

# 《嵌入式系统》 讨论(调研)报告

得 分

## CyberDog2 中的嵌入式系统

班级	姓名	学号
21 级电子科学与技术 2 班	田博松	202111040246
21 级电子科学与技术 2 班	占磊	202111050542
21 级电子科学与技术 2 班	李可文	202111100280
21 级电子科学与技术 2 班	徐静怡	202111100140
21 级电子科学与技术 2 班	吴国豪	202111070252

2023 年 11 月 2 日

## CyberDog2 中的嵌入式系统

### 一、概述

在这份《嵌入式系统》讨论（调研）报告中，我们深入探讨了小米公司的 CyberDog 2 四足机器人。CyberDog 2 是一款集成了多种先进技术的机器人，包括 GPS 定位、智能规划、深度相机、水平位移传感器、TOF 传感器、AI 算法和电池续航等。它的主控制单元是 NVIDIA 的 Jetson Xavier NX 核心模块，协处理器是全志科技的 MR813。我们将详细分析 CyberDog 2 的硬件和软件设计，包括其 CPU 架构、ROS 2 架构、DDS 通信中间件等。此外，我们还将探讨 CyberDog 2 的应用场景，包括家庭互动、家庭助手、教育和研究等。最后，我们将展望 CyberDog 2 的未来发展方向，包括可能出现的新功能和新的应用场景。我们期待通过这个项目，能够更深入地理解嵌入式系统的工作原理和应用场景，从而为我们未来在这个领域的学习和研究打下坚实的基础。希望这份报告对你有所帮助！

### 二、讨论(调研)情况

#### 1、项目介绍

我们选择 CyberDog 2 作为我们《嵌入式系统》课程的讨论主题，原因有三。首先，CyberDog 2 是小米公司最新推出的仿生四足机器人，它在继承前代产品优势的基础上，进行了全面的技术升级。其次，CyberDog 2 的主控制单元是 NVIDIA 的 Jetson Xavier NX 核心模块，这是一款用于嵌入式和边缘系统的 AI 超级计算机。此外，它还配备了全志 MR813 协处理器，主要负责 MPC 算法的执行、运动控制、电源系统管理和 OTA 系统管理等工作。这些都是典型的嵌入式系统的组成部分。最后，CyberDog 2 不仅在硬件上进行了全面升级，而且在软件上也进行了深度优化。



图 1 CyberDog2 宣传图

我们的目标是通过对 CyberDog 2 的深入研究和讨论，更好地理解嵌入式系统在实际产品中的应用，并探索其未来发展趋势。我们相信，通过这个项目，我们可以更深入地理解嵌入式系统的工作原理和应用场景，从而为我们未来在这个领域的学习和研究打下坚实的基础。

此外，我们认为这个主题对嵌入式系统领域具有重要意义。随着科技的发展，仿生四足机器人等智能设备越来越多地进入我们的生活。而嵌入式系统作为这些设备的核心组成部

分，其重要性不言而喻。通过研究和讨论 CyberDog 2，我们可以更好地理解嵌入式系统如何驱动这些复杂设备，并探索其未来可能的发展方向。

## 2、相关工作

在仿生四足机器人领域，已经有一些公司和研究机构进行了深入的研究和开发工作。例如，波士顿动力公司的“大狗”系列仿生机器人已经有十几个产品型号分支。然而，这些产品的售价高达 7.5 万美元（约合人民币 48 万），这使得很多普通消费者望而却步。

相比之下，小米的 CyberDog 2 在许多方面都进行了创新和改进。例如，CyberDog 2 的外观设计参考了小型犬只，其尺寸相比上一代产品减小了 16%，重量则减轻了近 40%，大小和重量更加接近真实犬只。此外，CyberDog 2 还实现了更仿生的手势互动、语音控制、人脸识别，并增加了与小爱音箱 Play 增强版相同的红外发射模组，化身智能的家庭管家，可以配合上语音交互来控制家电，实现 AIoT 联动等智能交互方面的功能提升。

除此之外，小米的机器人实验室还将 CyberDog 的源码公开在了 Github 上面，供开发者进行功能开发。

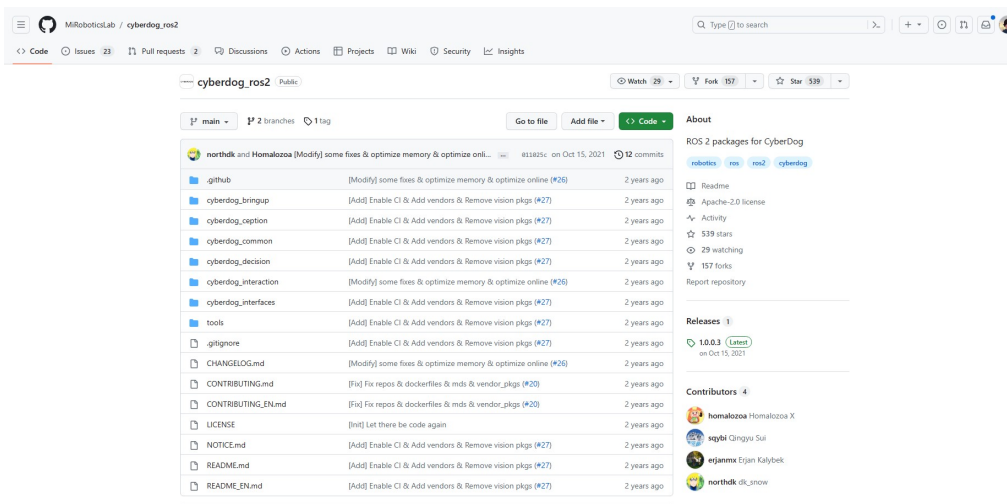


图 2 CyberDog 项目开源页面

总的来说，虽然仿生四足机器人领域已经有一些成熟的产品和解决方案，但小米的 CyberDog 2 无疑在许多方面都展现出了其独特性和创新性。我们期待通过对 CyberDog 2 的深入研究和讨论，能够更好地理解嵌入式系统在实际产品中的应用，并探索其未来发展趋势。

## 3、Cyberdog2 技术细节

### (1) CPU 架构

如果把传感器组比作 CyberDog 的“眼睛”，那 NVIDIA JETSON XAVIER NX 就是它的“大脑”，伺服电机就是它的“肌肉”，Allwinner MR813 就是“小脑”。

CyberDog 2 的主控制单元是 NVIDIA 的 Jetson Xavier NX 核心模块，这是一款用于嵌入式和边缘系统的 AI 超级计算机。它内置了一个 6 核心的 NVIDIA Carmel ARM v8.2 64 位 CPU。除此之外，它还搭载 384 NVIDIA CUDA cores 和 48 Tensor cores 的 GPU、2 个 NVDLA 引擎深度学习加速器、7 路 VLIW 视觉处理器。可以提供最高 21T 的算力。这保证了 CyberDog 可以毫无障碍地处理从传感器系统捕获的大量数据，准确领会主人的意图。同时支持 2 个 MIPI CSI-2 D-PHY lanes、以太网、WIFI/BT、HDMI、多路 USB 等。

ARM v8.2 是 ARM Holdings 的一款高性能、低功耗的处理器架构。它采用了先进的指令集架构（ISA），包括了对浮点运算、SIMD 和虚拟化等先进功能的支持。此外，ARM v8.2 还引入了一些新的特性，如原子操作、JavaScript 类型转换加速和改进的密码学指令等。

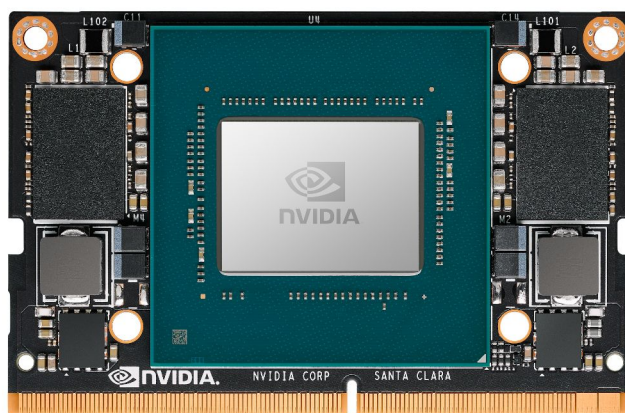


图 3 Nvidia Jetson Xavier NX

这款 6 核心的 NVIDIA Carmel ARM v8.2 64 位 CPU 为 CyberDog 2 提供了强大的计算能力，使其能够快速处理各种复杂任务，如图像识别、语音识别、运动控制等。同时，由于 ARM 架构的高效能比，这款 CPU 也能在保证性能的同时，有效降低功耗和发热，使 CyberDog 2 具有更长的续航时间和更好的稳定性。

CyberDog “小脑”使用的国内知名芯片设计厂商全志科技的 Allwinner MR813。MR813 将负责 MPC 算法的执行、运动控制、电源系统管理和 OTA 系统管理等工作。即 CyberDog 的四只脚以及上面的 12 个伺服电机，都将在 MR813 的控制下有序地行动，让 CyberDog 不会出现顺拐或者“扑街”。

MR813 是全志针对运动机器人市场推出的高性能 SoC，4 核 A53 架构，主频高达 1.6GHz，拥有丰富的音视频接口和运动驱动接口。

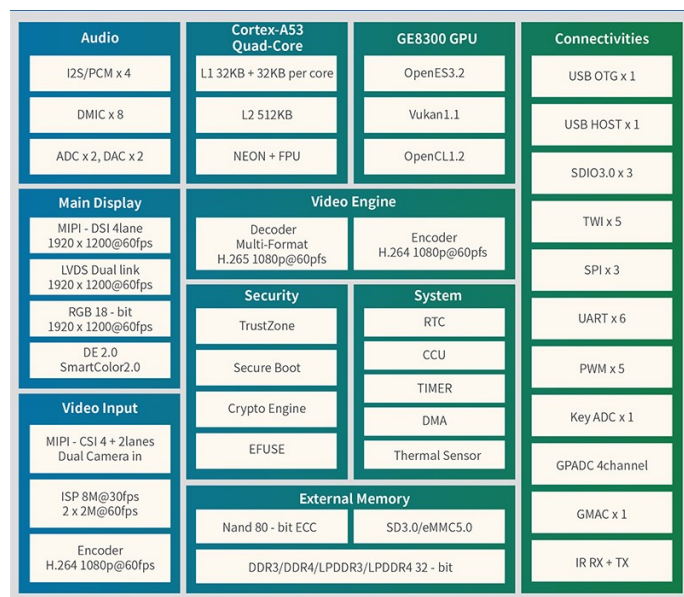


图 4 MR813 系统框图

CyberDog 的 MPC 算法使用的是知名开源四足 MPC 算法 MIT Mini Cheetah。对于仿生四

足机器人 MPC 算法的研究一直是近年的热点。MIT 这套算法广受开发者欢迎，许多 DIY 开发者甚至专业厂商，都会基于这套算法进行开发。MR813 则是为算法的运行提供了一个高效稳定的环境。

## (2) 系统设计

小米为其配备了超过 11 组高精密传感器，包括 Intel Realsense D450 深度摄像头、AI 交互相机、双目超广角相机、TOF 传感器、环境光传感器、超声波传感器、惯性测量单元、GPS 模组、地磁传感器、光流计、6MIC 环型阵列、触摸传感器等。有了这些丰富的传感器，CyberDog 就像一个拥有白眼的“感知型忍者”，可以敏锐地感觉都周围流动的“查克拉”，并做出避障、预警等行为。



图 5 CyberDog 相关传感器

CyberDog 2 的系统设计是基于 ROS 2 (Robot Operating System 2) 的, 这是一种用于机器人应用开发的灵活框架。ROS 2 提供了一套工具和库, 用于帮助软件开发者创建机器人应用。

在 CyberDog 2 中，基于 ROS 2 实现了大部分的机器人应用，包括多设备链接、多模态感知、多模态人机交互、自主决策、空间定位、导航和目标追踪等功能。这些功能都是通过 ROS 2 的节点（Node）实现的，每个节点都可以执行特定的任务，如处理传感器数据、控制执行器、执行计算任务等。

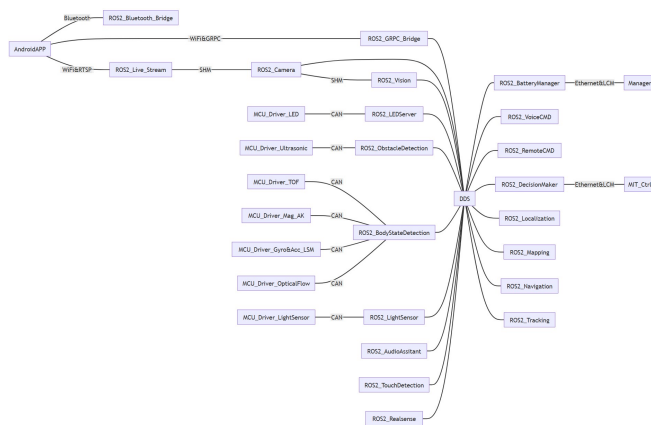


图 6 CyberDog 架构图



CyberDog 2 的通信中间件是 DDS (Data Distribution Service)，它是一种实时发布-订阅模型的中间件，用于在分布式环境中实现设备、应用程序和服务之间的通信。在 CyberDog 2 中，DDS 负责处理节点间的通信，包括节点发现、信息序列化和传输等。CyberDog 2 使用的 DDS 中间件是 Cyclone DDS，这是一种开源的 DDS 实现，专为嵌入式系统和物联网设备设计。

### (3) 系统拆解

这张图片展示了 CyberDog 2 的内部构造。从这张图片中我们可以看到其大致由以下三部分组成：

**Jetson Xavier NX：**这是 CyberDog 2 的主控制单元，是一款用于嵌入式和边缘系统的 AI 超级计算机。

**Co-processor MR813：**这是 CyberDog 2 的协处理器，主要负责 MPC 算法的执行、运动控制、电源系统管理和 OTA 系统管理等工作。

**GPS and Wi-Fi ANT：**这是 CyberDog 2 的 GPS 和 Wi-Fi 天线，用于定位和网络连接。

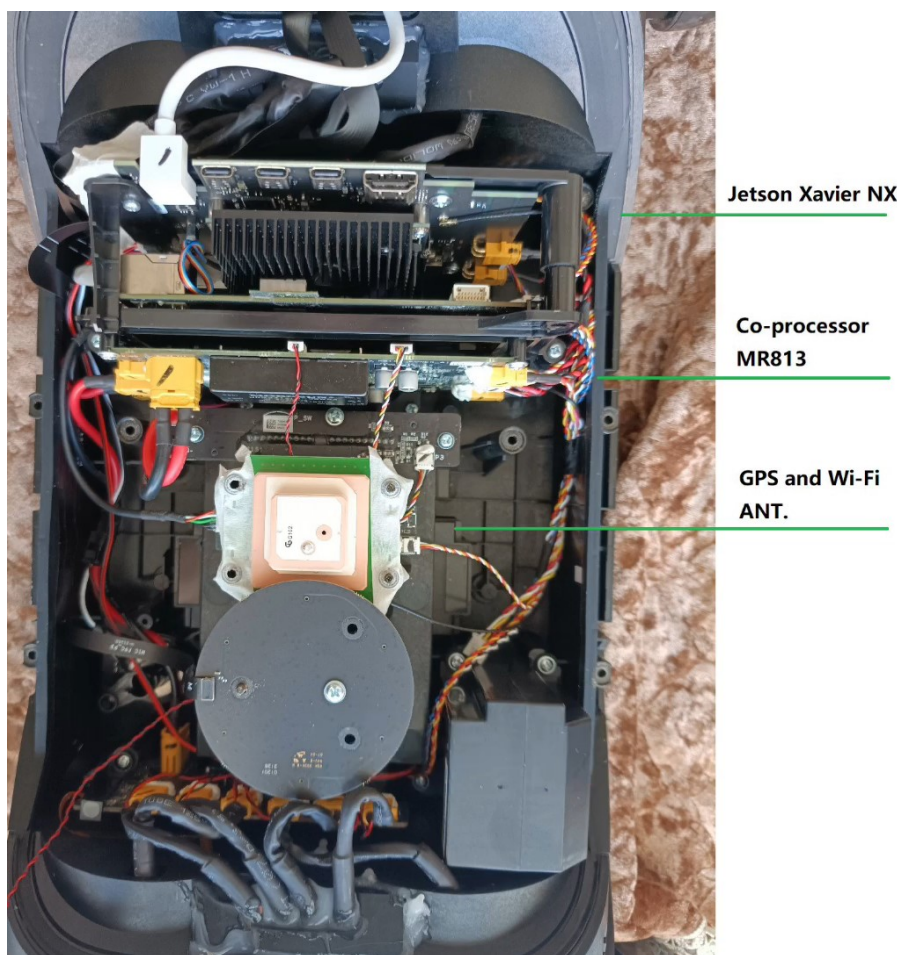


图 7 CyberDog 内部结构

如图所示，这是 CyberDog 的主板，分为前面部分和后面部分。在前面部分，我们可以看到一系列的串口，包括 USB3、Debug Uart、Type-C 和 HDMI 等，它们可以用来连接不同的外部设备和传输数据。在前面部分的左侧，还有一些 GPIO 接口，例如 DMIC input、Speaker out 和 Body fan 等，它们可以用来接收或输出音频信号，以及控制机器狗的散热风扇。在前面部分的右侧，还有一些信号收发模块，例如 GPS 和 WIFI 等，它们可以用来定位和联网。

Cyberdog主板分析图

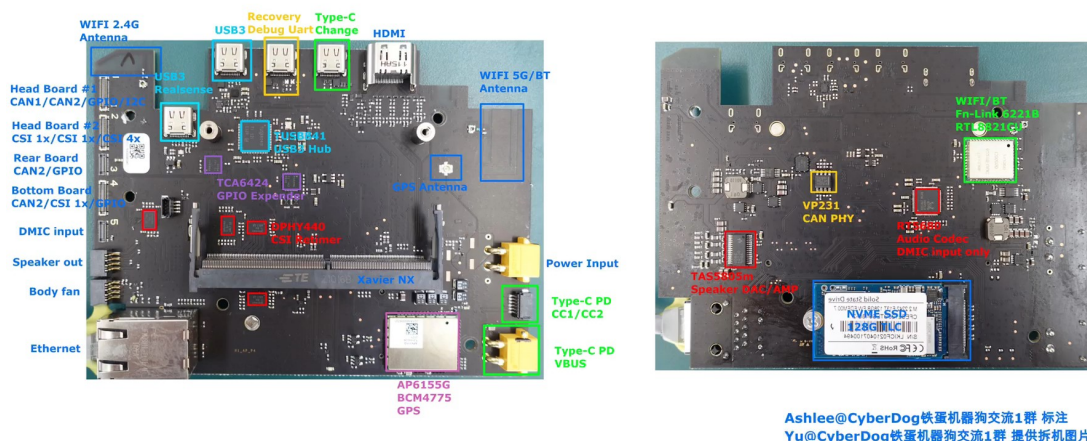


图 8 CyberDog 主板分析图

如图所示为 CyberDog 的运动控制板示意图，可以分为 MR813 系统、SPINE 和板载 IMU 三个部分。

其中 MR813 系统为图示右边部分所示，其中除了 MR813 控制系统以外，还有两块 512Mbytes/16bit 的储存单元、一块容量为 8GB 的 EMMC 存储器、一块电源管理集成电路，即 PMIC 等 GPIO 接口。

SPINE 部分为图示左上部分所示，其中有一个 SPINE Debug 接口负责调试之外，还有两块基于 Cortex-M4 内核的 32 位通用微控制器 GD32E/C103CBT6，其主频高达 120MHz，支持 DSP 指令集和单精度浮点运算单元、集成了 128KB 的 Flash 和 32KB 的 SRAM，并且提供了如 USB、CAN 等多种外设。

板载 IMU 部分在如图所示的左下角，它是惯性测量单元，用来测量物体在三维空间中的角速度与加速度。除此之外，还存在一块 GD32E/C103 芯片和一块 Flash 储存。

CyberDog运动控制板分析图

总体分为 MR813系统，SPINE 和 板载IMU 3部分

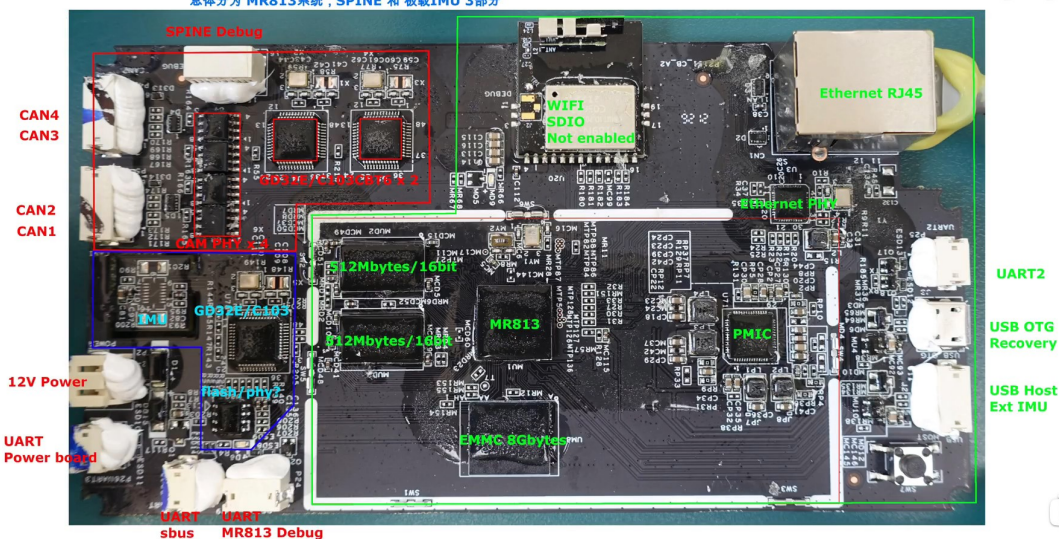


图 9 CyberDog 运动控制板分析图

## 4、应用场景

**家庭互动：**CyberDog 2 可以识别用户的手势，做出特定的动作。例如，用手掌向左或向右平行移动，CyberDog 2 就会往相应的方向移动。它还能更准确地捕捉和识别主人的面部表情和身体语言，甚至能理解、回应甚至预测主人的需求和情绪。

**家庭助手：**CyberDog 2 可以控制米家的家居设备，实现 AIoT 联动等智能交互方面的功能提升。例如，它可以通过语音交互来控制家电。

**教育和研究：**CyberDog 2 支持可视化编程和深度开源，无论入门发烧友还是专业开发者都能获得足够的 DIY 乐趣。它的可视化引擎代码、结构图纸、算法等数百个接口全面开源，感兴趣的开发者和用户可以在小米社区以及 GitHub 搜索 MiRoboticsLab 加入。

**未来应用：**有观点认为，经过几代优化后，这款机器狗完全可以代替导盲犬，这是实实在在的社会价值。

## 5、未来展望

随着科技的不断发展，我们可以预见到 CyberDog 2 在未来可能会有更多的发展方向和新功能。

**更高级的人工智能：**随着人工智能技术的不断进步，我们可以期待 CyberDog 2 将具备更高级的 AI 功能，例如更准确的人脸识别、更自然的语音交互、更复杂的行为预测等。

**更广泛的应用场景：**随着产品的不断优化和升级，CyberDog 2 可能会在更多领域找到应用。例如，它可以在搜索和救援、物流配送、家庭看护等领域发挥作用。

**更深入的用户定制：**CyberDog 2 已经支持可视化编程和深度开源，未来可能会提供更多的定制选项，让用户可以根据自己的需求定制机器人的行为和功能。

**更好的硬件性能：**随着硬件技术的发展，我们可以期待 CyberDog 2 将拥有更强大的处理能力、更长的续航时间、更精确的传感器等。

## 三、结论

我们对小米公司的 CyberDog 2 四足机器人进行了深入的研究。我们分析了 CyberDog 2 的硬件和软件设计，包括其 CPU 架构、ROS 2 架构、DDS 通信中间件等，并探讨了其在家庭互动、家庭助手、教育和研究等领域的应用场景。

我们发现，CyberDog 2 的设计充分利用了嵌入式系统的优势，使其能够执行各种复杂的任务。例如，它的主控制单元是 NVIDIA 的 Jetson Xavier NX 核心模块，这是一款用于嵌入式和边缘系统的 AI 超级计算机。此外，它的协处理器是全志科技的 MR813，主要负责 MPC 算法的执行、运动控制、电源系统管理和 OTA 系统管理等工作。这些硬件组件使 CyberDog 2 具有强大的计算能力，可以快速处理各种复杂任务，如图像识别、语音识别、运动控制等。

在软件方面，CyberDog 2 采用了 ROS 2 作为其操作系统，这是一种用于机器人应用开发的灵活框架。ROS 2 提供了一套工具和库，用于帮助软件开发者创建机器人应用。此外，CyberDog 2 的通信中间件是 DDS，这是一种实时发布-订阅模型的中间件，用于在分布式环境中实现设备、应用程序和服务之间的通信。

总的来说，我们认为 CyberDog 2 是一个优秀的嵌入式系统产品，它展示了嵌入式系统在实际产品中的应用，并为我们提供了深入理解嵌入式系统的机会。



#### 四、参考资料

- [1] [cyberdog2 \(mi.com\)](https://cyberdog2.mi.com/)
- [2] 小米铁蛋 cyberdog 拆解开机测试\_哔哩哔哩\_bilibili
- [3] 全志在线开发者社区 - 【深度剖析】小米 CyberDog 四足机器人的 AI 运动系统的实现  
(aw-ol.com)
- [4] [MiRoboticsLab \(github.com\)](https://github.com/MiRoboticsLab)