

思考题答案

第 1 章

1-1 说明物联网的“三化”（感知化、互联化、智能化），并以智慧交通为例说明三者的协同方式。

感知化——大量传感器采集车辆/路况数据；互联化——通过多种网络把数据可靠传输到边缘/云；智能化——基于数据的分析与决策下发控制或通知。举例：摄像头与地感检测到事故（感知），经 5G 上报边缘平台（互联），平台调整红绿灯并推送绕行信息（智能），从而缓解拥堵并加速救援。

1-2 结合物联网的三层体系架构，说明在面向“低时延控制 + 海量设备连接”的工业互联网系统中，应采取哪些总体架构原则来平衡实时性与扩展性。

分层职责：将时延敏感的闭环控制放在感知层/边缘（局部处理），把大规模数据采集与历史分析放到应用层（云）；异构承载：采用适配不同场景的多种网络接入方案（局域低时延链路 + 广域覆盖链路），由网络层负责透明承载与路由；边缘预处理：在边缘做数据融合、滤波与本地决策以降低回传量和响应时延；QoS 与分流：在设计时区分实时/非实时流量，保证实时流量有优先级与资源保障；可扩展性策略：采用网关/分区式拓扑、设备分组与分层管理，避免中心节点成为瓶颈；可靠性与安全：通过冗余、故障切换、本地备份与基本身份认证/加密保障系统可用性与安全性。

第 2 章

2-1 结合 ARM 架构与 RISC-V 架构的发展路径，分析两者的差异与潜在优势。

ARM 架构自 20 世纪 80 年代起持续演进，已形成较为成熟的分层体系结构。其各版本不断丰富指令集功能，强化多媒体处理与系统控制能力，v7 架构更是明确划分出 Cortex-A（面向高端应用）、Cortex-R（面向实时系统）与 Cortex-M（面向微控制器）三大系列，适配多种嵌入式与移动场景。凭借长期的市场积累和稳定的软硬件生态，ARM 成为当前嵌入式领域的主流选择。

2-2 请结合 Cortex-M4 的特点，简单说说 Thumb-2 指令和 ARM 指令在节省代码空间和运行速度上的不同，并介绍 Cortex-M4 内部设计和异常处理是怎样帮助它更快响应和提高性能的。

Thumb-2 指令集通过将常用指令以 16 位形式压缩表示，提升了代码密度约 30%。同时引入部分 32 位指令，增强了性能，减少了 ARM 与 Thumb 状态之间的切换。Cortex-M4 采用三级流水线和多套 AHB-Lite 总线接口，集成灵活的 NVIC 中断控制器，支持最多 240 个中断，响应快速且高效。其异常处理机制能够自动保存寄存器上下文，及时捕获各类错误，保障系统稳定运行。整体设计在代码密度与执行效率之间实现良好平衡，适用于高性能、低功耗的

嵌入式应用。

2-3 ARM 处理器有多少寄存器？这些寄存器在用户编程中如何分类？它们在实际使用时有哪些特殊功能和特点？

ARM 处理器总共有 37 个寄存器，各寄存器均为 32 位。31 个通用寄存器，包括程序计数器 PC；6 个状态寄存器。这些寄存器按其在用户编程中的功能可划分为：通用寄存器和状态寄存器。根据 ARM 处理器不同工作模式，可将全部寄存器分成 7 组；各工作模式拥有属于自己的寄存器组，也只能访问自己的寄存器组。

2-4 为什么 RISC-V 架构采用模块化的指令集设计？相比传统指令集，它具有哪些优势？

RISC-V 采用模块化设计，是为了克服传统指令集（如 x86 和 ARM）复杂、封闭且限制多的问题。其核心是一个简洁稳定的基础指令集（如 RV32I），在此基础上，设计者可以根据实际需求灵活添加乘法（M）、浮点（F/D）、压缩指令（C）等扩展模块。模块化带来的主要优势包括：

- 1) 灵活性强：可设置成适合嵌入式或高性能场景的不同配置。
- 2) 易实现、易教学：简化架构学习和硬件开发。
- 3) 低功耗、小体积：适用于资源受限场景，如 IoT。
- 4) 开源透明：无授权费，便于学术研究和产业推广。

2-5 在 RISC-V 架构中，当异常（包括中断和同步异常）发生时，处理器需要保存哪些关键信息以确保能够正确恢复程序执行？

首先，当前的程序计数器（PC）保存在 mepc 寄存器中，用于记录异常发生的位置；然后，异常的类型和来源被写入 mcause 寄存器，以供异常处理程序判断；若异常涉及非法指令或访问错误，相关信息存入 mtval 寄存器；同时，mstatus 寄存器会保存当前中断使能状态（MIE）到 MPIE 域，并关闭中断，记录当前特权模式到 MPP 域。这些机制共同确保异常处理后，处理器可通过 MRET 指令恢复中断状态和程序执行位置，维持系统稳定性与一致性。

第 3 章

3-1 ARM Cortex-M4（如 STM32F401）与 RISC-V E906（如 CH2601）在指令集架构上的核心差异是什么？这两种架构分别适用于哪些嵌入式场景？

ARM Cortex-M4 采用复杂指令集优化架构，集成单精度 FPU 和硬件乘除法，支持 DSP 指令与异常嵌套，适合工业控制、医疗设备等对实时性能和运算精度要求高的场景；RISC-VE906 基于开源精简指令集，具备模块化可裁剪特性，适合物联网、边缘计算等需要硬件定制化或开源生态支持的场景。

3-2 嵌入式芯片中的 Flash 存储器和 SRAM 在用途、读写特性及掉电保存能力上有什么区别？

Flash 存储器用于存储程序代码和初始化数据，属于非易失性存储，写入前需擦除且速度较慢；SRAM 用于运行时临时数据缓存，为易失性存储，读写速度快。两者配合实现程序存储与运行时数据交互，如 STM32F401 的 512KB Flash 存固件、96KB SRAM 缓存运行数据。

3-3 STM32F401 的 ADC 模块与 CH2601 的外部设备配置在功能上有什么不同？若需设计一个温度监测系统，则这两款芯片分别如何利用片上外设实现模拟信号采集？

STM32F401 集成 12 位 ADC 和内置温度传感器，可通过 ADC_IN16 通道直接采集内部传感器电压并转换为数字值；CH2601 需外接温度传感器至 ADC 引脚（如 PA 系列），通过外设地址映射配置 ADC 模块，无内置温度传感器，需软件处理外部信号。

3-4 STM32F401 的 PC13-PC15 引脚在输出模式下有哪些使用限制？为什么 CH2601 芯片的部分引脚需要标注“复用功能”？

STM32F401 的 PC13-PC15 通过电源开关供电，灌电流仅 3mA，输出速率限制在 2MHz 以下且负载电容 $\leq 30\text{pF}$ ，不能驱动 LED 等大负载；CH2601 标注引脚复用是为减少封装引脚数，通过寄存器配置使同一引脚支持 SPI、I2C、PWM 等多种功能，提升硬件设计灵活性。

3-5 CH2601 支持哪些低功耗模式？与 STM32F401 的节能模式相比，两者在电源管理策略上的核心差异是什么？

CH2601 支持睡眠、深度睡眠等低功耗模式，电源管理依托开源架构实现灵活配置；STM32F401 通过集成电源监控器、上电复位电路及多种节能模式（如停止、待机），结合硬件定时器和中断管理实现功耗优化，两者在低功耗策略上分别侧重架构灵活性与集成化硬件管理。

第 4 章

4-1 在 STM32F401 的电源管理模块中，VBAT 引脚的作用是什么？当主电源 VDD 掉电时，VBAT 可为哪些模块供电？

VBAT 引脚用于在主电源 VDD 掉电时为备份域供电。可为实时时钟（RTC）、RTC 备份寄存器和 PC13-PC15 的 I/O 引脚供电，确保时间数据和部分 I/O 状态不丢失。

4-2 STM32F401 的低功耗模式包含睡眠、停止和待机模式。请说明在停止模式下，如何通过外部中断唤醒芯片。

在停止模式下，可通过配置任意 EXTI 线（在 EXTI 寄存器中使能）作为唤醒源。当 EXTI 检测到有效边沿信号（如上升沿/下降沿）时，芯片退出停止模式并恢复系统时钟。

4-3 STM32F401 的复位源包括系统复位、电源复位和备份域复位。请列举至少三种触发系统复位的事件。

NRST 引脚低电平、窗口看门狗计数结束、独立看门狗计数结束、软件复位。

4-4 CH2601 的电源模块采用三路供电设计，请说明三路电源的电压转换目标及供电对象。

5v 转 3.3v：系统和外围电路、5v 转 13v：屏幕供电、5v 转 1.2v：芯片内核（通过内部 LDO 实现）。

4-5 CH2601 的 GPIO 可配置为复用功能模式。若须将 PA2 引脚用作 I2S1_SCLK，如何操作？

通过 GPIO 控制器将 PA2 配置为复用功能模式、通过 GPIO 控制器将 PA2 配置为复用功能模式、通过 GPIO 控制器将 PA2 配置为复用功能模式。

第5章

5-1 嵌入式系统中中断机制的核心作用是什么？

嵌入式系统中的中断机制是一种关键的事件响应机制，其核心作用是打破处理器的线性执行流程，使系统能够实时响应外部或内部紧急事件，从而提高系统的响应速度和资源利用效率。具体来说，当发生中断事件时，处理器暂停当前主程序的执行，转而执行对应的 ISR，处理完毕后再返回主程序继续运行。这种机制避免了事件处理需等待主程序完成的问题，适用于实时性要求高的环境，如嵌入式系统，确保高效的事件管理。

5-2 描述 STM32F401 定时器中断处理过程的四个阶段。

STM32F401 定时器中断处理过程分为初始化、响应、服务和返回四个阶段。在初始化阶段，需配置中断优先级分组、开启定时器中断类型（如更新中断 UIE）、设置中断通道优先级，并使能中断控制器。在响应阶段，当定时器事件（如计数器溢出）发生时，硬件设置中断标志，中断控制器将其状态标记为“挂起”（Pending）；若处理器空闲，则标记为“活动”（Active）并清除挂起状态。在服务阶段，ISR 检查定时器状态寄存器以确定具体事件来源（如更新或捕获），并手动清除事件标志，因为硬件不会自动清除这些标志，且多事件处理顺序由软件逻辑决定。在返回阶段，硬件清除活动状态标志，并检查是否有未清除的标志，若有则重新挂起中断以等待再次响应。

5-3 RISC-V 架构中的 PFIC 在中断管理中扮演什么角色？

在 RISC-V 架构中，可编程快速中断控制器（PFIC）是中断管理的核心组件，它位于内核与模块中断源之间，负责接收中断请求信号、进行优先级仲裁和调度中断响应。PFIC 通过内部寄存器（如中断使能寄存器 IENR 和中断优先级寄存器）管理中断状态：当模块中断源发出请求时，PFIC 检查其中断使能状态，若使能则转发给内核处理；在多个中断同时发生时，PFIC 基于预设优先级（数值越小优先级越高）进行仲裁，优先响应高优先级中断，并支持两级中断嵌套（高优先级中断可打断低优先级服务程序），确保高效的事件处理。

5-4 在 CH2601 的非内核中断初始化中，须遵循哪些基本步骤？

在 CH2601 的非内核中断初始化中，需遵循三个基本步骤：首先，使能模块中断，通过设置模块内部的中断使能位（如 UART 的 USART_STATR 寄存器），使模块能发送中断请求信号；其次，配置中断控制器寄存器，根据芯片中断源表确定中断源对应的 IRQ 号，然后对 PFIC 的中断使能寄存器（PFIC_IENR）写 1 以允许中断响应，或对中断禁止寄存器（PFIC_IRER）写 1 以禁止中断；最后，进行优先级设置，通过编程优先级寄存器（IPRIORx）调整中断优先级（数值 0-255，数值越小优先级越高），确保关键事件优先处理，如在使用实时操作系统时需显式配置优先级以避免默认最高优先级冲突。

5-5 中断嵌套的概念是什么？中断嵌套在 Arm 和 RISC-V 中分别如何实现？

中断嵌套是指高优先级中断可打断正在执行的低优先级中断服务程序的过程，确保紧急事件及时响应。在 ARM Cortex-M4 架构（如 STM32F401）中，通过 NVIC 支持硬件级多级嵌套，基于可编程抢占优先级（0-15 级）实现，高抢占优先级中断可抢占低优先级服务；在 RISC-V 架构（如 CH2601）中，通过 PFIC 仅支持两级中断嵌套，优先级由数值（0~255）决定，高优先级中断可打断低优先级服务，但嵌套深度有限，且优先级相同时 IRQ 号较小的中断优先响应。

第 6 章

6-1 简述 UART 通信帧的结构，并解释每部分的作用。

UART 通信帧由以下几个部分组成：

- (1) 起始位 (Start Bit)：逻辑低电平，用于通知接收端开始数据传输。
- (2) 数据位 (Data Bits)：通常为 5~9 位，表示传输的实际数据内容，默认为 8 位，小端先传 (LSB)。
- (3) 校验位 (Parity Bit) (可选)：用于基本错误检测，可配置为奇校验、偶校验或无校验。
- (4) 停止位 (Stop Bit)：通常为 1 或 2 位逻辑高电平，标志一帧数据的结束。
- (5) 空闲状态 (Idle)：高电平，表示线路未占用。

这些位组合成一帧，用于异步通信时的同步、错误检测与字节边界识别。

6-2 比较 I²C 与 UART 通信方式在硬件连接、传输效率和使用场景上的异同。

维度	I ² C	UART
接口线数	2 (SCL + SDA)	2 (TX + RX)
通信模式	同步，主从，多主支持	异步，点对点
传输速率	标准：100kbps；高速：3.4Mbps	通常高达数 Mbps
硬件连接	支持多设备并联，总线结构	每对通信需独立双线连接
控制机制	地址寻址 + 应答	无地址，固定一对终端
使用场景	板内低速传感器、EEPROM	调试串口、主机通信、打印日志

总结：I²C 更适合主控对多个外设的控制，而 UART 更适合点对点、低复杂度的稳定通信。

6-3 如何通过 CH2601 实现 UART 与 USB 的数据桥接？简述其原理并说明其在实际工程中的意义。

CH2601 可作为 USB-UART 桥接控制器。其内部通过 USB 控制器接收来自主机的数据，再将其通过内置的 UART 模块转发给目标 MCU。关键环节包括：

- USB 端由 PC 发起通信请求；
 - CH2601 解析 USB 帧数据，将其转换为 UART 数据帧；
 - 通过 TX 引脚发送至目标设备，或通过 RX 引脚接收数据返回给主机；
 - 支持 FIFO 缓冲机制、中断或 DMA。
- 该机制的意义在于：
- 替代传统串口，在现代 PC 上实现调试输出；
 - 支持多通道并发通信，适合嵌入式调试、远程配置和数据日志应用；
 - 降低开发板调试门槛。

6-4 结合本章知识，设计一种基于 CH2601 的远程固件烧录方案，并说明如何解决波特率兼容性与错误校验问题。

参考思路：

利用 CH2601 提供的 UART 通道连接目标 MCU 的 Bootloader 串口；
 主机通过 USB 接入 CH2601 并发送固件数据；
 为提高速度与可靠性，采用中断或 DMA 模式接收数据；
 加入 CRC 校验或哈希确认机制确保数据完整性；
 考虑目标 MCU 波特率支持范围，动态配置 UART 波特率或使用自动波特率识别机制；
 若需安全性，加入加密验证或加签认证；
 整体结构中加入状态反馈机制，提高刷写可控性与稳定性。

6-5 为什么现代调试系统越来越倾向于将 USB 与 JTAG 结合？你认为 CH2601 支持 USB 转 JTAG 的设计价值是什么？

参考思路：

现代开发板取消传统调试口，USB 成为唯一标准接口；
 JTAG 具备全系统级调试能力（寄存器查看、单步、断点）；
 将 USB 与 JTAG 结合可简化硬件设计，减少额外调试器；
 CH2601 支持 USB 到 SPI/UART，再桥接至 JTAG，可减少成本，增强调试接入灵活性；
 尤其适用于轻量级开发板、自研设备与产线烧录场景；
 但其时序精度、协议模拟能力仍受限，适合轻量非实时调试场合。

第 7 章

7-1 设参考电压为 5V，ADC 的位数是 16 位，计算该 ADC 的理论精度。

理论精度（分辨率）是指数字量变化一个最小单位（即最低有效位 LSB）时对应的模拟信号变化量。

其计算公式为：分辨率 = $\frac{V_{\text{ref}}}{2^N}$

其中： $V_{\text{ref}} = 5\text{V}$ ， $N = 16$

代入公式：分辨率 $\approx 0.000076294\text{V} = 76.294\mu\text{V}$

因此，该 16 位 ADC 在参考电压为 5V 的情况下，理论精度为 76.294 $\mu\text{V}/\text{LSB}$ 。

7-2 在网络上搜索常用的滤波方法，并说明其适用场景。

开放性问题，仅供参考

（1）均值滤波（平均滤波）。

原理：取多次采样结果的平均值。

优点：实现简单，对随机噪声有良好抑制效果。

缺点：对突变信号响应慢。

适用场景：噪声为白噪声或小幅度随机波动，信号变化较平稳，如温度、湿度测量。

（2）中值滤波（Median Filter）。

原理：将连续采样值按大小排序，取中间值作为结果。

优点：对脉冲噪声、突变干扰有较强的抑制能力。

缺点：实现相对复杂，对平稳信号响应慢。

适用场景：存在瞬时干扰、尖峰噪声，如机械按钮抖动、工业传感信号等。

第8章

8-1 设计一个面向智能家居的物联网控制终端时，如何基于系统对通信距离、数据速率、功耗、连接数量、安全性与成本等多重指标的要求，合理选择蓝牙或 Wi-Fi 作为主通信协议？请结合本章所学，分析这两种协议在典型应用中的优劣，并提出一种具有可行性的通信方案设计思路。

在设计面向智能家居的物联网控制终端时，蓝牙和 Wi-Fi 作为主通信协议的选择，应基于通信距离、数据速率、功耗、连接数量、安全性与成本等多个维度进行系统性权衡。蓝牙（尤其是 BLE）具备低功耗、低成本、较强点对点连接能力的优势，适用于对数据速率要求不高、控制距离较短的场景，如智能门锁、温湿度传感器、可穿戴设备等。其缺点在于通信距离有限、连接数量少、网络拓扑能力差，不适合中大型网络或频繁数据交互的设备。

相比之下，Wi-Fi 具备更高的数据吞吐量、更大的覆盖范围与更成熟的网络协议栈，适用于需要大带宽和稳定连接的场景，例如视频监控、语音助手、网关设备等。但 Wi-Fi 的功耗较高，持续在线状态对终端设备电池寿命造成较大压力，同时模块成本与复杂度也高于蓝牙。

因此，在智能家居系统中推荐采用分层通信架构的混合方案。终端节点（如温湿度传感器、遥控器等）采用 BLE 作为近距离、低功耗通信手段，由本地网关设备（如智能音箱或家居控制中心）通过 Wi-Fi 连接到家庭局域网与云平台，实现数据汇聚、指令中转与远程控制。网关作为中枢承担协议转换、设备管理与安全认证，从而在功耗、成本、安全性和用户体验之间取得平衡。

总之，蓝牙适合低功耗、短距控制终端，Wi-Fi 适合大带宽、高并发的核心节点。合理的架构设计应当避免一刀切，而是构建基于应用场景分工的通信体系，才能确保智能家居系统在扩展性、稳定性和可维护性方面具备长远可行性。

第9章

9-1 简述温度传感器中热电偶与热敏电阻的工作原理及各自的优缺点。

热电偶：由两种不同金属导体连接构成回路，当接点温度不同时，会产生热电势（塞贝克效应），可用于测温。

优点：测量范围广、响应快、耐高温。

缺点：线性差、输出电压小、需冷端补偿。

热敏电阻：其电阻值随温度变化而显著改变，分为正温度系数（PTC）与负温度系数（NTC）两类。

优点：灵敏度高、线性好、易于接口。

缺点：测温范围相对小、易受干扰。

9-2 为什么在物联网应用中越来越多采用数字温湿度传感器（如 DHT11、SHT11）而非模拟传感器？

内置温湿度补偿算法和校准参数，精度更高；

接口简单，通常只需单总线或 I²C 通信，便于嵌入式系统集成；
可降低系统开发复杂度和成本。

9-3 比较 HC-SR04 和 US100 两款超声波传感器的异同，分析其适用场景。

相同点：都通过发射和接收超声波来测距；测距原理类似，精度较高。

不同点：HC-SR04 使用 TTL 触发，工作电压为 5V，无串口输出；US100 支持串口通信（TTL 串口或 PWM 模式），可设定工作模式。

应用建议：HC-SR04 适合初学者教学、成本敏感的项目；US100 适合对接口灵活性和距离反馈精度要求更高的项目。

9-4 设计一个火灾预警系统时，应如何选择烟雾传感器？请结合不同类型的烟雾传感器进行说明。

离子型烟雾传感器：响应快，适合检测快速燃烧产生的细小烟雾；

光电型烟雾传感器：对缓慢阴燃火源（如棉、纸等）灵敏；

MQ-2 传感器模块：可检测烟雾、液化气等多种气体，适合嵌入式系统；

推荐根据火灾类型和现场环境选择合适类型，并配合温度传感器使用以提高准确性。

9-5 声音传感器在智能设备中有哪些典型应用？其性能受哪些环境因素影响？

应用：智能门铃、语音识别、噪声监测、声控灯等；

环境影响因素：背景噪声、电磁干扰、风速与温湿度变化等；传感器灵敏度、安装位置也会影响检测效果。

9-6 光敏传感器的工作机制有哪些？请分别举例说明其在工业控制与日常生活中的应用场景。

常见机制：光电导型（如光敏电阻）：光照越强，电阻越小；光电池型：如光电二极管、光电晶体管，电流随光强变化。

应用场景：工业控制：流水线光电开关、产品计数；日常生活：自动亮灯、电子时钟背光控制、智能窗帘等。

9-7 简述 X-NUCLEO-IKS01A1 扩展板的主要功能模块，以及如何通过 I²C 接口连接各类传感器。

模块包含加速度计、陀螺仪、磁力计、温湿度与压力传感器；

所有传感器通过共用 I²C 总线与主控芯片通信；

每个传感器设有独立的 I²C 地址，通过地址识别与数据读取。

9-8 阅读 9.2.2 节中提供的传感器模块实例代码，尝试分析程序中数据采集与串口输出的逻辑流程。

主要流程：

- （1）初始化串口与 I²C；
- （2）调用传感器初始化函数；
- （3）在主循环中周期性调用数据读取函数；
- （4）获取数据后通过 `printf()` 或串口发送函数输出结果；
- （5）可添加延时与错误处理逻辑，防止数据丢失或系统死循环。

第 10 章

10-1 请结合物联网与云计算的基本概念，以及本章对物联网与云计算融合的原理、架构模式的介绍，阐述二者结合的核心价值与具体作用，并对未来的技术发展趋势提出你的见解。

首先简要定义物联网与云计算，各自的关键特征与核心技术；分析物联网对实时性、分布式感知与低成本的需求，以及云计算在弹性计算、存储与大数据分析上的优势。

然后描述两者结合的必要性和优势：物联网的核心挑战在于处理海量终端产生的实时、动态数据，并满足低成本、高可靠和安全的需求。云计算凭借其强大的弹性计算能力、海量存储空间、按需付费的经济性以及高可靠性，完美补足了物联网的短板。

优势举例：弹性与可扩展：云端按需伸缩资源，满足海量设备接入与突发流量；成本与运维优化：一机一密、统一管理、OTA 升级，大幅降低分散运维成本；数据价值挖掘：云端大数据平台与 AI/ML 服务助力实时分析与预测；安全与可靠性：集中化安全认证、TLS 加密、多副本容错机制提升整体系统稳定性；生态与融合：云端规则引擎、低代码工具与第三方服务接入，加速应用迭代。

再对未来发展趋势进行分析如：AIoT 深度融合：边缘 AI 推理与云端大模型分工协作；Serverless 与微服务：进一步解耦物联网应用，按事件驱动自动伸缩；5G/6G+网络切片：更低时延、更高带宽的专属网络保障关键业务；数字孪生与元宇宙：通过云端全息模型实现物理世界的虚拟映射与仿真；安全可信框架：硬件可信根、区块链身份认证与隐私计算的落地。

第 11 章

11-1 为什么在蓝牙气象站实例中，要设计两个独立的 BLE 环境检测服务？BLE_API 有何限制？

BLE_API 当前版本限制每个服务只能包含两个通知特征，而气象站需要监控温度、湿度、压力和风向四个参数，为了传输所有数据，只能通过创建两个环境检测服务，每个服务包含两个通知特征，从而突破单服务特征数量限制。

11-2 本章实现的 BLE 环境检测使用双服务设计，若硬件升级支持单服务承载四个特征，应如何调整服务结构？

升级后可将所有四个通知特征放入一个环境检测服务中。调整步骤包含：重新定义 GATT 服务结构，更新 UUID 配置；删除冗余服务注册；修改客户端适配器（如安卓 App）订阅逻辑以订阅单一服务。此方式简化代码，提高系统可维护性。

11-3 智能家居系统如何通过传感—通信—云平台三层架构实现智能控制？

感知层：利用温湿度、光照、空气质量、人体活动传感器实时采集环境数据。

网络层：通过 Wi-Fi/BLE/LoRa 等通信协议将数据传输到本地嵌入式芯片或云平台。

应用层（云端）：在云平台存储与分析数据，依据用户设定或机器学习算法推送控制指令，如自动调节灯光、空调等设备。

11-4 采用 RISC-V 架构（如 CH2601）与云平台（如飞燕平台）有哪些显著优势？为什么适合智能家居应用？

RISC-V 架构具有简洁、高自由度和低功耗优势，适合集成多种设备管理功能；结合飞燕云平台，实现远程控制、实时监测和能耗分析，赋予系统良好的扩展性和用户交互能力，满足智能家居高效、安全、个性化需求。