每月杂志寄出的第一时间，您即可在微信上收到快递物流信息 (发送方：AspenCore 电子工程智库)，快捷方便！

能同时求解集群目标的最优分布以及每架无人机目标的最优排序，从而最大限度地减少总任务时间和飞行距离。他们的学术研究为在障碍物密集环境中运行的集群指出了可扩展的解决方案(图3)。

显而易见，解决规模化问题并非单纯的技术好奇——它将决定集群能否以有意义的规模部署到现实任务中。集群规模越大，防御难度就越高。“发射数百架廉价无人机，远比部署足够的雷达和拦截器来阻止它们要容易得多。” Wihl说道。

由于集群能够适应变化——分裂、重组或以异构战术压倒防御——传统的干扰或动能拦截等方法能力有不逮。Alqudsi认为，防御

将需要分布式、人工智能驱动的反集群系统：这些系统必须能像进攻性威胁一样具备适应能力。

民用应用

集群在军事上的强大之处——覆盖范围、冗余性和适应性——同样使其成为人类难以进入或成本高昂区域执行任务的理想选择(图4)。“需求是发明之母，而战争最能催生这种需求。” Wihl感慨道。幸运的是，军事上的紧迫性往往能带来民用领域的福祉。

除了战场，无人机集群还可用于实时绘制野火地图、地震后运送医疗物资，或监测数千公顷农田的作物健康状况。学术研究还强调了其

他领域：协同重型载荷运输、分布式环境感知和基础设施检查。单个集群可同时监测水质、检查输电电缆并中继应急通信。

无人机集群体现了现代机器人技术的希望与隐患。它们具备可扩展性、冗余性和效率——但也引发了关于安全、伦理和控制的深刻问题。

随着LLNL和学术研究人员不断推进，决定性的议题在于规模化：如何在牺牲安全性或可预测性的前提下，协调数百个自主代理。成功或将重新定义战争，重塑产业格局，并改变人类监督与机器自主之间的平衡。EET



无人机集群： 从“科幻”到田间地头的商业实战

作者：Aery Bizkaia公司创始人Vladimir Spinko

无人机(UAV)集群的相关研究约在2015年前后从理论转向实验，从学术模型走向工程实践。如今，将其集成到应用项目中已具备可行性。

从工程和经济角度来看，集群的优势显而易见。在无人机运营中，人员成本可能占总成本的70%，而协同自主操作可将成本降低高达30%，这主要得益于劳动力的减少，而非“科幻式的效率”。

值得注意的是，“集群”一词经常被误用。灯光秀或预先编程的机队由中央控制，需要持续监控。相比之下，真正的集群依赖于去中心化的共识、局部自主性和动态成员构成，允许无人机在不重新设计系统的情况下加入或退出集群。

无人机集群究竟是什么？

无人机集群并非仅仅是一群执行共

同任务计划的无人机。这是一个分布式系统，其模型源自蚂蚁、蜜蜂或鸟群等自然群体——在这些群体中，协调无需中央控制即可实现。这种类比并非表面意思：同样的工程原理使得大型群体能够在没有主节点的情况下可靠运行。

核心特征：

- 去中心化决策：没有层级结构或中央控制器。每个单元执行相同



非接触式 交流电压/电流/电弧探测/记录仪



Non-Contact AC Voltage / Current / Arc Fault Detector / Data Logger

及早探测寻找故障隐患！保障生命及财产安全！



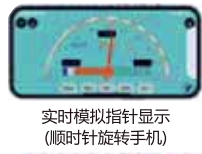
发射数据到智能手机/平板电脑

发射数据到智能手机/平板电脑

无线连接读数显示



实时读数显示



实时模拟指针显示
(顺时针旋转手机)



实时数字图表显示
(逆时针旋转手机)



场景拍照
附带日期记录



历史存档/
数据存档



历史存档 / 数据
归档的照片 (iOS
用户, 需通过照片
库查看存储的
图片与分享)



发送分享
测量结果



可兼容
数据记录仪

电弧产生



● NCVD, 精准数字式探测AC电压强弱波幅



● NCCD, 精准数字式探测AC电流强弱跳动



● AFD, 在电线 / 多芯电缆外层探测异常‘电弧’状况



● AFD, 探测甚至可以在铝装的或者铜皮线内所产生异常‘电弧’状况

MS-BAFD1

MS-BAFDD1
带记录功能



● 排座负荷过重, 产生跳制或者过热引起火灾



● 电线老化, 破损导致短路产生电弧, 火花引起火灾

专利已获得
中国 德国 日本
加拿大 意大利
台湾 中国香港
中国香港



● AFDD, Data logging, 可以长时间在线路中监测异常‘电弧’发生并记录储存 (仅限MS-BAFDD1)



● 插头与插座松动, 接触不良, 局部过热产生火花引发火灾



● 电线捆绑或者被重压, 热量无法逸散从而短路引发火灾隐患



● 电器污积散热通风空间不够, 或者故障长时间高用电量导致发热引起火灾隐患



● 施工欠佳; 装修疏忽; 宠物破坏导致漏电或者火灾



MEET (China) LTD.
MANUFACTURER AND EXPORTER



Flat 1509, 15/F., Westin Centre, 26 Hung To Road, Kwun Tong, Kowloon, Hong Kong.
香港九龍觀塘鴻圖道26號威登中心15樓1509室
Website : www.meet.com.hk www.meetprofessional.com meetishop.com
Tel : +852 29504689 E-mail : sales@meet.com.hk



Copyright © 2026 MEET (China) LTD. All rights reserved.

MEET (China) LTD.
www.meet.com.hk

**7合1
多功能**

感应表 (NCCVMeter®)

带外接转接器

让多芯电缆上的测量成为可能！

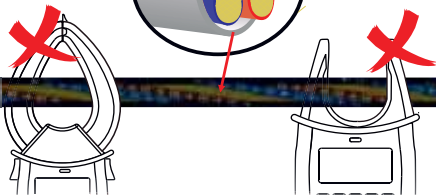
屏蔽电缆也可测量

尖端科技！

旋转电缆
或者

电缆上
进行扫描

多芯电缆/屏蔽电缆



传统式的钳表不可能在
多芯电缆上进行测量！
(磁场相互抵消)



MEET (China) LTD.
www.meet.com.hk

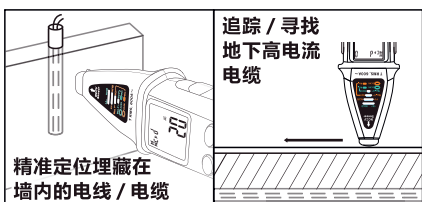


双向
与智能手机/
平板进行通讯

显示完整信息

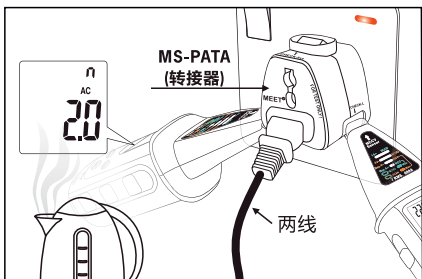


型号: MS-PATA (UK)
外接便携式电器测试转接器

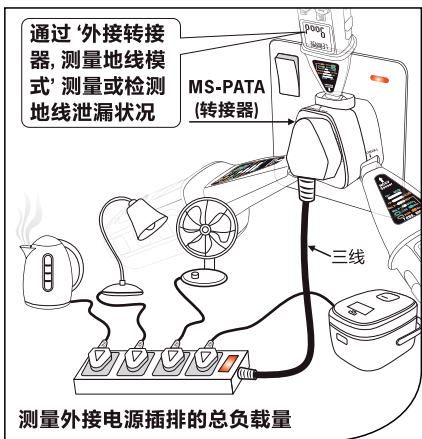


精准定位埋藏在
墙内的电线/电缆

• 探测埋藏带电电流电线



• 测量家电/办公室设备等用电量



• 测量家电/设备漏电状况

型号: MS-W26AN

1000V CAT. III
600V CAT. IV

产品荣获多项奖项



2024 电子业金奖
(HKEIA)
(香港)

2024 欧洲
产品设计奖
(欧洲, 香港区, 台湾)

2024 EE Times
金选法人研发奖

2024 香港
发明金奖
(香港)

2025 世界
电子成就奖
(中国)

2026 日内瓦
国际发明金奖
(瑞士, 日内瓦)

专利已获得
中国 德国 日本
加拿大 意大利
台湾 中国香港
中国香港



目录



操作视频

的规则，响应本地输入，并根据附近无人机的情况进行调整。

- 行为同步：实时持续调整位置、速度和状态。
- 同质性：每个无人机都具有相同的能力，确保冗余性和容错性。
- 无需显式通信即可达成共识：集群通过共享规则和本地感知运行，无需高带宽网状链路。

在集群机器人技术中，无人机的添加或移除是一项基本设计特性，称为动态成员关系。无论单元的加入或离开是由于电池耗尽、故障还是任务重新分配，集群都必须保持稳定和功能正常。鲁棒性源于避免单点故障：单个无人机的损失不应影响任务的完成。

新成员的加入通常遵循可预测的顺序：检测/发现→识别→同步→角色分配。移除操作与之类似：损失检测→系统更新→角色重新平衡。

多种算法方法支持这些操作，包括主从模型、基于共识的模型和行为驱动模型。所有这些方法都旨在保持任务完整性，同时实现快速适应。

这种设计确保性能几乎呈线性扩展：更大的集群可以更快地覆盖区域并提高整体弹性，这是其相对于传统多无人机系统的关键工程优势之一。

无人机集群的实际应用

应用集群操作结合了机载智能、任务驱动的决策以及多个无人机之间的协同行为。在农业领域，无人机群

正被用于变量施肥的测试。每架无人机都配备机载计算机、可实现厘米级定位的RTK GPS以及多光谱相机和肥料罐等有效载荷。

操作员设定目标(例如，仅处理营养缺乏区域)。一架无人机通过NDVI检测到低磷区域；如果它能够处理该区域，则施肥。否则，任务将重新分配给最近的具备相应能力的无人机。无人机群在田间循环作业，最大限度地减少浪费并优化产量。

重要的是，如果从字面上理解“自主集群”这个名称，则并不准确。集群自主性存在于人机协作的连续谱系中：

- 远程操控：直接控制单个无人机；并非真正的集群操控。
- 共享控制：操作员监督集群；无人机负责编队、避障和执行本地任务。
- 监督控制：操作员设定目标；集群自动组织执行。
- 完全自主：无需人工干预即可操作，仅在紧急情况下需要手动干预。由于安全和监管方面的限制，该功能仍处于实验阶段。

目前大多数农业无人机部署采用共享控制和监督控制相结合的模式。这种平衡既保证了效率和可扩

展性，又使人能够“参与其中”以确保安全。监管障碍依然显著：美国联邦航空管理局(FAA)直到2024年才批准首个农业无人机群(Hylío)，这凸显了该领域在正式认证方面仍处于起步阶段。

通信需求常遭误解。人们往往以为无人机要在网状网络中持续交换高带宽数据。但实际上，高效的无人机群设计旨在最大限度地减少通信，容忍低带宽、间歇性和丢包的链路。协调依赖于本地感知和偶尔的更新，而不是持续不断的数据洪流。苏黎世联邦理工学院等研究团队已经证明，有限的位置共享和传感器融合足以满足地图绘制和协调需求。

更少的通信通常意味着更高的稳定性。一个设计良好的无人机群不应在带宽下降时崩溃——它应该仅需极少的通信即可继续运行。这在国防领域尤为关键，因为在通信条件恶劣的情况下保持稳健的性能至关重要。

无人机集群应用场景：未来五年最现实的应用

未来五年，集群技术将在那些大面积覆盖、实时数据和分布式协调能够带来远超运营成本价值的领域发

类别	采用集群技术前(占比)	采用集群技术后(占比)
人员	70%	40%
燃料/能源	10%	10%
设备	15%	30%
软件与通信	5%	20%

表1: 运营成本分布。

挥最显著的作用(表1)。

农业是近期最明显的应用案例

无人机集群能够按需提供田间作业信息，并行执行多项任务，并在不增加相应劳动力的情况下扩展作业规模，其性能优于单架无人机和传统有人驾驶飞机。潜在应用包括作物监测、土壤和植物分析、精准喷洒、协同播种以及通过多角度成像进行三维重建(表2)。早期发现病虫害或干旱等胁迫因素对于保障作物产量尤为重要。

成本仍然是一大障碍。在美国，租用一架有人驾驶的农作物喷洒飞机，每飞行小时的成本仍然约为150美元——由于通货膨胀，这个数字如今可能被低估了。不过，更常见的情况是，农民们会按处理面积计算成本，平均每英亩7至20美元，这更加凸显了无人机如今大规模竞争的难度。

然而，硬件价格已今非昔比。十年前售价超过6000美元的多光谱NDVI相机，现在只需500美元左右即可购得；而配备有效载荷的集群无人机组装成本约为1000美元。这种断崖式下跌主要归功于大疆创新(DJI)推动的机身、自动驾驶仪和传感器的批量生产。

硬件不再是瓶颈。机身、自动驾驶仪和传感器的价格比十年前便宜了几个数量级。如今，根据有效载荷的不同，建造一个具备集群飞行能力的平台成本约为1000美元。挑战在于软件——真正的群体智能、自适应算

行业	实施潜力	主要效果
农业	80%	降低成本，增加作物产量
人道主义排雷	60%	提高安全性，加快行动速度
物流	40%	仓库自动化，优化货物配送
安防/监控	30%	扩大监控覆盖范围
建筑	25%	结构状况监测

表2: 无人机集群应用(2025至2030年)。

法和认证都需要大量的研发投入。这些成本如今已经超过了硬件本身。

研究原型凸显了这一转变。哈佛大学的RoboBees项目展示了去中心化的微型无人机如何在有效载荷和续航能力严重受限的情况下，协同监测农田。类似的实验表明，群体无人机无需大型昂贵的平台即可大规模创造价值。

简而言之，硬件的可负担性已经提高到成本不再是主要障碍的程度。运行准备取决于软件的成熟度和监管的适应性，而这两者现在主导着部署时间表。随着稳步推进，高价值的农业群体无人机有望在五年内实现商业化。

人道主义排雷： 高影响力群体无人机应用

传统的人道主义排雷工作缓慢且成本高昂，排雷小组往往需要调查数十个误报才能找到一枚地雷。无人机群可以改变这种现状：实地试验表明，其探测准确率高达98%，从而缩短了勘测时间并提高了安全性。

集群中的每架无人机都可以携带多波段雷达载荷。例如，L波段用于地下探测，X波段用于浅层高分辨

率扫描。机载人工智能会根据土壤类型、植被情况和预期的爆炸物残留物选择最佳频率。当一架无人机探测到异常情况时，附近的无人机会自动汇聚，从多个角度和雷达波段重新扫描该区域。然后，数据会被汇总成高精度的污染地图，使清理小组能够集中精力处理已确认的热点区域。

目前仍存在一些技术瓶颈：

- 机载处理：目前的系统通常将雷达数据传输到地面进行分析。实时异常检测和集群级协同需要无人机具备更高的计算能力——预计到2027年左右才能实现商业化。
- 定位：危险区域的集群需要足够精确的GPS和目视里程计来避免漂移；协同雷达扫描需要亚分米级的精度。
- 天线设计：紧凑、轻便的多频段天线仍然是一个尚未解决的工程难题。虽然目前有一些商用型号，但业界需要更多针对特定应用的解决方案来提升性能。降低天线质量可以直接通过减少有效载荷重量来延长飞行时间。罗马大学(Sapienza University)的早期原型展示了无人机搭载的探地雷达，但大多数原型仅在单一频段工作。

芯聚鹏城 · 链启新程

——IIC Shenzhen 2026 前瞻电子产业新风口

洞察产业风向，解锁技术先机，IIC Shenzhen 2026 打造集产业峰会、高端论坛、创新产品展示、技术互动于一体的专业平台。

本届大会亮点抢先看：

- ✓ **全球领袖巅峰对话：**聚焦半导体创新、供应链等核心议题，拆解 2027 年产业趋势，提前卡位行业风口。
- ✓ **实战技术干货扎堆：**覆盖高效电源管理、AI + 消费电子、工业 4.0 等细分论坛。
- ✓ **权威奖项评选：**电子产业创新领域专业评选，公信权威，是企业技术实力与商业价值的重要标尺。
- ✓ **全链条精品展示：**覆盖 IC 设计、AI 工具、车规电子、绿色能源半导体等领域，贯穿 研发 - 设计 - 应用全链条，精准对接技术需求。

2026 国际集成电路展览会活动日程

12 月 2 日	12 月 3 日
• 2026 全球 CEO 峰会	• 2026 全球分销与供应链领袖峰会
• 2026 年度全球电子成就奖颁奖盛典	• 2026 年度全球电子元器件分销商卓越表现奖颁奖盛典
• AI + 消费电子应用论坛	• 第 32 届高效电源管理及宽禁带半导体技术应用论坛
	• 国际工业 4.0 技术与应用论坛

主办单位：ASPENCORE

官方媒体：电子工程 EE Times China 专辑 EDN China 设计 电子技术设计 ESM China 商情 国际电子商情

预定展位或参与演讲请联系：angel.he@aspencore.com (+86 755 3324 8104) !



立即报名



参展 / 赞助申请

硬件并非唯一的挑战。实时雷达处理和集群协调需要高密度的机载计算能力。这将是未来几年实现可靠的人道主义应用的关键所在。

预计到2020年代末，这些限制将得到解决，届时，人道主义排雷与农业一样，将成为无人机集群近期最具影响力的应用之一。自主性和机械化在此尤为重要：无人机能够独立处理的任务越多，在危险区域作业的人员所承受的体力劳动和安全风险就越小。

物流：

无人机集群中的分布式智能

物流本质上是一个分布式系统，具有多个目的地、动态调度和资源限制等特点。集群自然而然地契合了这一问题。自主集群可以根据无人机的位置、电池状态、有效载荷重量和距离来分配配送任务，实时优化吞吐量，同时相比单无人机或集中式模型，显著提升系统的韧性。

技术可行性并非主要障碍——

监管才是。传统配送方式仍然更便宜、更安全，任何事故(例如包裹掉落砸伤路人)都会立即引起监管机构的审查。认证需要数万飞行小时、鲁棒的空域集成程序、飞行员监督以及与载人飞机的安全交互。预计这些障碍比技术本身更能延缓大规模部署。

在受限环境中，已有基于集群原理的商业试点项目。例如，ZenaDrone公司利用无人机群进行室内库存管理：无人机协同扫描货架、追踪零件并实时更新库存。这些系统依赖于视觉标记或激光雷达测绘，而非GPS，虽然目前仅限于仓库，但它们展示了分布式协同如何减少人工劳动并加快物流流程。

在物流领域，瓶颈不在于集群智能，而在于认证。我们可以构建可扩展的系统，但向监管机构证明其安全性所需的时间将远远超过技术本身的研发时间。

无人机集群的技术展望及行业应用

集群技术在规模化、适应性和分散式决策至关重要的领域能够发挥最大价值。多架协同工作的无人机在速度、精度和效率方面均优于单架无人机。

主要的技术障碍在于机载处理：无人机必须实时分析传感器数据并协调任务。解决这一问题对于实际部署至关重要。

未来五年，农业很可能成为首个大规模应用市场。小型无人机可以取代大型车辆进行喷洒和监测，从而降低认证的复杂性和监管门槛。

关于自主性的迷思正在消散：集群并非完全独立。监控控制系统能在确保人机交互与安全的同时，实现可扩展的自适应操作。

凭借价格合理的硬件、成熟的传感器、易于开发的软件以及监管方面的挑战，当前是针对高价值应用进行定向部署的最佳时期。EET



续航翻倍，氢燃料电池重塑无人机作业

作者：Pat Brans

大多数小型无人机依然依赖锂电池，这通常将飞行时间限制在4h以内。对于需要远程监视、长时巡检或在恶劣环境下作业的任务而言，单靠锂电池显然力不从心。

为了深入了解如何延长无人机的续航能力，笔者采访了两家处于该领域前沿的公司。第一家是波音子公司Aurora Flight Sciences。“我们将

的创新成果，转化为面向小型无人机领域的产品。”Aurora公司产品高级总监Jason Grzywna表示，“我们的重点是1类和2类无人机，重量上限约为25kg。”



用芯美好世界

CHIPS DELIGHT THE WORLD

企业简介 | ENTERPRISE CULTURE

珠海市杰理科技股份有限公司成立于2010年8月，是一家专注于系统级芯片(SoC)的集成电路设计企业，主要面向蓝牙音视频、智能穿戴、智能物联终端等领域，为全球市场提供高规格、高灵活性与高集成度的芯片产品。公司秉承“用‘芯’美好世界”的企业愿景，致力于成为融合射频、音频、视频、信息采集与处理等技术的平台型芯片设计企业。

目前，公司已获得各类知识产权800余项，荣获“工信部制造业单项冠军企业”“国家高新技术企业”，先后设立“博士工作站”“博士后创新实践基地”“广东省科技专家工作站”“国家级博士后科研工作站”，公司产品多次获得“中国芯”优秀市场表现产品奖、“全球电子成就奖”等荣誉。面对日新月异的科技发展，公司将继续坚持自主研发，持续专注于智能终端芯片平台化研发和拓展，为我国集成电路行业发展贡献力量。



公众号



抖音号



视频号

SKIRON-XLE平台正是该战略的旗舰产品。像SKIRON这样的2类无人机无需跑道或其他基础设施，可由小规模团队在野外操作。SKIRON-X是该平台的锂电池动力版本；而SKIRON-XLE则采用氢燃料电池，将持续时间延长至以往只有大型3类系统才能达到的水平。Aurora希望借此以更低成本带来颠覆性的能力。

第二家公司是Intelligent Energy，该公司25年前作为大学衍生企业成立，凭借其在氢燃料电池领域的专业优势发展壮大。如今，该公司销售四条产品线，涵盖从发电机替代品到汽车应用等各个领域。由Andy Kelly领导的IE-SOAR部门专注于无人机业务。

“核心任务是将先进技术集成到可靠、易用的系统中。” Kelly表示，“最终用户无需操心氢能问题——他们只需要一个像锂电池或柴油发电机一样好用的产品。”

当Aurora急需一种紧凑、可直接替换且无需大改机身的燃料电池时，他们首先通过一项严谨的调研，考察了多家燃料电池供应商。最终，Intelligent Energy凭借其紧凑封装和满足功率密度要求的产品脱颖而出。“令人欣喜的是，他们的产品在我们测试时确实如宣传的那样有效。” Grzywna说道。

氢燃料电池的优势与挑战

氢燃料电池最大的优势在于续航能力。Aurora的SKIRON-X配备标准锂电池时，可提供3.5h的飞行时间。而



图1: 壳牌管道检测采用哈里斯空中水力探测仪和智能能源氢燃料电池。(来源: Avisight/壳牌)

采用Intelligent Energy的燃料电池系统后，SKIRON-XLE的续航时间翻倍至7h。

Kelly指出，在其他无人机平台上，续航时间的提升更为显著——“我们有浮空器可以飞行20至30h，还有旋翼无人机，其续航时间可达锂电池动力的2到5倍。”

Kelly认为，在监视、应急响应以及管道和海上风电场的线性巡检方面，需求强劲。他表示，在这些场景下，“更长的飞行时间至关重要(图1)。”

更长的续航时间也解锁了全新的任务模式。超视距(BVLOS)作业，即无人机飞行在人类飞行员目视范围之外时，借助氢动力变得更加切实可行。

“超视距作业正是这项技术大放异彩的地方。” Grzywna表示，“一名操作员可以巡检80km的输电线路，从而无需沿线部署多个团队。对于国防应用而言，更长的续航

意味着可以从更远、更安全的距离执行任务。而且，由于SKIRON重量不足25kg，它非常便携，无需跑道即可部署。”

经济效益同样显著。虽然燃料电池的前期成本较高，但其设计运行时间可达数千小时，而锂电池仅为数百小时。这降低了每飞行小时的成本，尤其适合高利用率的运营商。Kelly还指出，充氢更加便捷——耗时仅为一到十分钟，而给锂电池充电则需要数小时。

但从Aurora的角度来看，更广泛的供应链才是真正的挑战。

“军方采用氢能的一大障碍在于物流供应链的集成——目前尚未实现。” Grzywna解释道，“在商业领域，许多公司已在使用氢气，并能利用现有供应。但当客户问‘我们从哪里获得氢气?’时，我们需要给出清晰的解答。”

集成燃料电池也带来了一系列新挑战。燃料电池的外形与锂电池平

智驱万物，芯嵌未来

论坛汇聚全球顶尖的 MCU 制造商、半导体专家、系统集成商、软件开发者及行业领袖，深入探讨 AI 赋能边缘计算、RISC-V 生态发展、功能安全与信息安全、异构计算 SoC 设计、下一代人机交互等前沿议题，共同剖析技术趋势，分享最佳实践。

✓ 垂直领域聚焦

深度解析 MCU 在低功耗设计、高性能计算、安全加密等关键领域的最新突破，帮助工程师第一时间把握技术走向；同步呈现嵌入式技术在物联网、人工智能、汽车电子等热门应用的最新成果。

✓ 强大嘉宾阵容

特邀头部企业技术专家、资深学者与行业领袖，分享前沿理念、趋势洞察与实战经验。

✓ 高价值网络：最新产品展示，资源精准对接

汇聚国际大厂与本土新锐的芯片、模组、解决方案，配套 Demo 演示与商务对接，一站式获取前沿技术，为项目选型与创新赋能；通过圆桌讨论、线上直播及专属社群，促成跨行业硬件专家的深度交流与共研。

同期举办：

- 2026 第七届国际AI+IoT 生态发展大会
- 第六届电机驱动与控制技术及应用论坛

主办单位：ASPENCORE

官方媒体：电子工程专辑 EDN China 电子技术设计 ESM China 国际电子商情

预定展位或参与演讲请联系 angel.he@aspencore.com (+86 755 3324 8104) !



免费报名参会



参展 / 赞助申请

台不同，因此需要采用不同的重量分布和热管理方案，而这对于飞机设计至关重要——尤其是对于SKIRON这类封闭式机身无人机而言。

Aurora和Intelligent Energy合作开发了解决方案，包括用于冷却的气流通道和机翼安装的氢气瓶。

“当我们在机翼上安装两个氢气罐而不是一个时，Intelligent Energy迅速调整了他们的系统，使其能够读取两个压力值并提供精确的燃料余量。” Grzywna说道。

燃料电池还可以与锂电池混用。在SKIRON-XLE中，燃料电池与锂聚合物备用电池配合使用，确保在燃料耗尽或系统故障时安全着陆。该架构还支持起飞和着陆：四个升力旋翼消耗的功率超过了燃料电池的单独输出功率，因此锂电池可以填补功率缺口，并在飞行中重新充电。

经验教训与展望

早期项目的经验塑造了当前一代的产品。Kelly提到了与壳牌合作进行

管道巡检，以及与英国国防部合作开发监视无人机。“这些项目为我们提供了宝贵的反馈。例如，我们改进了系统处理电机再生电流的方式——锂电池能自然吸收这种电流，但燃料电池需要额外的电子设备。实际应用也让我们了解了操作人员的真实操作习惯，这与实验室的假设有所不同。”

Aurora的早期飞行测试揭示了一些意想不到的优势。定制的加长型储罐虽然并非完美符合空气动力学，但产生的阻力比预期更小，续航表现优于保守模型的预测。测试还突显了一些实际限制，例如关于运输高压储氢气瓶的交通部规定，在某些情况下，这些规定迫使操作人员必须在作业现场进行充氢(图2)。

展望未来，Kelly强调将持续提升功率密度和降低成本，并研发更轻、性能更高的储氢气瓶。Intelligent Energy也正与标准制定机构密切合作，确保认证工作与创新步伐同步。

与此同时，Aurora秉持技术中立的立场。“我们致力于打造性能最佳、飞行时间最长、最环保的产品。” Grzywna表示，“氢燃料电池完全符合这些要求。但我们也密切关注新兴的锂电池技术和混合动力技术。我们将始终追随客户需求。”为了方便客户在不重新设计飞机的情况下切换动力源，Aurora设计了一种可更换的机头锥，既能容纳锂电池，也能容纳燃料电池系统。

五年后，氢燃料电池无人机将处于何种水平？监管将起到决定性作用。在美国，联邦航空管理局(FAA)正在推进BVLOS运行规则的制定，一旦最终确定，将有望打开巨大的市场。“BVLOS批准在未来五到十年内势在必行。” Grzywna指出，“一旦法规到位，需求将会激增。”

然而，氢能若想大规模普及，就必须融入更广泛的物流系统。“如果只有无人机使用氢能，那么其普及将受限。” Grzywna警告说，“但如果叉车、车辆和其他设备也采用氢能，供应链就会随之扩展——无人机也将从中受益。”

Kelly持乐观态度：“在公用事业巡检和国防等领域，氢能的应用将强劲增长，因为这些领域我们的优势最为显著。随着成本降低和操作人员对氢能愈发熟悉，包裹递送等商业应用也将接踵而至。”

Aurora和Intelligent Energy的合作凸显了氢动力无人机的前景与挑战。通过将续航时间翻倍、降低声学 and 热信号特征以及实现模块化设计，



图2: 一名操作员操控着Aurora公司的SKIRON-XLE, 这是一款2类无人机。(来源: Aurora Flight Sciences)

燃料电池让2类无人机拥有了以往只有大型系统才具备的能力。

从热管理到燃料物流，技术难题依然存在，但两家公司正通过务实的工程设计和紧密合作来攻克难

关。随着法规的完善和氢能基础设施的成熟，燃料电池无人机有望成为巡检、监视和国防领域的标准工具。

目前，SKIRON-XLE就是一个有力证明：氢燃料电池不再仅是实验

室项目，而是正为真正的飞机提供动力，执行实际任务，并重新定义小型无人机能力。EET



假肢手能达到人类般的灵巧度吗？

作者：Rebecca Pool

在2026年国际消费电子展(CES)上，意大利生物工程公司BionIT Labs展示了将基于人工智能(AI)的仿生假肢手集成到人形机器人后的效果(图1)。这款名为“亚当之手”(Adam's Hand)的假肢手被集成到意大利机器人初创公司Oversonic Robotics生产的两个平台上：一款名为Robee R的工业机器人及其医疗版本Robee M。在意法半导体(ST)和英特尔的展位上，BionIT Labs团队通过现场演示展示了这款假肢手的多功能性，Robee R能够举起重物，而Robee M则可以握手并支持人机交互(图2)。

随着越来越多的人形机器人进入生产线，BionIT Labs的创始人兼首席执行官Giovanni Zappatore坚信，将公司已在人体上验证有效的AI机械臂集成到人形机器人中，将真正打造出具备工厂级耐用性和灵巧性的机器人。“物理AI可以推理、规划和预测，但如果没有灵巧性，它就无法行动。”他说道，“人形机器

人在行走和与环境互动方面取得了长足的进步，但它们的短板在于双手——它们仍然无法可靠地抓取物品、握持物体并在物品滑落时调整抓握力，也无法承受实验室外各种颠簸和灰尘的侵袭。”

“耐用性和灵巧性都存在不足。”他补充道，“但亚当之手的设计初衷就是为了让AI与现实世界互动。”

深入了解亚当之手

亚当之手的第一个原型早在2018年

就已研发完成。当时，Zappatore和他的同事们希望为残障人士打造一款能够无缝适应使用者，而不是让使用者去适应假肢的假肢。七年过去了，研究人员已经制造出一款搭载智能电子系统、先进机械装置和AI的机械臂，目前已有超过150名人类用户和两个人形机器人正在使用(图3)。

作为一款肌电假肢，亚当之手依靠残肢肌肉的肌电信号(EMG)来控制假肢的运动。肢体表面的电极检测肌电信号，这些信号反映了用户想要进行的肌肉收缩——无论是张开



图1: Giovanni Zappatore于2018年创立了BionIT Labs公司，致力于研发人类假肢；目前，该公司正将亚当之手假肢集成到人形机器人中。(来源：BionIT Labs)

或合拢手掌，还是抓取物体。采集到信号后，这些信号会被处理并转换成控制指令，驱动与假肢相连的电机，从而产生预期的手部动作。

为了兼顾灵活性和耐用性，亚当之手目前采用单指拇指和四根双指手指的设计(图4)。所有手指都具有两个自由度，并由掌心的单个电机驱动。作为假肢使用时，亚当之手的手指能够自动“寻找”物体，因此用户无需预先选择抓握模式即可拿

起每个物体。“对人类而言，这可以降低认知负荷，随着时间的推移，还能减轻肌肉疲劳，同样的道理也适用于人形机器人。” Zappatore说道。

同样的道理也适用于在工厂车间工作的人形机器人。“许多人形机器人缺乏足够的传感密度和机载处理能力，无法在接触状态下可靠地管理众多独立的自由度，因此，这种‘零成本’的适应性改进至关重要。” Zappatore解释道。

但这只是Zappatore认为亚当之手能够为工业人形机器人提供未来在工厂车间所需的灵巧性和耐用性的原因之一。该机械臂还配备了惯性测量单元，用于测量运动、姿态和加速度。目前，其指尖正在升级，加装压力传感器(用于检测法向力和剪切力，从而分析滑动和摩擦力)以及热传感器。人形机器人操作的物体大多会发生滑动和位置变化，但这些传感器将有助于提供更好的闭环控制，并帮助机器人始终如一地小心处理易碎物品，避免过度抓握。

“针对我们的假肢手，我们还在控制系统本身运行了一种基于AI的算法，该算法可以解读肌电信号并将其映射到用户意图，从而使假肢无需依赖云端连接即可快速响应。” Zappatore说道，“这套系统建立在反射机制之上，有助于解读感觉信号，从而改进校准并从过去的交互中学习，使假肢随着时间的推移变得更加稳定，而无需不断重新调整。”

“除此之外，我们还有一个遥测层，用于记录假肢的使用方式及其状态随时间的变化。”他补充道，“所有这些都助于改善假肢的使用体验，并有助于机器人部署中的调试。”

作为与ST合作的一部分，BionIT Labs也致力于充分利用ST的微控制器(MCU)，这些MCU集成了AI，可在边缘端进行本地数据处理。“将更多智能转移到机械臂上，在人形机器人与人类互动时，将产生显著的影响。” Zappatore说道，“运动学和动



图2: BionIT首席执行官Giovanni Zappatore在2026年CES展会上与Oversonic Robotics配备亚当之手的人形机器人合影。(来源: BionIT Labs)



图3: 构建亚当之手。(来源: BionIT Labs)

力学将更加高效，人形机器人也会更加安全，因为它能够立即对突发事件做出反应。”

显然，作为一款假肢，亚当之手必须并且正在持续地生成大量数据，用于实际应用，这些数据可以传输到人形机器人，用于在工厂车间抓取和放置物体。据Zappatore介绍，BionIT仍然会使用来自仿真的数据，但仅用于补充真实世界的的数据。“我们的数据更具情境性。”他说道，“此外，由于假肢使用者和机器人使用的手是相同的，我们的转换层也更加简洁。这样更容易复制人类的运动。”

走向现实应用

对于人形机器人而言，亚当之手是一款即插即用的机械臂，采用标准接口，便于集成。它预计将支持多种通信协议，包括CAN、RS-485、以太网和无线接口。“在软件方面，这款机械臂计划原生兼容ROS2，我们将提供一个SDK，使机器人平台无需重新设计现有代码库即可集成传感、控制和遥测功能。”Zappatore表示，“我们正在努力与英伟达的生态系统进行更紧密的集成，因为它在人形机器人领域应用广泛。”

“目标很简单：降低已在该代码库上进行开发的团队的磨合成本，使这款机械臂成为他们开发流程中的一流组件。”他补充道。

鉴于其强大的力量、抓握力和适应不同形状的能力，Zappatore认为，集成到人形机器人中的亚当之手



图4：亚当之手目前拥有一个单节拇指和四个双节手指，可以举起重达45kg的物体。（来源：BionIT Labs）



图5：亚当之手目前已在超过150名用户身上进行测试——下一步将应用于人形机器人。（来源：BionIT Labs）

将特别适合拣选箱体等任务。在耐久性测试中，该机械臂完成了超过100万次的开合循环，并能承载高达45kg的重量，Zappatore估计这几乎是其他类似系统有效载荷的两倍。

“关键在于我们并非从实验室原型开始。”他说道，“亚当之手已经过开发，并在超过150名用户的日常实际使用中进行了测试——在各

种不可预测的环境下，它整天都在应对各种污损。这种现场测试很难模拟(图5)。”

目前，Zappatore和他的同事们正在对这款机械臂进行改进，包括提高其精度，并尝试不同的指尖设计以优化对小型物体的抓握。他们还将探索更高的自由度。“这对我们来说很容易做到，无需增加额外的控制复

杂性。” Zappatore说道。

不过, BionIT Labs在研发灵巧机械手方面并非孤军奋战。英国的Shadow Robot公司、中国的DexRobot公司以及美国的假肢专家Psyonic公司等, 都在研发能够抓取、适应环境并感知周围环境的多自由度机械臂。更有趣的是, 瑞士洛桑联邦理工学院和麻省理工学院的研究人员开发出一种灵巧机械手, 它可以从机械臂上脱离, 像蜘蛛一样爬行, 抓取并搬运机械臂够不到的物体。

与此同时, 像Appttronik和Sanctuary AI这样的人形机器人开发商也在研发机械手, 这凸显了灵巧机械手对于现实世界中的机器人至关重要。正如Appttronik的产品负责人告诉笔者的那样: “这只手实际上是一个完整的机器人——这是人形机器人面临的最大挑战之一。耐用性也很重要——拥有一只能够在工业环境中长时间工作的机械手至关重要……因此, 我们正致力于打造能够胜任这项工作的合适机械手。”

对Zappatore来说, 这就是他工

作的意义所在。他坚信, 一款耐用、适应性强、灵巧的机械手, 能够胜任繁重重复的任务, 并可靠地操控物体, 才能真正推动人形机器人从仓库试验走向广泛应用。

“归根结底, 人形机器人可以被视为手的载体。” 他说道, “手是我们感知世界的方式, 所以如果能拥有一款真正可以复制手部功能的机械臂, 那无疑将带来颠覆性的变革。” **EET**



传感器创新为视障人士开启无障碍新时代

作者: TDK公司新兴传感器事业部产品营销总监Massimo Mascotto

智能手杖与智能眼镜即将为低视力或失明人士开辟自主与安全的新路径。

这些专为部分或完全失明人士设计的产品, 构成了智能设备中一个独特细分品类——辅助设备。它们提供的远不止是便利; 对于视障人士而言, 这些产品能帮助他们更好地融入这个为健全人设计的世界。

白手杖的革新

目前, 多家公司正在研发智能手杖技术。例如, WeWalk公司已将盲人及视障人士长期使用的传统白手杖, 改造

为高科技辅助设备的典范。

以WeWalk Smart Cane 2为代表的产品集成了蓝牙技术, 可将手杖与用户的智能手机连接。用户通过手杖手柄上的小型触控板即可控制智能手机的基本功能。此外, 手杖还配备了麦克风和扬声器(后者来自知名音频公司哈曼)。

尽管这些技术如今已司空见惯, 但当它们集成于一根手杖上时, 效果却非同凡响。当一只手已握着手杖(并且随时可能需要另一只手进行移动、导航、保持平衡, 甚至阅读盲文)时, 能够解放双手, 通过智能

手机访问信息和导航应用, 无疑是一种解放。

采用高品质扬声器是一项经过深思熟虑的设计选择。耳塞虽是备选选项, 但可能适得其反。能够听到环境音, 例如临近的车流声, 至关重要。同时, 其他辅助技术发出的听觉提示也需清晰可闻, 例如无障碍行人信号灯(APS)发出的语音指令或提示音, 用以指示何时可以安全进入人行横道。

传统手杖仅能探测脚部高度的障碍物。WeWalk在其Smart Cane 2中巧妙地融入了MEMS超声波飞行

时间(ToF)传感器和两个触觉执行器,从而增强了这一功能。MEMS超声波传感器可探测胸部和头部高度的物体。一旦侦测到障碍物,手杖便会发出警示音并激活触觉反馈,提供触觉提醒。

采用MEMS超声波传感器是另一个深思熟虑的设计决策。其在检测透明和半透明物体方面远优于摄像头;在检测木材(例如树枝等障碍物)方面,也优于雷达,且恰好是这三种传感器中最轻的。摄像头看似是显而易见的选择,但不采用摄像头可避免潜在的隐私问题。

辅助眼镜

尽管谷歌眼镜、亚马逊、Lucyd及其他多家公司仍在为大众市场开发智能眼镜,但一些公司正专注于为部分或完全失明人士提供智能眼镜。

这类眼镜的理念与智能手杖类似:盲人使用免提技术辅助导航的效果最佳。

一家名为iVision Tech的意大利公司参与开发了一款名为iSee One的智能眼镜,专为失明用户设计。该项目的其他参与者还包括USound和TDK集团旗下的Invensense公司。与大多数专为盲人设计的智能眼镜一样,iSee眼镜旨在辅助而非取代手杖的使用。

与WeWalk Smart Cane 2类似,iSee眼镜内置蓝牙,可与智能手机无缝连接。眼镜框上嵌入了直观的控制按钮,实现轻松操作。由USound设计并嵌入镜腿的先进

MEMS扬声器,可传送高保真音频,同时不遮蔽用户对环境的感知,确保更安全、更沉浸的体验。

iSee眼镜同样采用了MEMS超声波ToF传感器,目的与WeWalk Smart Cane 2一致——检测地面以上的障碍物。

该公司表示,这款眼镜可通过3D打印按需制造,并采用尼龙材质以尽可能减轻重量。

未来展望

面向盲人的辅助设备融合了现代电子系统用户所熟悉的诸多功能。语音输入与音频技术已与智能音箱完美结合;无线连接是个人电子设备互联的通用方式;用于物体检测和导航的传感器在汽车、无人机及其他半自动或全自动系统中也已广为人知。

未来的辅助技术同样将基于丰富的传感器阵容,包括:

- 用于捕捉语音输入的麦克风;
- 用于运动检测、定位和导航的惯性测量单元(IMU)——IMU又由加速度计和陀螺仪及磁力计等传感器组成;
- 用于物体检测和测距的MEMS超声波ToF传感器;
- 用于通过检测垂直运动辅助导航的压力传感器(例如,用于判断电梯升降)。

这些技术或许耳熟能详,但当它们以新颖的方式结合在手杖、眼镜等特定产品形态中时,便能创造出创新且影响深远的辅助产品。

WeWalk Smart Cane 2和iSee

眼镜等产品的成功,应激励设计工程师探索如何以新颖的方式和形态结合现有与新兴技术,从而开发出其他实用的辅助技术。

继智能手杖和眼镜之后,还可能出现哪些类型的设备?这纯属推测,但我们不难想象,未来或将出现用于监测那些无需全天候医疗监护但仍存在某些医疗或情境风险人群状态的设备;这些风险可能涵盖健康状况或行动障碍等。

MEMS超声波传感器正日益普及,在辅助产品中或许尤为有用。基于ToF的监测器为患者提供了更大自主性,使他们能在侵入性最小的情况下继续居家生活并接受安全监测。

结语

大多数消费电子产品(包括健康与健身设备)的核心价值主张是便利性。而智能辅助产品绝非仅仅为了方便;它们弥补了那些被世界视为理所当然、但许多人却并不具备的感官能力。

首批智能辅助设备正在为盲人和视障人士创造机会,让他们能够以更大的自主性、安全性和自信心出行。这些产品基于成熟技术,并以新颖的方式和特定形态组合而成,这表明,只要稍加想象并怀有触达新受众、实现更大影响力的愿望,便能创造出其他安全、可靠、经济高效且极具实用价值的辅助设备。EET



现实世界中，AR需要多亮才算足够亮？

作者：Lumus公司副总裁David Goldman

亮度一直是增强现实(AR)显示设计的核心。但在品类发展早期，它多被当作理论问题——人们常在受控环境中做优化、孤立测量，仅凭参数规格而非实际体验展开讨论。

一旦显示屏真正佩戴在用户脸上，亮度就不再只是参数表上的峰值数字，而是直接关系到信息能否在日常各类光照环境中持续清晰可见。

室内可读性从来都不是真正的考验

多数室内环境亮度稳定可控。这正是早期不少AR演示效果出色的原因：受控光照下，即便亮度有限的系统也能表现优异。这种室内表现，让许多设备产生了“已准备就绪”的错觉，让人误以为亮度问题已基本解决。事实上，户外阳光——AR显示屏面临的巨大挑战——尚未被真正攻克。

阳光强度可达数万勒克斯(lux)。与智能手机、平板电脑以不透明屏幕替代真实场景不同，AR眼镜需直接与真实环境光竞争。若显示屏无法在强光下维持足够对比度，数字信息便会彻底消失。

AR眼镜究竟需要多亮？

室内光照稳定，AR内容仅需几百至一千尼特(nit)适中亮度，即可呈现清晰画面。进入户外，挑战呈指数级上升——日光亮度远超室内照明，AR

系统需向人眼投射数千尼特亮度，远高于传统消费电子显示屏的需求。

独立显示分析师Karl Gutttag在近期商用AR眼镜分析中指出了这一趋势：到2025年，AR眼镜日光下输出亮度需达2000nit及以上，才能具备实用的户外可用性。

这一性能标准接近汽车抬头显示器(HUD)或户外标识，而非普通消费电子设备，却需集成至厚度与普通镜框相当的眼镜中。

亮度悖论

将大量光线导入紧凑的光学引擎，并非仅靠功率提升就能解决。光线抵达人眼前，需依次经过反射镜、衍射光栅、透镜等光学元件，每一次交互都会造成光强损耗。因此，投影仪的初始亮度必须远高于人眼最终感知的亮度。

然而，注入更多光线也会带来新问题：更高亮度往往伴随更高功耗、面部附近更多热量或更大光学引擎体积，进而制约镜框的轻薄设计。

光学架构成为决定性因素

不同波导设计的光路处理方式差异显著。多数光学方案中，光线穿过镜片时会反复分束、衍射或散射，光量持续衰减，只能通过提升投影仪亮度、增加功耗来补偿。

几何(反射式)波导则采用不同思

路：引导光线在内部受控的反射镜和透射镜之间传播，不依赖衍射，从而在光路中保留绝大部分原始亮度。

其优势在于画面更明亮、光学效率更高，让AR眼镜无需承担高亮度带来的散热与功耗压力，即可实现日光级显示效果。部分光学引擎的亮度效率可达4000nit/W以上，下一代产品还将进一步提升。高效光学设计，让眼镜在轻量化形态下，依然能实现户外清晰显示。

归根结底，光学效率决定了高亮度是停留在理论层面，还是能真正落地。

AR的普及意味着为现实世界而设计

当前上市的AR眼镜，仍在探索实际应用边界：设备愈发轻便、功能日趋完善、佩戴也更符合社交礼仪。但其实用性，最终取决于数字信息在真实场景中是否能稳定可见。

当AR眼镜不再需要用户迁就光照环境，而是主动适配不同光线条件时，这项技术才能真正成为可靠的日常工具。

在此背景下，亮度不再是妥协的短板，而是推动AR从“依赖场景”走向“可靠实用”的核心能力。EET



文章链接
请扫描二维码



智联万物，“数”驱未来

2026年7月16日 · 深圳

2026 第七届国际 AI+IoT 生态发展大会将聚焦“技术融合、产业变革、场景落地、生态共建”四大维度，探讨和分析 AIoT 技术的前沿进展、落地挑战与市场前景。

活动规划：

- 国际 AIoT 生态发展高峰论坛
- AI 机器人论坛
- 智能家居与可穿戴技术论坛
- 2026 年度 AIoT 创新奖
- AIoT 现场创新展示

行业聚焦：

5G/6G、AI 芯片、传感器、存储器、处理器、工业物联网、智能家居、可穿戴、机器人、车联网等

同期举办：

- 2026 MCU 及嵌入式技术论坛
- 第六届电机驱动与控制技术及应用论坛



免费报名参会



参展 / 赞助申请

主办单位：ASPENCORE

联合主办：深圳市新一代信息通信产业集群

官方媒体：[ESM China 国际电子商情](#) [电子工程专辑](#) [EDN China 电子技术设计](#)

赞助及展览咨询：Angel.He
电话：+86-755-33248104
邮箱：Angel.He@AspenCore.com

利用电调参考设计简化无人机电机控制

作者：英飞凌科技Christian Schoeffmann和Nenad Belanic

无人机正变得越来越普及，它不仅为各行各业的诸多需求提供了经济高效的解决方案，也催生了蓬勃发展的消费级市场。无人机的应用范围十分广泛，而技术的进步正不断开拓新的使用场景。

“多旋翼飞行器”、“无人驾驶飞行器”(UAV)和“无人机”这些术语经常被混用——本文将统一使用“无人机”一词。目前的无人机在尺寸、速度和航程上差异巨大，既有重量不足1kg的微型消费级机型，也有速度可达350km/h、航程长达300km的强大倾转翼机型。

本文将探讨当今无人机的电子

技术，并聚焦于电子调速器(ESC，简称电调)的解决方案，分析其如何在简化电机控制方面发挥关键作用。

无人机技术概览

如今的无人机高度精密，将最先进的电子技术与航空航天工程融为一体，封装在紧凑轻量的机身之中。

图1展示了现代无人机电子系统的关键功能模块。其中，飞行控制器是无人机的“大脑”，它接收来自多个传感器的数据和飞行员的指令，并计算出需要发送给每个电调的控制信号。传统的驱动架构通常为每个电机配备独立的电调。

每个电调接收这些指令后，将其转换为驱动相应电机的信号。所有电子元器件均由电池供电，电池管理系统(BMS)负责确保电量充足，并让飞行员实时掌握剩余续航里程。

最后，云台是一种用于稳定相机或其他有效载荷的系统，它利用电机驱动载荷在多个轴向上运动，确保载荷在无人机移动或产生振动时依然保持稳定。

无人机电调详解

让我们更详细地了解电调的工作原理及其对电机的控制机制。

一个电调包含以下几个关键元



图1: 无人机电机控制功能模块图，包括电池与BMS、电调、云台和飞行控制器。(来源：英飞凌)

器件:

- 微控制器(MCU): 解读飞行控制器发出的信号以及电机位置数据, 并据此向栅极驱动器发送脉冲信号。
- 栅极驱动器: 接收MCU发出的低电压信号, 将其放大后传递给MOSFET。
- MOSFET(功率开关): 作为电子开关, 为电机供电, 从而控制其转速和方向。
- 电流检测: 提供反馈信号, 以实现精确控制。

无人机通常采用无刷直流(BLDC)电机。MOSFET发出的信号在高低电平之间快速切换, 从而改变电机线圈的相位, 驱动转子旋转。

确定MOSFET向电机发送脉冲信号的格式有多种协议。其中最简单的是脉冲宽度调制(PWM): 高电平的“导通”脉冲为电机供电, 而低电平的“关断”脉冲则停止供电。因此, 脉冲的宽度(时间)直接决定了电机的转速。此外, 无人机常用的协议还包括Dshot和CAN, 它们能提供稳健的数字通信, 从而提升无人机性能并解锁新功能。

英飞凌电调如何简化无人机设计

图2展示了电调关键模块的连接方式: MCU向栅极驱动器发送信号, 后者再驱动MOSFET(图中配置为三相逆变器)。MOSFET的输出端最终连接电机。

图中还展示了传感器如何向

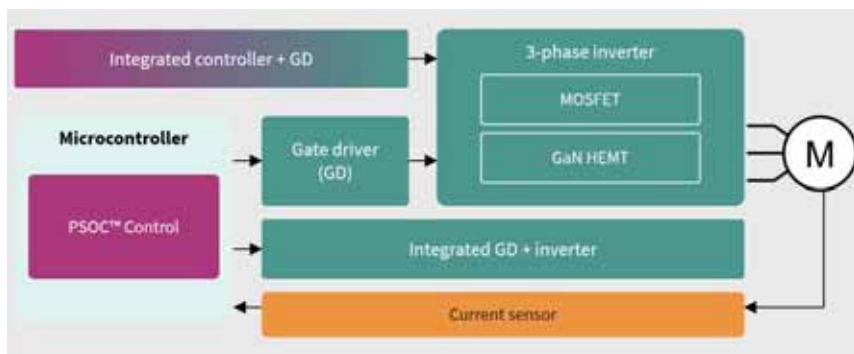


图2: 电机控制关键元器件示意图, 包括MCU、栅极驱动器、MOSFET和传感器。(来源: 英飞凌)

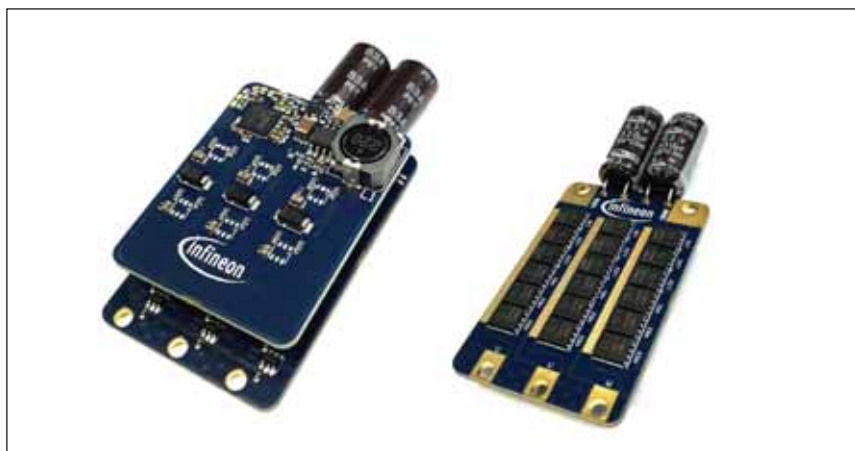


图3: 无人机电机驱动参考设计, 展示了电源板(左)和组装完成的电路板(右)。(来源: 英飞凌)

MCU提供电机位置反馈, 以最大化BLDC电机的控制精度。在某些无传感器设计中, 电调会根据电机定子绕组中感应的“反电动势”电压来判断电机位置。当然, 也可以使用霍尔效应传感器直接检测电机位置。

在实际应用案例中, 印度科技初创公司Reflex Drive在其无人机电调中选用了英飞凌的OptiMOS 80V和100V功率MOSFET。这使得Reflex Drive的电调实现了优异的热管理和高效率, 从而达到了高功率密度。

这些电调还可集成英飞凌的MOTIX IMD701控制器解决方案, 该方案将MCU和栅极驱动IC合二为一, 提供精准可靠的电机控制。这不仅提

升了无人机的性能和可靠性, 还延长了飞行时间。

Reflex Drive的电调采用无传感器磁场定向控制(FOC)技术, 以提高电机效率和控制精度。这些电调重量仅为180g, 却能提供3.8kW的持续功率输出。因此, 它们适用于推力在15至20kg范围内的电机, 可广泛应用于农业喷洒、种子播撒和小规模物流等无人机作业。

首款面向大众市场的即用电调解决方案

为了简化开发流程并缩短产品上市时间, 英飞凌开发了一款适用于无人机电机驱动的即用电调参考设计, 并

提供完整的开源软件支持。该系统名为REF_ESC_48V_80A_FOC，是英飞凌首款无人机电机驱动参考设计。

该参考设计由两块电路板组成：逻辑(或控制)板和电源板，采用堆叠式结构，如图3所示。它基于高性能PSOC Control C3 MCU，该芯片采用Arm Cortex-M33内核，集成了数字信号处理器(DSP)、浮点运算单元(FPU)以及丰富的片上外设和存储器，使其成为电机驱动的理想选择。

电源板包含三个并联的SSO8 N沟道功率MOSFET(4mΩ)，采用英飞凌OptiMOS 8技术。设计提供了两种选项：一种是采用4mΩ MOSFET的成本优化方案，另一种是采用1.8mΩ

MOSFET的顶级性能方案。电源板还配备了大容量电容和三个基于隧道磁阻(TMR)技术的电流传感器，用于测量相电流并反馈给电流控制器，从而实现FOC。

逻辑板则集成了MCU、辅助电源单元和栅极驱动电路。其控制算法支持无传感器FOC，速度控制基于英飞凌电机控制库V3.0。

图4展示了该参考设计的框图。降压转换器将输入直流电压转换为15V，供栅极驱动IC使用。15V电源轨再通过线性稳压器转换为3.3V，为MCU、电流传感器和温度传感器供电。

系统采用简单的电阻分压网

络来检测电机控制器的总线电压。电源板上的栅极电阻用于控制功率MOSFET的dv/dt(电压变化率)。电流传感器采用非侵入式设计，无需与开关节点进行直接的电气连接。

该设计的输入电压范围为24V至60V，可提供高达60A的连续输出电流和80A的峰值电流，输出功率最高可达2kW。

借助PSOC Edge E84套件轻松实现飞行控制

PSOC Edge E84 AI套件旨在为下一代智能边缘设备提供动力，将高性能、安全性和能效集成于单一平台。其先进的多核架构使得复杂的

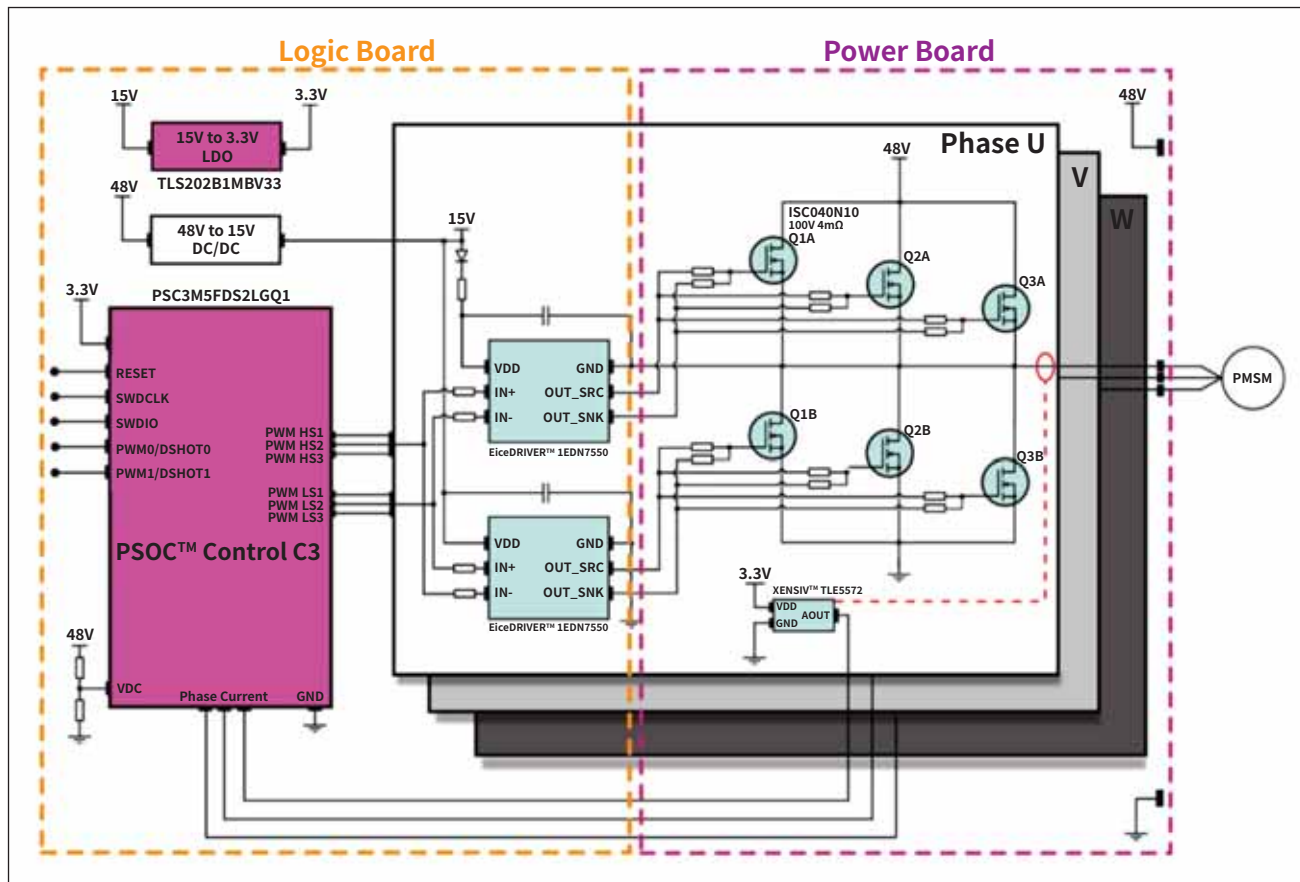


图4: 无人机电机驱动参考设计框图。(来源: 英飞凌)

飞行控制算法可在400MHz的Arm Cortex-M55内核上运行,同时辅助的Arm Cortex-M33内核负责管理传感器采集、外设和I/O,确保零干扰和最高系统效率。

内置的Arm Ethos-U55神经处理单元(NPU)加速器将边缘AI能力直接带到设备端,无需依赖云端即可实现实时传感器融合、状态估计和视觉自主导航。

该平台具备PSA Level 4安全等级,支持安全启动、加密固件更新和受保护的密钥存储,以防范对飞行控制系统的篡改。MCU采用22nm超低功耗工艺制造,最大限度地提高了电池效率,有助于延长续航时间并优化单次充电的性能表现。

该套件配备了英飞凌的雷达、数字和模拟麦克风、气压传感器以及AIROC Wi-Fi和蓝牙组合芯片。

英飞凌无人机全方位解决方案

英飞凌为无人机提供“一站式”解决方案,凭借广泛的产品组合和全球支持团队,为多旋翼飞行器、无人机以及未来的载人飞行器提供完整且即用的方案。

英飞凌的无人机产品组合涵盖了所有关键半导体器件,包括功率电子、控制器、安全认证芯片、无线连接模块和传感器。这意味着它可以满足每一个功能模块的需求,涵盖飞行控制器、电调、遥控器、云台、BMS和电池电源管理。


通过采用英飞凌稳健且高品质的半导体和传感器,制造商可以设计出体积更小、功率更高、续航更长的无人机。其元器件能够实现精准简便的飞行控制,以及强大的安全认证功能——这一切都具备高品质与可靠性。

无论无人机尺寸大小,该方案都能帮助设计人员快速入门,并以创纪录的速度将新产品推向市场。

例如,即使在电机、飞行或人机界面控制方面经验不足,设计人员也可以基于PSOC控制器和PSOC MCU快速部署解决方案。此外,利用参考设计和ModusToolbox MCU编程平台,项目开发周期可缩短30%。

电调参考设计成就高效可靠的解决方案

本文探讨了无人机的关键电子系统,并重点分析了电调在电机控制中的核心作用。文中讨论了电调各元器件的功能,以及参考设计如何帮助构建可靠且高效的系统。

借助英飞凌的优质元器件,设计人员可以打造出更轻便、更易操控、航程更远且续航更持久的无人机。参考设计将大幅减少开发工作量,加速产品上市进程。 



利用晶体传感技术辅助无人机导航

作者: 爱普生集团产品经理David Gaber

设计人员希望降低无人机系统在各类应用中的成本,但同时仍需保证精准的定位数据。然而,这并非易事。

目前已有多种卫星定位系统,例如美国的GPS、欧洲的伽利略、印度的NavIC以及中国的北斗系统,均能提供米级定位数据。但这些系统

需要借助惯性测量单元(IMU)来增强定位精度,因为IMU能够提供更精确的定位数据,这一点至关重要(图1)。

IMU通常是一种能够测量六个方向运动的传感器,并配备加速度计以检测运动幅度。惯性测量系统(IMS)的开发者会利用定制算法(通

常结合机器学习),将这些数据与卫星数据及无人机系统的其他数据进行融合处理。

IMU对于精确控制无人机及其外围设备(例如用于保持相机稳定的云台)至关重要,它不仅能提供精确的定位数据,还能补偿无人机的振



图1: IMU对于无人机及其外围设备(例如用于保持相机稳定的云台)的精确控制至关重要。(来源: 爱普生)



图2: 压电晶体增强了IMU的精度和稳定性。(来源: 爱普生)

动。虽然可以通过多种传感器实现这种稳定性,但要长时间提供低噪声、高稳定且精准的信息,往往意味着传感器价格昂贵且功耗高。

这对于中空长航时(MALE)无人机而言尤为重要。这类无人机设计用于在3048至9144m的高度进行长时间飞行,续航时间有时超过24h。它们通常用于覆盖范围广泛的军事监视、情报收集和侦察任务。因此,这些中空长航时无人机需要一套运行可靠、稳定且能在宽温范围内工作的相机系统,以便对采集到的任何数据进行精确的位置标记。

一种在保证高精度的同时降低IMU成本的方法是使用压电石英晶

体。这项技术已相当成熟,其原理是在晶体上施加振荡电场,并通过晶体两端的差分触点来检测运动变化。

针对用于中空长航时无人机的高稳定性IMU,通常使用三个晶体,每个晶体对应一个轴,并以千赫兹范围内的不同频率进行激励,以避免串扰。差分输出可以消除晶体中的噪声和振动影响。

压电晶体在高稳定性IMU中的精密工程设计

采用晶体方案可以获得低噪声、高稳定性和低变异性的数据。压电晶体高度线性的响应特性使其能够对从慢到快的宽范围运动进行高精度测量,

从而让IMU能够应用于广泛的领域。

端到端的开发流程使得每个晶体的设计都能针对导航应用所需的频率以及差分触点进行优化。所有这些设计都与封装和组装工艺一同优化,从而确保传感器在整个使用寿命期间保持高度线性且稳定的性能。

该技术融合了25年来在传感器湿法刻蚀光刻领域的丰富经验,并拥有数十项专利。这使得传感器良率高达90%以上,平均偏置偏差低至0.5%(单元间差异)。

首先,通过对石英晶体进行初始切割,实现晶圆的频率平衡。随后,对晶圆进行湿法刻蚀光刻,形成一个2mm长的四点悬臂梁结构。该结构上蚀刻有凹槽,用于与外部进行引线键合。

这种四点结构是一个双音叉,包含检测叉和位于中心的两个较大的驱动叉。差分输出可以消除杂散噪声或其他信号。

与机械加工的MEMS结构相比,这种结构制造更简单,且具有更高的长期稳定性,器件间的一致性也更好。

差分结构和低串扰特性使得三个器件可以紧密安装而不相互干扰,这有助于减小IMU的尺寸。低通滤波器有助于降低串扰风险。

随后,将六轴晶体传感器与加速度计集成到IMU中。对于中空长航时无人的云台应用,该加速度计必须具有高动态范围,以应对空中作业的速度和振动影响。压电晶体的线性优势使其能够精确感知传

传感器的旋转，且精度不会随速度提高而降低(图2)。

这款商用加速度计经过优化，可提供更高的动态范围，并搭配低功耗微控制器(MCU)和温度传感器，而这些组件在目前无人机制造商使用的低成本IMU中并不常见。

该MCU技术已在工业传感器领域发展多年，可在保持高性能的同时降低外围设备的功耗。

MCU用于提供多种补偿，包括温度补偿和老化补偿，从而为IMU制造商提供简单、稳定且高质量的输出。石英晶体在-40°C至+85°C的宽温度范围内也能提供非常可预测的性能，因此MCU上的补偿已足够，IMU无需进行额外的补偿，从而降低了计算需求。

所有这些对于校准程序也至关重要。确保IMU易于校准是降低成本的关键，而这得益于晶体固有的稳定性。

校准安全的安装技术

安装技术对于传感器的校准和稳定

性也至关重要。使用表面贴装技术(SMT)将元件安装到电路板上时，例如通过回流焊炉，电路板会暴露在高温下，这可能会破坏校准并以不可预知的方式改变元件的使用寿命。

为了解决这个问题，该方案采用了一种带有连接器的模块，这样就可以将1英寸(25×25×12mm)的元件直接焊接到印刷电路板(PCB)上。这避免了使用回流焊工艺进行表面贴装，从而防止了高温对传感器校准的干扰。

航天级IMU设计

研发团队还为航天应用开发了一种高性能的IMU变体。除了石英晶体传感器外，该IMU还采用了自主研发的高性能加速度计。石英晶体传感器本身不受低地球轨道和中地球轨道辐射的影响，并且与一个负责温度补偿的MCU配合使用，这对于在昼夜温差极大的轨道上运行至关重要。


该传感器安装在充氮气的密封陶瓷封装内，与地面版本相比，其灵敏度和可靠性更高。这使得这款

基于石英的传感器适用于各种空间应用。

下一代IMU研发

目前正在探索的下一代刻蚀技术有望将噪声水平降低至目前的十分之一，并提高温度稳定性。这些工艺改进使得悬臂梁结构的边缘更加清晰，从而增强了传感器的整体稳定性。

实现精确可靠的无人机定位需要将先进的IMU与卫星数据集成。在无人机系统的IMU中使用压电石英晶体具有显著优势，包括低噪声、高稳定性和降低成本，而商用加速度计和优化的MCU则进一步提升了性能并最大限度地降低了功耗。

安装和校准程序确保了长期精度和可靠性，从而为各种系统提供稳定且节能的控制。这一切都得益于在石英晶体开发、传感器设备的设计和实施方面的端到端专业知识，从刻蚀技术到安装能力。 



氮化镓为人形机器人提供动力

作者: Sonu Daryanani

人形机器人旨在模仿人类的动作，其在众多应用领域正展现出强劲的市场增长势头。电机控制是机器人设计中的关键环节。本文将概

述基本的电源架构，以及作为核心组件的电力电子器件的要求，并列举宜普公司(EPC)提供的解决方案示例。

人形机器人的应用与增长

人形机器人曾一度被认为是科幻小说中的产物，如今正逐渐成为跨多个市场领域的自动化可行解决方

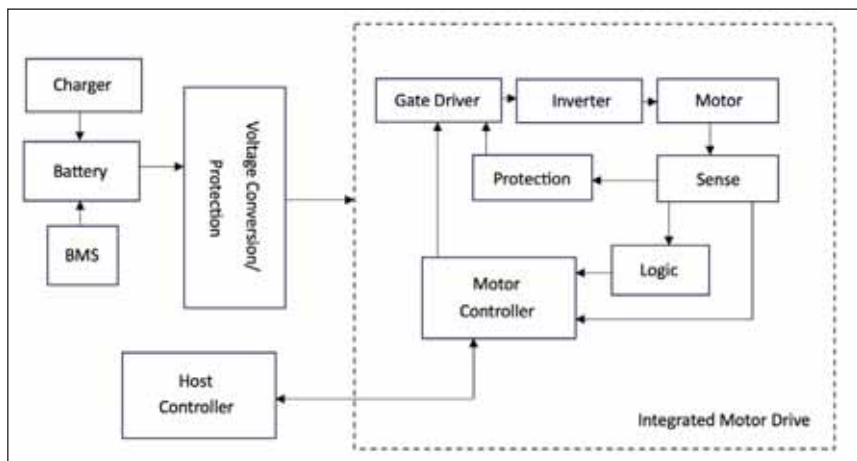


图1: 人形机器人电源架构的简化框图。(来源: Sonu Daryanani)

案。根据高盛研究公司的数据, 2025 年全球人形机器人出货量在15,000 至20,000台之间, 预计未来十年将保持超过40%的强劲复合年增长率(CAGR)。推动增长的因素包括运动控制的改进(设计迭代周期缩短至一年以内)、人工智能(AI)自训练软件的使用, 以及随着供应链选择增多而带来的成本降低。此类机器人的主要市场领域包括工业自动化、仓储、家政服务、医疗保健和农业。

人形机器人应用的电源架构

图1展示了一款简化的人形机器人电源架构框图。电池通常采用低于60V 的安全特低电压(SELV)。

48V母线电压是常见选择, 也是在保证安全的前提下, 能够降低功率损耗并减轻设备重量的最高电压。DC/DC转换器用于为栅极驱动器、伺服、传感器和控制器提供所需的工作电压。电池管理系统(BMS)则负责电芯监控和安全保障。目前已有能够实现自充电或自主更换电池的人形机器人, 这可以减少停机

时间, 从而提高运行效率。

逆变器为电机提供交流电源。栅极驱动器、逆变器、电机和电机控制器共同构成了一个紧密耦合的系统, 可以进行协同优化。永磁同步电机(PMSM)是通常的选择, 因为它能提供更平稳、更精确的性能。

驱动电路的小型化使得集成电机驱动成为可能, 即将电机及其驱动和传感电路集成在一个封装内, 如图1所示。这减少了线缆损耗和电感, 从而改善了动态响应。人形机器人的不同部位有着不同的要求:

- 手腕和手部需要的功率较低, 通常为10至100W。自由度(DOF)定义了机器人能够执行的各种运动类型。人手的自由度约为27, 而大多数商用人的手部自由度约为6。目前, 更先进的人形手臂正在被开发, 例如特斯拉的Optimus机器人, 据报道其拥有25个自由度。因此, 对于需要安装大量电机的高自由度机器人而言, 电机及其驱动电路的小尺寸至关重要。通过降低转矩脉动的

设计可以实现更精确的运动, 而更高的逆变器开关频率能够实现这一点。

- 脚踝、颈部和肩部需要的功率范围为100至300W。尺寸要求相对不那么关键。
- 肘部需要的功率范围为1至2kW。散热性能和安全性是关键因素。
- 膝盖和髋部功率需求最高, 从2.5到5kW不等。功率和热效率以及功能安全至关重要。快速开关可提高系统转矩并降低电流纹波。

通常, 出于安全考虑, 机器人外壳的温度应保持在55°C以下。由于除最先进的系统外, 通常无法使用有源冷却, 因此在满载条件下, 逆变器器件温度的升高是一个重要的考虑因素。

氮化镓(GaN)高电子迁移率晶体管(HEMT)在人形机器人转子逆变器中的优势

与硅(Si)MOSFET相比, GaN HEMT在人形机器人逆变器电机驱动应用中具有多项优势:

- GaN HEMT的开关速度可以比硅MOSFET快10倍以上, 使电机能够以更高频率运行, 从而降低电机绕组和铁芯损耗, 提高整个系统的功率效率。
- 更高的频率可以降低转矩脉动, 允许转矩控制拥有更高的带宽, 从而实现更平稳、更精确的电机控制。
- GaN优异的品质因数(FoM)使其能够实现更小的外形尺寸, 从而更容易在此类空间受限的应用中开发

集成电机驱动器。

- 增强型(e-mode)GaN器件没有反向恢复电荷(Q_{RR})，这降低了能量损耗，并允许使用更短的死区时间。这可以最大化每安培的转矩，并实现更安静的系统。
- 在给定负载电流下，使用GaN器件实现更高开关频率和更低损耗，可以降低电机温度，使无源冷却足以满足此应用的需求。
- 更高的频率使得体积庞大的电解电容器可以被消除，取而代之的是更小巧、更可靠的陶瓷电容器。
- 效率的提升和外形尺寸/重量的减小，带来了机器人电池寿命的延长。

用于人形机器人的GaN解决方案

EPC是一家生产增强型(e-mode) GaN分立器件及集成电路(IC)的制造商。他们提供了满足人形机器人电机驱动器需求的完整解决方案。下面，我们将讨论其中的几款。

驱动腕关节、肘关节和踝关节

这些关节的重点在于速度、精



图2: EPC91122参考设计板俯视图。
(来源: EPC)

度和小尺寸。高脉宽调制频率(>100kHz)和低死区时间提供了关键优势。EPC91122参考设计是一款采用圆形电路板设计的三相永磁同步电机驱动逆变器，其外框尺寸为55mm，内部逆变器电路板尺寸为32mm。如图2所示，该电路板便于集成到人形机器人关节中，例如宇树(Unitree)A1电机。

该外形尺寸允许逆变器直接安装在定子壳体内，利用电机外壳作为散热器来提升散热性能。EPC91122包含了完整电机驱动器的所有功能，包括稳压离线电源、直流电压检测、带有30A嵌入式过流故障信号触发的电流传感器IC，以及用于转子轴位置和速度控制的板载磁性编码器。

该电路板包含了EPC33110 ePower Stage IC。这些IC由三个GaN半桥组成，集成了栅极驱动器、自举电路和电平转换器，最大额定电压为100V，典型导通电阻($R_{DS(ON)}$)为8.7mΩ。它采用6×6.5mm的QFN封装，支持六个互补PWM信号和一个快速低电平有效关断。

单个5V输入即可为该模块供电，使其在高达80V的电压下工作。EPC33110的额定值为每相 $15A_{RMS-PK}$ 和 $10A_{RMS(Continuous)}$ 。测功机测试成功在2秒脉冲下实现了 $20A_{RMS}$ 的运行，对于 $1Nm/A_{RMS}$ 的电机，这相当于20Nm的转矩。测试还表明，在自然对流冷却下，以100kHz PWM频率和25ns死区时间运行时，它能持续输出 $13A_{RMS}$ 的电流，同时将温升控制在50°C以下。这种顶部冷却的封装实

现了卓越的散热性能。

腕关节、肘关节和肩关节

这些高转矩关节在低速时需要超过100Nm的峰值转矩，这突显了对高相电流、低 $R_{DS(ON)}$ 以及高效率快速开关以最小化损耗的需求。在这些应用中，功率器件通常并联堆叠以满足高电流需求。

EPC9186HC2是一款 $100A_{RMS}$ 三相永磁同步电机驱动逆变器参考设计板。EPC9186NC2在每个开关位置并联使用2颗EPC2361 GaN场效应晶体管(FET)，可提供高达 $200A_{PK}$ 的最大输出电流。EPC2361是一款100V、最大 $R_{DS(ON)}$ 为0.75mΩ的100V增强型GaN(eGaN)器件，采用3×5mm的QFN顶部冷却封装。其结到壳顶的热阻仅为0.2°C/W，表现出色。

GaN在人形机器人中的应用

EPC公司首席执行官Alex Lidow在接受笔者专访时表示：“在人形机器人中，电机驱动是最关键的功率级之一，而GaN在此优势明显。机器人本质上是一系列精密电机的集合，而GaN使这些驱动器能以超过100kHz的开关频率运行——远高于传统MOSFET解决方案。在这些频率下，设计人员可省去笨重的电解电容器，从而显著缩小体积和重量。其结果是实现更平稳的运动、更高的效率、更好的可靠性和更长的寿命。这种组合使得GaN成为下一代机器人执行器的自然之选。” EET



页码 Page	广告商 Advertisers	网址 Website
21	JIELI Technology	www.zh-jieli.com
9	Msquare Technology	www.m2ipm2.com
C2	STCAI Limited	www.stcai.com
1	STCAI Limited	www.stcai.com
C4	STCAI Limited	www.stcai.com
11	Texas Instruments	www.ti.com.cn

电子工程 EE Times China 专辑



面包板

EDN China 设计
电子技术设计

ESM China 商情
国际电子商情

评测中心合作招募

- ▶ 您提供开发板、样片、3C数码、电子类书籍
- ▶ 我们邀请工程师体验、评测、发布试用报告

已有5000+电子工程师提交申请
产出2000篇专业评测报告



合作请扫码联系

已合作公司/机构代表:

公 司: ST意法半导体、兆易创新、盛思锐、恩智浦、东芝电子、
中微半导体、富芮坤、睿思电阻、灵动微电子

出版社: 图灵社区、人民邮电出版社、机械工业出版社

ASPENCORE

足不出户,与技术大咖 互动交流!

不受时空束缚,在线!移动!

www.eet-china.com/webinars



扫码登录参与在线研讨会!



关注电子工程智库服务号
福利和资讯第一时间掌握



在线研讨会精彩回放

超高速ADC在高端仪器仪表及通信领域的应用

研讨会介绍: (1)高端测试仪器, 示波器, AWG, 误码仪。超高速ADC/DAC是高速示波器、任意波形发生器(AWG)与误码仪的核心性能支撑单元。(2)激光通信。ADC(模数转换器)是激光通信系统中连接模拟光域与数字处理域的核心枢纽, 它负责将光电探测器输出的微弱模拟信号高速、高精度地采样并量化为数字信号。



借助MEMS开关在高带宽内存和GPU中实现AI环回测试

我们将探讨MEMS开关如何通过支持直流参数测试和高速环回测试, 来提升HBM和GPU的测试覆盖率。如果您从事AI硬件相关工作并希望引领趋势, 本次研讨会就是为您准备的。不容错过! 了解如何利用最新MEMS技术提升AI性能。



新思科技汽车电子芯片功能安全性端到端解决方案介绍

全面介绍新思科技汽车电子芯片功能安全性平台, 端到端解决方案。从项目需求分析到IP选型; 从ISO26262到项目具体参数指标分解; 从安全机制规划到覆盖率数据收集; 从RTL源代码的零fix到安全机制的自动物理实现。答案都在我们的端到端解决方案介绍!



光学元件及消费类产品组装中的低温固化技术

化学创新正在重塑成熟与新兴粘接应用的边界。本次研讨会将分享我们在低温固化领域的技术积累, 重点探讨智能手机紧凑型摄像头模组等光学及消费电子产品的微组装工艺。基于实际项目经验, 我们将分析固化温度低至45°C的胶粘剂如何在粘接可靠性、光学性能稳定性及制造成本控制三个维度上成为关键成功要素。



ADI高性能数据中心电源解决方案

本次演讲介绍ADI在数据中心电源架构中的高性能电源解决方案。包括热插拔、时序控制器、高性能POL、多相控制器及最新发布的1600W非隔离式四分之一砖DC/DC电源模块ADPM12160, 帮助客户加速数据中心电源产品设计。



面向多协议智能物联网边缘设备的AI原生计算SoC

本次网络研讨会将介绍如何在单一计算平台中集成三频Wi-Fi® 7、支持信道测距的蓝牙以及802.15.4, 并结合端侧AI处理能力, 有效减少系统占板面积并降低整体成本。同时探讨统一连接与边缘智能如何助力打造响应迅速、安全可靠的智能家电、家庭自动化以及工业物联网解决方案。



