

借助模块化、可量产的平台加速 IO-Link 设备开发

Christian Thon, 高级产品经理, AMS/CSD/SSC

Michael Georgi, 高级技术市场经理, AMS/CSD/SSC



摘要

开发一款符合 IO-Link 规范的传感器或执行器，可能需要投入大量硬件、软件和验证工作。本白皮书介绍瑞萨电子模块化 IO-Link 设备平台。该平台将 RH4Z2502 单通道收发器、RA2 微控制器以及即用型 IO-Link 设备协议栈库整合在一起。本文将介绍开发人员如何从预配置的演示器入手，然后高效过渡到可量产的定制化设计，从而减少集成工作量、降低许可成本并提高灵活性。

IO-Link 设备开发面临的挑战

[IO-Link](#) 通过在传感器、执行器和控制系统之间提供标准化、独立于供应商的通信接口，现已成为推动工业自动化系统向更智能、更互联方向发展的关键技术（图 1）。IO-Link 可简化与上层现场总线网络的集成，同时支持高级诊断、参数设定以及对重要设备数据的访问。凭借种种优势，IO-Link 对希望提高互操作性、降低系统复杂性，并进一步掌握机器和工艺性能的最终用户而言，已成为具有吸引力的解决方案。

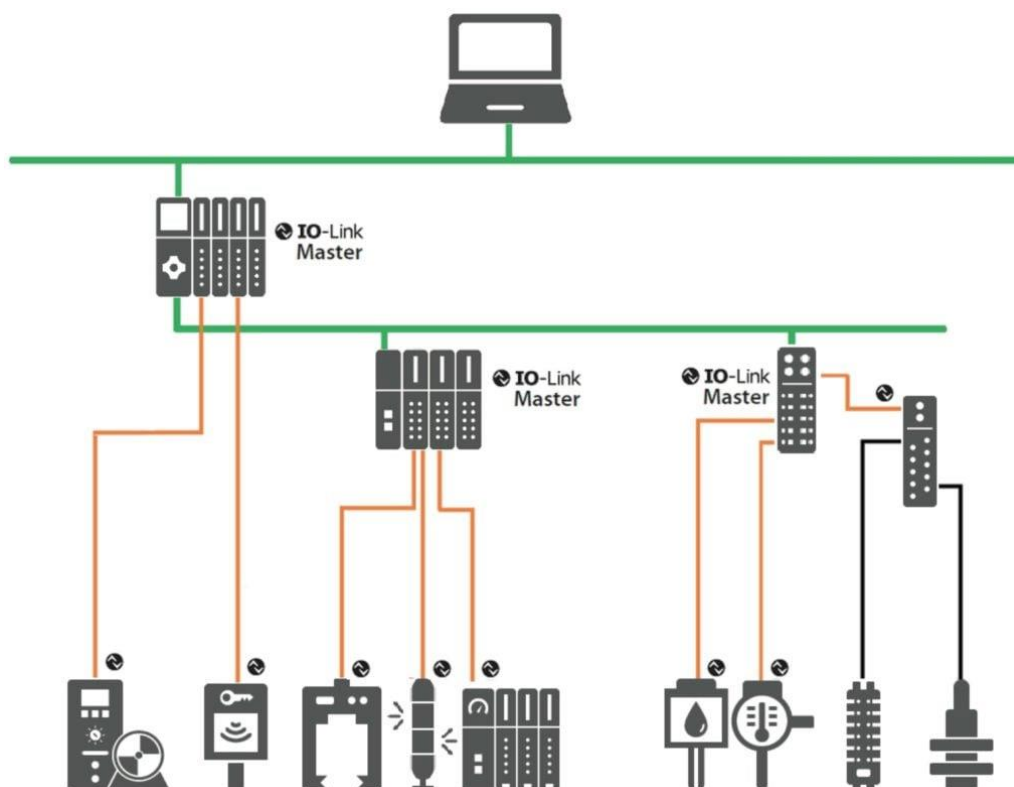


图 1. 基于 IO-Link 的工业网络 - 来源: PI North America

市场的广泛采用印证了上述优势：在制造业数字化、预测性维护和工业 4.0 等趋势的推动下，全球 IO-Link 市场持续快速增长，为传感器和执行器制造商创造了巨大的市场机遇（图 2）。为了保持竞争力，供应商纷纷推出支持 IO-Link 的新产品，或升级现有设备以符合该标准。

全球 IO-Link 设备节点数量 (单位: 百万台)

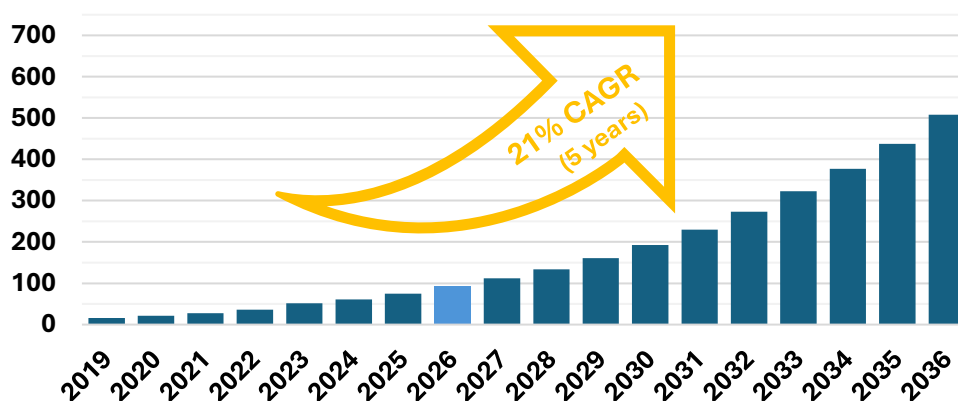


图 2. 全球 IO-Link 设备节点数 - 来源: PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO) 和 PI North America

尽管市场潜力巨大，但开发一款 I/O-Link 设备仍是一项复杂的工作。制造商必须克服一系列技术和商业挑战，才能将符合规范的产品推向市场。其中包括选择并集成适合的硬件组件，例如物理层收发器（PHY）和微控制器（MCU），同时还要确保与 I/O-Link 设备协议栈兼容。在许多情况下，协议栈必须从第三方供应商处获得许可，并针对目标硬件平台进行适配或移植，这会增加成本、开发工作量和项目风险。

此外，开发人员还需要完成大量验证、互操作性核查和符合性测试，以确保产品符合 I/O-Link 规范。传统开发方式通常需要从多个供应商采购不同技术，并协调不同生态系统之间的硬件、软件和测试活动。因此，工程团队往往需要投入大量时间来集成和验证底层 I/O-Link 基础架构，而无法将精力集中在真正体现产品差异化优势的传感器或执行器功能上。这些挑战可能会增加开发成本、延长产品上市时间，并给希望把握 I/O-Link 市场增长机遇的企业制造障碍。

解决方案概述：模块化 I/O-Link 设备平台

对于希望抓住 I/O-Link 传感器和执行器日益增长的需求机遇的制造商而言，降低开发复杂性至关重要。为此，瑞萨电子打造了一款模块化开发平台，将经过验证的硬件和软件构建模块相结合，形成完整的 I/O-Link 设备解决方案（图 3）。

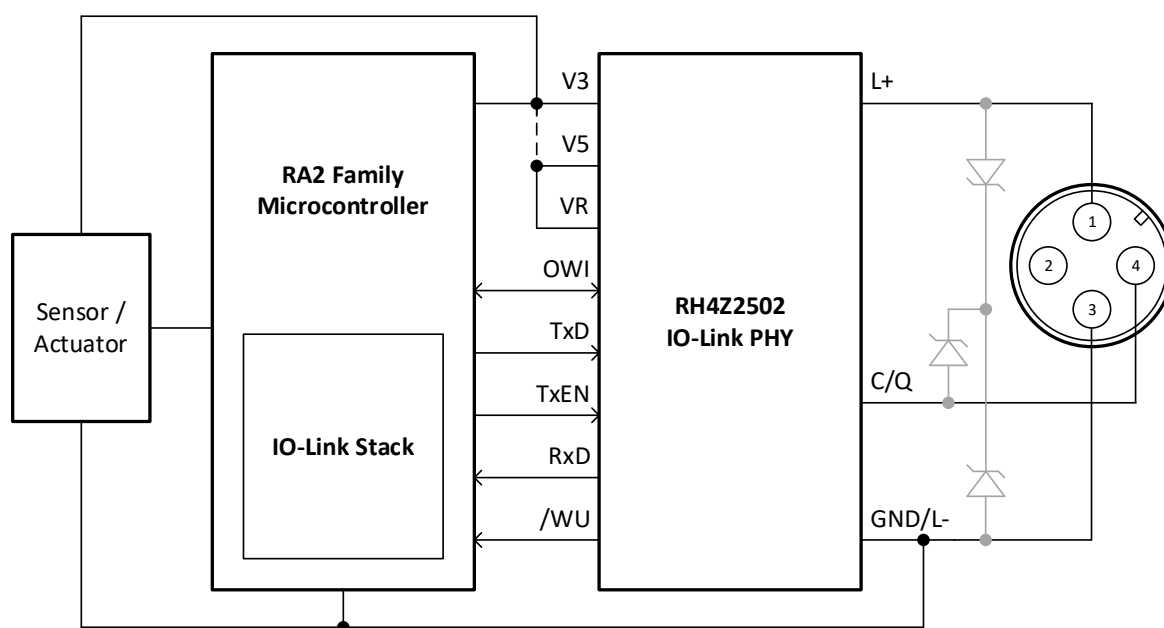


图 3. 模块化 I/O-Link 设备解决方案架构

该平台将 [RH4Z2502 单通道 I/O-Link 收发器](#) 与 [RA2 系列 Arm® Cortex®-M 微控制器](#) 相结合，并配备可完全定制的 I/O-Link 设备协议栈库。该协议栈库以即用型 Visual Studio Code 项目的形式提供。该协议栈由 [TEConcept GmbH](#) 开发，并针对该微控制器系列进行优化，以实现高效率。

主要优势包括：

- 采用经过验证的 I/O-Link 硬件组合，降低集成风险

- 提供涵盖 RA 系列的多种可扩展 MCU 选项，简化硬件选型流程
- 无需单独支付协议栈许可费用
- 提供完整的 I/O-Link 协议栈灵活性，覆盖各种应用场景
- 减少集成、验证和维护所需的工程工作量
- 缩短开发周期，加快产品上市

RH4Z2502 单通道 I/O-Link 收发器

作为 I/O-Link 解决方案的关键器件，RH4Z2502 在成熟的单通道物理层收发器架构中集成了协议栈许可。凭借可配置的驱动器性能、集成稳压器以及保护和诊断功能，该器件成为传感器和执行器应用的理想选择。



主要特性：

- 嵌入式 I/O-Link 协议栈许可证
- 供电电压范围：9 V 至 36 V
- 集成浪涌保护、反极性保护和过压耐受能力
- 可配置的驱动器输出电流（50 mA DC 至 400 mA DC）和驱动器转换速率
- 集成唤醒检测
- 片上诊断功能，包括过温检测、电源电压检测和芯片损坏检测器
- 环境温度范围：-40° C 至 125° C

RA2 Arm Cortex-M 微控制器系列

在瑞萨电子模块化平台解决方案中，RA2 微控制器负责应用处理和控制层。该器件运行 I/O-Link 设备协议栈，与 RH4Z2502 物理层收发器交换过程数据和诊断数据，并执行传感器或执行器特定功能。RA2 平台可根据所需的处理性能、存储器、封装尺寸、模拟功能和控制外设，选择最合适的器件型号（表 1）。



主要特性：

- Arm Cortex-M23 内核，最高 64 MHz
- 提供 16 至 100 引脚封装选项
- 最高 512 KB 代码闪存和 48 KB SRAM
- 1.6 V 至 5.5 V 工作电压范围
- 提供 12 位、16 位和 24 位 ADC 选项，以及 DAC、运算放大器和比较器
- PWM 定时器、同步 ADC 采样，部分型号支持最高 125° C 工作温度

表 1. 面向 I/O-Link 设备的 RA2 型号选择

RA2 型号	关键差异	典型 I/O-Link 设计适用场景	产品应用示例
RA2E2	48 MHz Cortex-M23 - 最高 64 KB 闪存和 8 KB SRAM 16 至 24 引脚封装 12 位 ADC - 支持最高 125° C 工作温度	适用于 I/O 较少、固件紧凑，且对尺寸和成本敏感的最小型设备	电感式接近传感器、光电开关、紧凑型数字压力开关
RA2E3	48 MHz Cortex-M23 - 最高 64 KB 闪存和 16 KB SRAM 32 和 48 引脚封装 12 位 ADC - 与 RA2E1 引脚及外设兼容	适用于对成本敏感和高能效，并且相比 RA2E2 需要更多 SRAM 和 I/O 的传感器或简单执行器设计	紧凑型压力或温度传感器、光学传感器、智能开关、简单气动阀接口
RA2E1	48 MHz Cortex-M23 - 最高 128 KB 闪存和 16 KB SRAM 25 至 64 引脚封装 12 位 ADC - 电容式触控	兼顾成本、存储器和 I/O 的通用传感器或简单执行器平台	温度或湿度传感器、电容式液位开关、阀岛接口、简单电磁执行器
RA2L1	48 MHz Cortex-M23 - 最高 256 KB 闪存和 32 KB SRAM 48 至 100 引脚封装 12 位 ADC 和 DAC - 电容式触控和 CAN - 丰富的定时器	适用于需要额外 I/O、定时器、本地用户界面或控制功能的功能丰富型低功耗设备	多通道状态监测传感器、智能阀门定位器、电动执行器、配备触摸按键或本地显示屏的传感器
RA2L2	48 MHz Cortex-M23 - 最高 128 KB 闪存和 16 KB SRAM 32 至 64 引脚封装 12 位 ADC、CAN 和 I3C - 无晶振 USB FS 和 USB Type-C - 支持最高 125° C 工作温度	适用于将 I/O-Link 与本地 USB 维护接口相结合的互联服务或配置设备	I/O-Link 数据记录器、可配置条形码或 RFID 读取器、配备 USB 服务端口的智能执行器
RA2T1	64 MHz Cortex-M23 64 KB 闪存和 8 KB SRAM 24 至 48 引脚封装 - 电机控制 PWM 定时器 - 配备 3 个采样保持电路的 12 位 ADC - 高速比较器 - 支持最高 125° C 工作温度	适用于需要集成单电机控制、同步电流检测和快速保护功能的紧凑型 I/O-Link 执行器	BLDC 风扇或泵执行器、电动阀、输送机驱动器、自动百叶窗或风门执行器
RA2A1	48 MHz Cortex-M23 256 KB 闪存和 32 KB SRAM 16 位 SAR ADC 24 位 $\Sigma-\Delta$ ADC - DAC、运算放大器和比较器	适用于精密模拟检测和闭环测量，可减少外部信号调理电路	压力变送器、称重传感器或应变计传感器、RTD 或热电偶变送器、精密流量传感器
RA2A2	48 MHz Cortex-M23 512 KB 双存储区闪存和 48 KB SRAM 24 位 $\Sigma-\Delta$ ADC 12 位 ADC - 段码式 LCD 控制器 64 至 100 引脚封装	适用于需要更大固件、安全现场更新、大量 I/O 或本地段码式显示屏的复杂精密设备	多通道过程变送器、称重或配料控制器、带显示屏的智能阀门定位器、紧凑型分析传感器

I/O-Link 设备协议栈库

该软件库以基于 C 语言的项目形式提供，适用于 [Visual Studio Code](#) 开发环境。开发人员只需添加应用特定代码、通过 API 映射过程数据，并配置协议栈即可。

项目中包含一个 README.md 文件，便于快速完成设置。为了帮助开发人员快速开始 I/O-Link 设备开发工作，所提供的项目所交付的项目包含一个以 RA2E1 为平台的预配置 I/O-Link 执行器演示器。无需修改项目，即可直接完成演示器构建。

开始评估

该软件库项目提供了一个简单的信号灯型 I/O-Link 执行器，实现演示功能。该演示器在搭配 RH4Z2502-PMOD 的 EK-RA2E1 评估板上运行（图 4）。如果构建时不对软件库项目进行任何修改，生成的固件将利用 EK-RA2E1 上的三个板载 LED 实现一个三段式塔灯，并支持：

- LED1、LED2 和 LED3 独立激活。
- 4 种输出模式：常亮、慢速闪烁、快速闪烁和闪光。
- 一个名为 SW1 的设备输入，由 EK-RA2E1 的 S1 用户按键驱动。

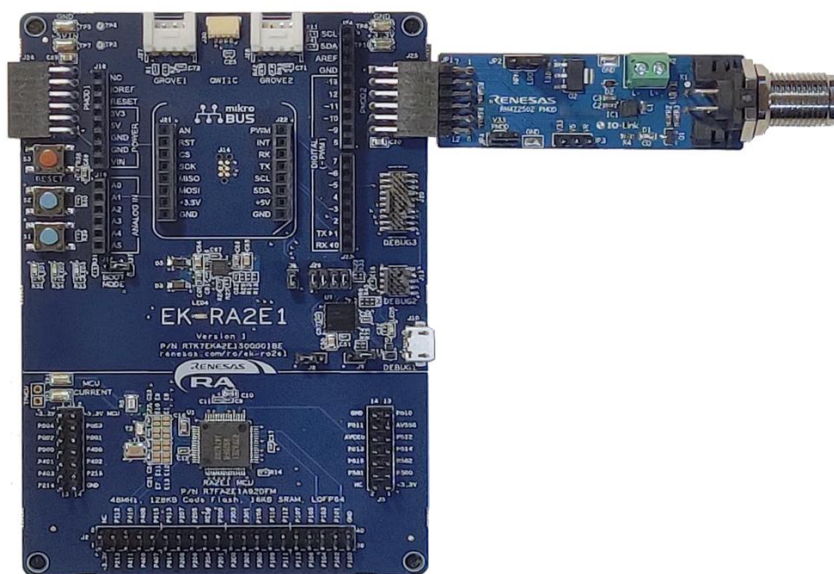


图 4. 演示器硬件：EK-RA2E1 搭配 RH4Z2502-PMOD

从 [《I/O-Link 设备协议栈库快速入门指南》](#) 开始，完成开发环境所需的硬件和软件设置，并按照指南完成评估流程。

完成演示器设置和编程后，通过 RH4Z2502-PMOD 连接主站，即可开始 I/O-Link 评估。需要准备一台商用 I/O-Link 主站、配套的接口工具，以及一根带 M12 连接器的 I/O-Link 电缆。将随附的 I/O 设备描述（IODD）文件加载到主站接口工具后，即可按照表 2 中的相关说明，通过演示器的“过程数据输出”（PDOut）字节控制 EK-RA2E1 板上的 LED。

表 2. 过程数据输出字节结构

位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
保留	保留	保留	模式		LED3	LED2	LED1
–	–	–	0 常亮	0	0: 未激活 1: 激活	0: 未激活 1: 激活	0: 未激活 1: 激活
			0 慢速闪烁	1			
			1 快速闪烁	0			
			1 闪光	1			

按下 EK-RA2E1 板上的 S1 用户按键后，过程数据输入（PDInput）值将发生变化，直至松开按键。该操作用于模拟 IO-Link 设备的传感器数据或诊断数据。

转向定制设备开发

该演示器可作为开始定制设备开发的参考。[IO-Link 传感器](#)还提供其他设备解决方案。对于传感器和执行器设备，定制设备设计的开发应遵循以下步骤：

- 1. **RA2 MCU 型号选择**
根据解决方案的硬件需求，必须针对特定 RA2 微控制器型号进行项目调整。为了便于在 RA2 系列内部进行移植，请下载并安装瑞萨电子[智能配置器](#)。该工具支持瑞萨电子 MCU 的引脚配置和代码生成。
建议订购与所选 MCU 对应的评估板，以便快速搭建原型。
注：如需获取其他瑞萨电子微控制器系列的技术支持，请直接联系瑞萨电子。
- 2. **应用代码实现**
可直接在 Visual Studio Code 项目中添加针对具体应用的传感器或执行器代码，以实现设备功能，例如电机控制算法或传感器信号调理。
- 3. **过程数据定义**
过程数据（PDIn、PDOut）的布局与应用代码紧密相关，并取决于解决方案的输入和输出数据要求（类型、范围），例如测量值、阈值开关值、速度或角度设定值等。
- 4. **IO-Link 设备属性和功能**
所有其他 IO-Link 设备参数、诊断信息和功能均必须通过库软件包所支持的机制进行调整，包括识别参数和事件。
- 5. **IODD 生成**
最后，必须创建对应的 IODD 文件，并与上述所有设备属性保持一致。软件包中提供的演示器 IODD 可作为参考。

总结

瑞萨电子 IO-Link 设备协议栈库解决方案可帮助开发人员在 RA2 微控制器平台上快速开发 IO-Link 设备。该解决方案将 RH4Z2502 单通道物理层收发器、嵌入式协议栈许可和 IO-Link 协议栈库软件包整合在一起。灵活的硬件和软件选项使开发人员能够构建完全定制的传感器和执行器。

随附的演示器提供了一个实用的验证基准，供开发人员在将协议栈集成到定制应用程序之前进行验证。借助瑞萨电子开发工具链，可轻松在 RA2 微控制器系列内部移植协议栈库。

该解决方案专为以下项目而设计：IO-Link 相关经验有限或完全没有经验；产品上市时间要求紧迫；软件资源或预算受限；或者需要可扩展的硬件平台，以简化 IO-Link 设备开发。

相关文档

- [《IO-Link 设备协议栈库快速入门指南》](#)

瑞萨电子株式会社及其关联公司（以下简称“瑞萨”）的技术规范和可靠性数据（包括数据手册）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、Web 工具、安全信息以及其他资源“按原样”提供，不保证无瑕疵。瑞萨不做任何明示或暗示保证，包括但不限于产品适销性、特定用途适用性或不侵犯第三方知识产权的保证。

这些资源的适用对象为使用瑞萨产品熟练进行设计的开发人员。以下事宜请自行负责：（1）为您的应用选择合适的产品，（2）设计、验证和测试您的应用，（3）确保您的应用符合适用标准以及安全性等所有其他要求。这些资源如有更改，恕不另行通知。瑞萨仅授权您将这些资源用于开发采用瑞萨产品的应用。严禁复制这些资源或用于其他用途。我们未授予任何其他瑞萨知识产权或任何第三方知识产权的许可。瑞萨对因使用这些资源而产生的任何索赔、损害、成本、损失或负债概不负责，且瑞萨及其代表的全部损失须由您赔偿。瑞萨的产品仅遵守瑞萨的销售通用条款和条件，或书面签订的其他适用条款。使用瑞萨的任何资源不会扩大或更改这些产品的任何适用保修或保修免责声明。

(Rev. 1.0 Mar 2020)

公司总部

TOYOSU FORESIA, 3-2-24 Toyosu, Koto-ku, Tokyo 135-0061,
Japan
<https://www.renesas.cn/zh>

商标

瑞萨电子的名称和徽标是瑞萨电子株式会社的商标。所有商标和注册商标均为其各自合法所有者的财产。

联系信息

有关产品、技术的更多信息，文档的最新版本，或离您最近的销售办公室，请访问：
<https://www.renesas.cn/zh/contact-us>

© 2026 Renesas Electronics Corporation. 保留所有权利。

文档编号：R30WP0020EU0100