

项目名称：CD 播放机



项目编号：Ljfb

文档编号：Ljfb-001

# 软件系统设计书

版本：Ver0.1

东软集团股份有限公司

东软汽车电子解决方案事业本部第一事业部

总页数	23	正文	19	附录	-	生效日期	
编制：聂礼硕，史雨恒，王天宇，孙雨萌				审批：			

## 修改履历

[illegible]


# 目录

---

<b>1</b>	<b>设计概要 .....</b>	<b>5</b>
1.1	设计背景和CONCEPT .....	5
1.2	SYSTEM ARCHITECTURE.....	5
1.3	系统设计一般性说明 .....	6
<b>2</b>	<b>模块设计 .....</b>	<b>7</b>
2.1	系统内模块划分和各模块功能分配.....	7
2.2	系统整体BLOCK图 .....	10
<b>3</b>	<b>任务设计: .....</b>	<b>13</b>
3.1	任务划分 .....	13
3.2	任务优先级分配 .....	13
<b>4</b>	<b>系统POWERON/OFF设计 .....</b>	<b>15</b>
4.1	POWER OFF设计 .....	15
4.2	POWER ON设计 .....	18
4.3	ERROR引起的系统复归设计 .....	21
<b>5</b>	<b>RTOS配置设计 .....</b>	<b>21</b>
5.1	系统MESSAGE结构设计.....	21
5.2	邮箱设计 .....	22
<b>6</b>	<b>系统其他资源分配.....</b>	<b>22</b>
6.1	SIO分配.....	22
6.2	PORT分配.....	22
<b>7</b>	<b>WATCH DOG设计 .....</b>	<b>22</b>
<b>8</b>	<b>附件.....</b>	<b>23</b>
8.1	相关式样 .....	23
8.2	相关硬件手册 .....	23
8.3	其他资料 .....	23

# 1 设计概要

## 1.1 设计背景和 CONCEPT

本设计是 CD 播放机项目的软件系统设计，系统将基于 STM32F103RC MCU，采用 CMSIS-RTOS 作为操作系统。系统实现各 BLOCK 间接口的标准化，通过硬件模块与用户进行交互，确保在各种操作情况下都能够可靠进行。设计要求包括：

- 模块化设计，易于维护与扩展；
- 各模块之间采用标准接口进行通信，确保灵活性；
- 任务与资源管理采用 RTOS 进行调度和管理，确保实时性和响应性；

## 1.2 System Architecture

本系统的体系架构如下图 1-1 所示：

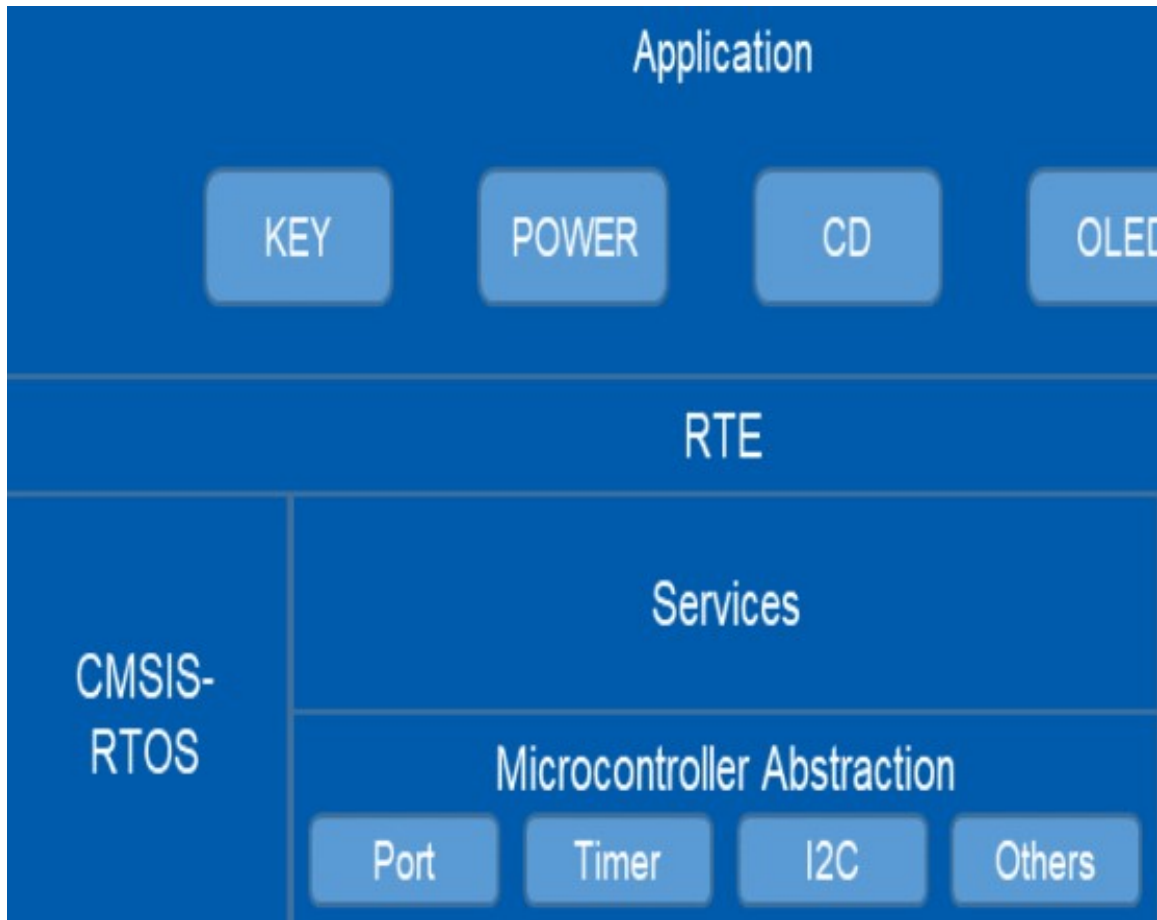


图 1-1 系统体系架构

图 1-1 为系统体系架构图，包括 BSW（软件基础）层、RTE（运行时环境）、Application（应用）层；

其中 MCU 层属于硬件基础，对应 STM32F103RC 开发板，提供 CPU、内存、外设等

CMSIS-RTOS 层属于实时操作系统抽象层，提供线程、消息队列、定时器等基础功能，所有模块通过 RTOS 任务调度进行管理，每个模块的主要功能对应一个或多个任务。

RTE 层封装了基础软件层的通信和服务，为应用层软件组件提供了标准化的基础软件和通信接口，使得应用层可以通过 RTE 接口函数调用基础软件的服务。

Application 层作为业务功能层负责实现具体功能，包括：

KEY：处理按键事件；

POWER：处理电源事件（开机；关机）；

CD：核心逻辑（弹出/加载；播放/暂停；上一首/下一首）；

OLED：显示逻辑（固定布局显示；CD 状态显示；歌曲信息显示：包括曲名，曲名号，单曲时长，时间状态）；

### 1.3 系统设计一般性说明

No	ITEM	Description	
1	RTOS	CMSIS-RTOS 4.81.1（基于 FreeRTOS 内核，支持线程管理、消息队列、Mail Queue 及定时器功能）	
2	MCU/CPU 配置	STM32F103RCT6（64-LQFP 封装，FLASH：256KB，RAM：48KB，主频：72MHz，内置 IWDG、I2C 接口、定时器及 GPIO）	
3	软件平台	使用 AutoSAR 架构的嵌入式软件平台，采用组件化分层设计，分为 BSW 层，RTE 层，APP 层	
4	关键计算机资源配备方式	STM32F103RCT6：ROM（FLASH）、RAM、Timer、I2C 接口、中断控制器、看门狗（IWDG）等全内置	
5	系统内部 BUS	I2C 总线（用于 OLED 模组通信，引脚 PB6/SCL、PB7/SDA）	
6	系统外部 BUS 或车载总线	无	
7	实时性要求	任务执行时间	≤4ms
		任务切换时间	-
		按键响应时间	短按小于 30ms，大于 1.7s 长按大于 1.7s
8	技术规范	设计规范	部门最新设计模板

		编码规范	部门最新编码规范
		单体测试规范	部门最新单体测试指南
		维护规范	暂无
9	开发与调试环境	HOST 机	Window 10
		编程语言	C99
		编译器	Keil MDK 5.24.2.0
		调试器	STM32 ST-Link v2
10	开发类型	新规	
11	功能点说明	按键控制： 支持 WK_UP (Power on/off)、KEY_0 (Load/Eject/Previous)、KEY_1 (Play/Pause/Next)，区分短按 (<1.7s) / 长按 (≥ 1.7s) OLED 显示： 第一行显示 Power 状态 + CD Source，第二行显示 CD 状态（如 PLAY/PAUSE），第三行显示播放信息 (Music ### + P:hh:mm:ss) CD 模拟： 支持 100 首曲目循环切换，Play/Pause 状态切换，上一曲 / 下一曲 (0.5s 间隔连续切换) 电源管理： Power on/off 切换，上电 / 下电时序控制（先 OLED 后 CD），异常强制下电 · 看门狗：IWDG 配置 (LSI 时钟、分频 32、重装载值 125)	
12	技术难点说明	线程间通信同步 (Message Queue/Mail Queue)； 按键去抖与长按检测 (30ms 去抖、1.7s 长按计时)； CD 状态迁移逻辑 (多状态切换及超时控制)； 看门狗喂狗任务与系统核心流程的协同	

## 2 模块设计

### 2.1 系统内模块划分和各模块功能分配

系统整体构成结构请参考图 2-1 所示：

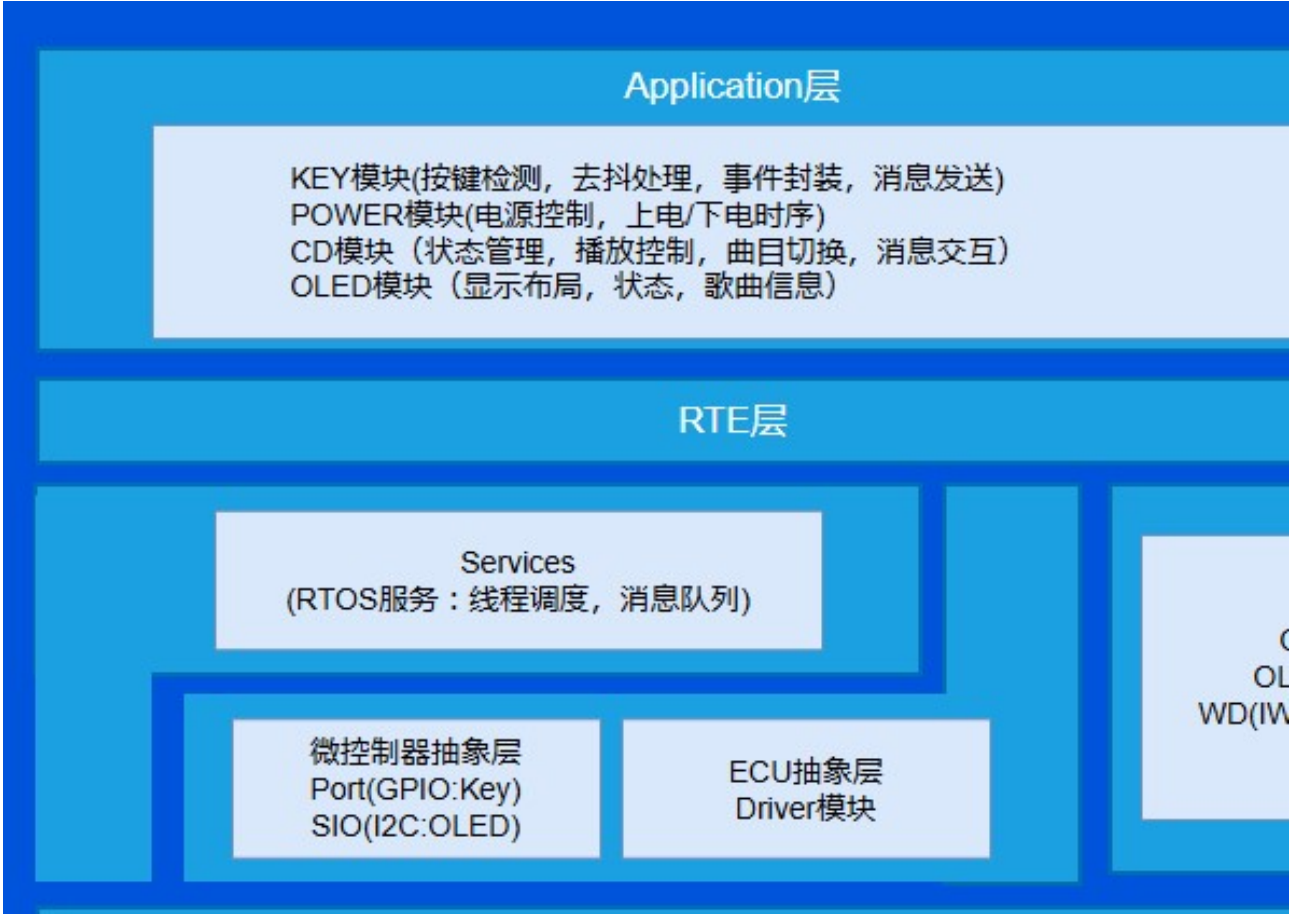


图 2-1 系统整体结构图

根据图 2-1，系统按功能划分为 KEY,POWER,CD,OLED,WD 以及 OLED Driver 模块，各模块功能如下：

**KEY 模块：**

子功能	功能描述	备注
按键检测	检测 WK_UP（Power 键）、KEY_0（Load/Eject 键）、KEY_1（Play/Pause 键）的电平变化	支持短按（<1.7s）和长按（≥ 1.7s）
去抖处理	30ms 内连续 3 次检测到稳定电平，判定为有效按键	避免机械抖动干扰
事件封装	定义 KeyEvent 数据结构，包含按键 ID 和动作类型（短按/长按）	预留 3 个 8bit 扩展字段
消息发送	通过消息队列将按键事件发送至 Power 模块或 CD 模块	优先响应 Power 键事件

**Power 模块：**

子功能	功能描述	备注
电源控制	响应 WK_UP 键：Power Off→On 或 Power On→	发送状态通知至其他模块



	Off	
上电/下电时序	上电:先启动 OLED 模块, 再启动 CD 模块 下电:先关闭 OLED 模块, 延迟后关闭 CD 模块	确保模块协同
异常处理	若模块未返回正常状态, 强制切断电源并通知 OLED 显示错误	错误信息格式: “模块+Error”

**CD 模块:**

子功能	功能描述	备注
状态管理	维护 CD 状态: NO DISC、LOADING、EJECTING、PLAY、PAUSE、STOP 等	支持状态迁移逻辑
播放控制	响应 Play/Pause 键: Stop→Play、Play→Pause、Pause→Play	无光盘时不响应
曲目切换	响应上一曲/下一曲键: Play 状态: 单次切换 Pause 状态: 0.5s 间隔连续切换	模拟项目共 100 首曲目, 循环切换, 上一曲按键时若在首曲 (1) 则切换到尾曲 (100); 下一首按键时若在尾曲 (100) 则切换至首曲 (1)
消息交互	通过消息队列接收按键事件, 向 OLED 模块发送状态消息	包含曲目编号、时间等信息

**OLED 模块:**

子功能	功能描述	备注
驱动配置	通过 I2C 接口 (PB6/SCL、PB7/SDA) 初始化 OLED, 通信速率 100kHz	地址 0x3C
线程与通信	创建 OLED 线程, 通过邮箱队列接收其他模块的状态消息	支持 Power、CD 模块消息
显示布局	第一行: Power 状态 (左) 和 CD 源 (右) 第二行: CD 状态 (如 PLAY、PAUSE) 第三行: 播放信息 (曲目编号、时间)	所有内容左对齐显示
内容格式化	曲目编号: “Music###” (3 位数字) 时间格式: “P:hh:mm:ss”	单首曲目时长 ≤ 80 分钟

**WD 模块:**

子功能	功能描述	备注
独立看门狗配置单元	负责 IWDG (独立看门狗) 的硬件配置, 包括时钟源选择 (LSI)、预分频系数设置 (128)、	基于 STM32F103RCT6 内置 IWDG 外设

	重装载值配置 (1000)	
喂狗任务管理	创建低优先级监控任务, 以 10ms 间隔定期执行喂狗操作, 维持 IWDG 计数器正常运行	任务优先级低于系统核心业务线程, 避免干扰主流程
超时复位处理	监控 IWDG 计数器状态, 当喂狗任务异常停止导致计数器溢出 (约 4 秒) 时, 触发系统复位	确保系统在软件异常 (如任务死锁) 时能自动恢复

## Driver 模块:

子功能	功能描述	备注
OLED Driver	实现 I2C 通信配置 (100kHz 速率、地址 0x3C), 支持全屏点亮/熄灭、字符及位图显示	引脚 PB6 (SCL)、PB7 (SDA)
WatchDog Driver	提供 IWDG 底层驱动接口, 包括初始化配置 (时钟源、分频系数、重装载值)、喂狗操作的硬件封装	封装 STM32F103xx 的 IWDG 寄存器操作, 为上层喂狗任务提供接口

## 2.2 系统整体 Block 图

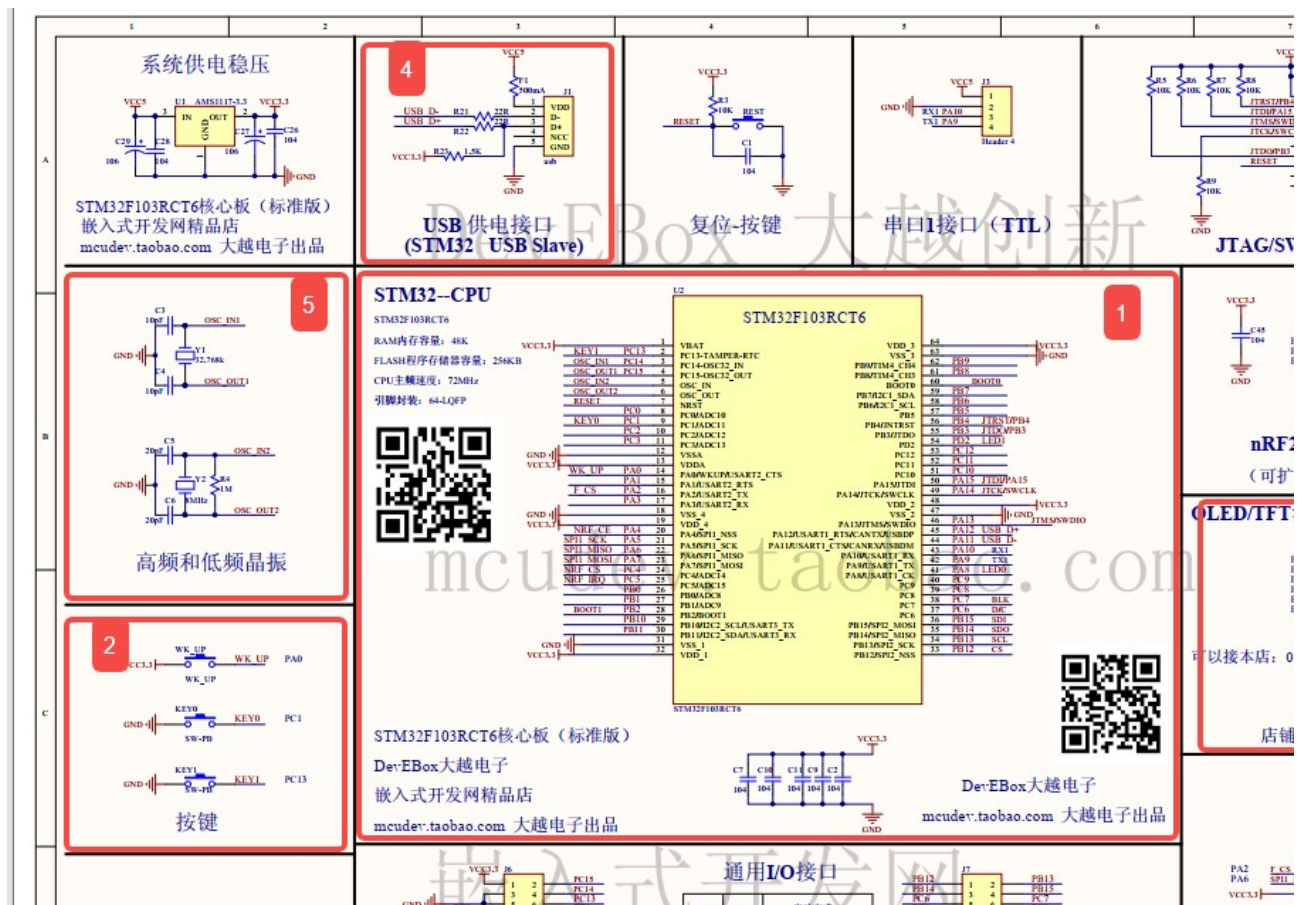


图 2-2 STM32F103RC 核心板原理图

## 1.系统硬件 Block 图

基于上图 2-2 关于 STM32F103RCT6 核心板设计，硬件以微控制器为核心，外围包含输入设备、输出设备、电源模块及调试接口，具体构成及连接关系如下：

### 1.核心控制器：见图 2-2 中【1】

型号：STM32F103RCT6 (64-LQFP 封装)

核心参数：FLASH 256KB, RAM 48KB, 主频 72MHz, 内置独立看门狗 (IWDG)、定时器、I2C 接口及 GPIO 接口

关键引脚：

调试接口：PA13 (JTMS/SWDIO)、PA14 (JTCK/SWCLK) (支持 SWD 模式调试)

电源引脚：VDD\_1、VDD\_2、VDD\_3 (接 VCC3.3), VSS (接地)

### 2.输入设备：

按键模块见图 2-2 中【2】：

WK\_UP Key：连接 PA0 引脚 (高电平有效，用于电源控制)

KEY\_0/KEY\_1：连接通用 GPIO (低电平有效，用于 CD 控制，如 Load/Eject、Play/Pause)

复位按键：连接 RESET 引脚 (通过 10K 电阻上拉至 VCC3.3)

### 3.输出设备：

OLED 显示模组见图 2-2 中【3】：

通过 I2C 总线连接，引脚为 PB6 (SCL, 串行时钟线)、PB7 (SDA, 串行数据线)，通信地址 0x3C，  
供电 VCC3.3

### 4.电源模块：见图 2-2 中【4】

输入：USB 供电 (VCC5)

稳压：通过 AMS1117-3.3 芯片转换为 VCC3.3，为 STM32 及外围设备：OLED、按键供电

### 5.辅助电路：见图 2-2 中【5】

晶振：8MHz 高频晶振（OSC\_IN1/OSC\_OUT1）、32.768kHz 低频晶振（RTC 时钟）

存储：W25Q16 FLASH 芯片（用于程序存储扩展）

2.系统软件 Block 图

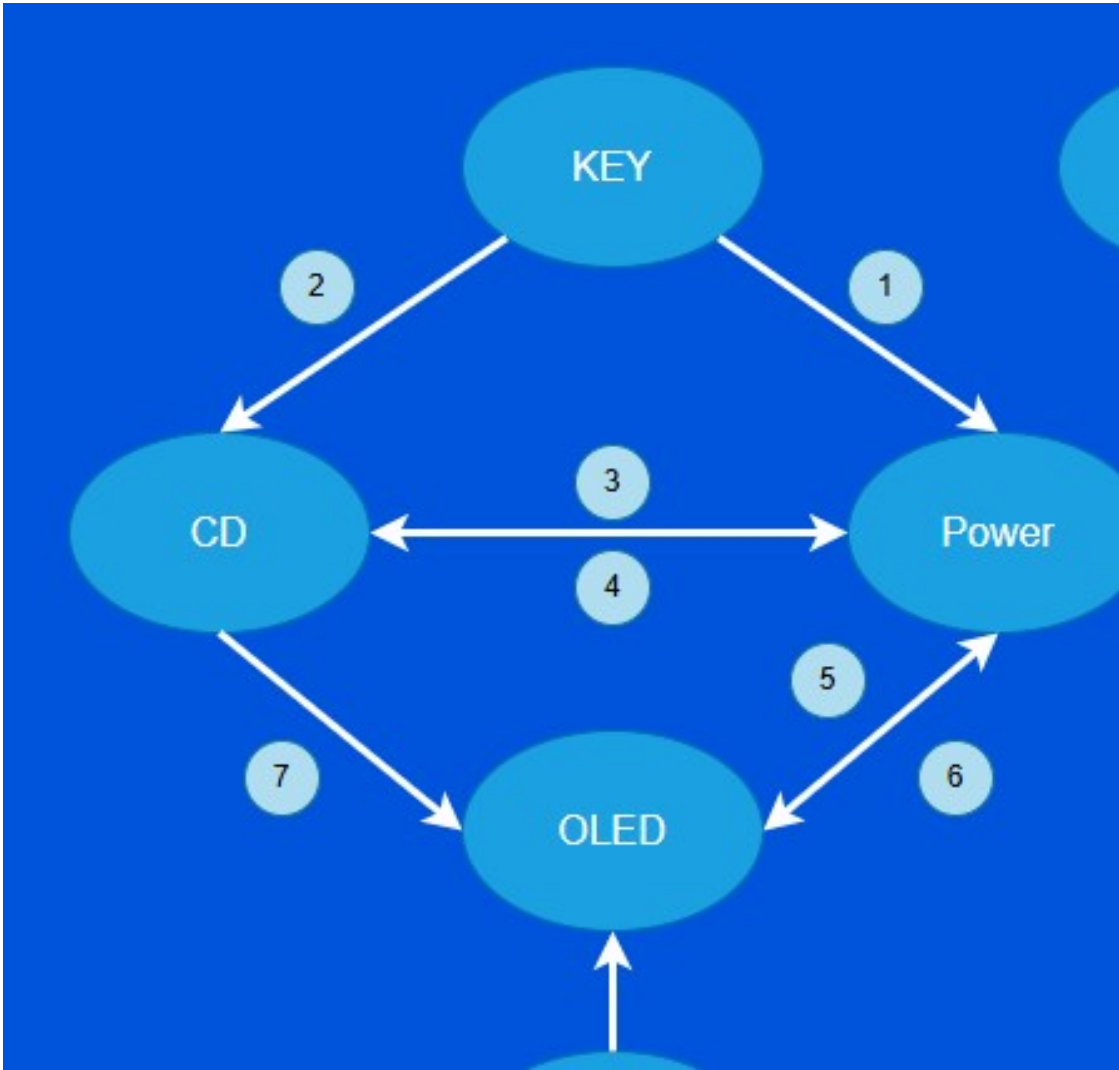


图 2-3 软件数据信息流图

根据图 2-3 所描述的软件数据信息流图可以得到下表

No.	发送模块	接收模块	交互内容概要
1	KEY 模块	POWER 模块	发送 WK_UP 按键事件（短按→Power On，长按→Power Off）
2	KEY 模块	CD 模块	发送 KEY_0/KEY_1 事件(Load/Eject、Play/Pause 等)
3	POWER 模块	CD 模块	发送电源状态通知（On/Off），控制模块上电/下电

4	CD 模块	POWER 模块	发送成功上电/下电通知
5	POWER 模块	OLED 模块	发送电源状态通知 (On/Off), 控制模块上电/下电
6	OLED 模块	POWER 模块	发送成功上电/下电通知
7	CD 模块	OLED 模块	发送 CD 状态 (PLAY/PAUSE 等) 及播放信息 (曲目编号、时间)

### 3 任务设计:

#### 3.1 任务划分

系统中的任务根据模块功能进行划分, 每个模块的主要任务由 RTOS 管理。以下是任务划分的详细说明:

No.	Main Function	instances	Task Name	argument	STACK SIZE(Byte)	MAIL BOX	Message Queue	PRI
0x01	TSK_OLED_Control	1	TSK_OLED_CTL	NULL	300	☒		<i>osPriorityBelowNormal</i>
0x02	TSK_KEY_Control	1	TSK_KEY_CTL	&KeyEventQueue	200		☒	<i>osPriorityAboveNormal</i>
0x03	TSK_CD_Control	1	TSK_CD_CTL	&CommHandlerStruct	500		☒	<i>osPriorityNormal</i>
0x04	TSK_PWR_Control	1	TSK_PWR_CTL	&PwrStateStruct	400		☒	<i>osPriorityHigh</i>
0x05	TSK_IWDG	1	TSK_IWDG	NULL	150			<i>osPriorityLow</i>

#### 3.2 任务优先级分配

系统任务的优先级划分依据模块功能的实时性需求、对系统稳定性的影响程度以及任务之间的依赖关系。任务调度由 CMSIS-RTOS 管理, 优先级数值越高, 任务在调度中获得的执行权越高。以下对各任务的优先级分配进行详细说明:

##### 1. TSK\_KEY\_Control (优先级 osPriorityAboveNormal):

功能说明: 负责按键扫描、消抖处理、按键事件识别, 并将识别结果通过消息队列发送给系统其他模块。

优先级原因: 作为系统最主要的人机交互接口, 该任务必须保证对用户操作的毫秒级响应。赋予其

较高优先级 (osPriorityAboveNormal)，可确保在任何系统负载下用户输入都能得到及时处理，避免因其他任务阻塞而导致的操控延迟或失灵现象，保障交互体验的实时性与流畅性。

## 2. TSK\_CD\_Control (优先级 osPriorityNormal):

功能说明：负责 CD 的播放、暂停、跳曲、停止控制，同时需要通过通信接口完成数据读取，确保音频数据流的连续性。

优先级原因：音频数据处理对实时性有严格的要求，任何轻微的数据流中断都可能导致可闻的爆音或播放卡顿。因此，将其优先级设置为 osPriorityNormal，次于按键任务，使其在调度中能获得充足的执行权，优先处理音频数据，保证播放的连续性。

## 3. TSK\_OLED\_Control (优先级 osPriorityBelowNormal):

功能说明：负责驱动 OLED 屏幕，完成菜单显示、状态提示、播放信息更新等操作。

优先级原因：显示更新需要及时反馈系统和用户的状态变化，但其对瞬时响应的要求低于输入和音频处理任务。设定为 osPriorityBelowNormal 优先级，使其既能及时更新界面，又不会抢占关键实时任务 (Key、CD) 的 CPU 资源，在系统资源分配上取得平衡。

## 4. TSK\_PWR\_Control (优先级 osPriorityHigh):

功能说明：负责电源开关控制、上电/断电逻辑的管理，以及系统进入 Power On/Off 状态时的模块通知。

优先级原因：电源管理是关系到系统整体运行的基础关键功能，但其触发频率较低且处理过程允许一定的时间窗口。赋予其 osPriorityHigh 的高优先级，是为了确保在需要执行开关机等关键操作时，该任务能立即被响应，可靠地完成硬件上下电流程，保障系统安全。

## 5. TSK\_IWDG (优先级 osPriorityLow):

功能说明：负责定期刷新独立看门狗计数器 (IWDG)，防止系统在正常运行时被错误复位。同时监控关键任务的存活状态，作为系统最后一道防护机制。

优先级原因：喂狗操作在时间上有容错余量 (典型周期为数百毫秒至数秒)，因此实时性要求最低。

优先级设为 `osPriorityLow`，保证其不会抢占关键实时任务的执行。

任务优先级的分配，参考 3.1 节任务划分及设置。

## 4 系统 PowerOn/Off 设计

### 4.1 Power off 设计

入口：Power off 开始

出口：Power off Mode

处理流程和内容：

系统 Power off 的整体处理流程概要描述如下（参见图 4-1）：

键侧触发：KEY 模块向 POWER 模块发送系统下电请求信息，通过 `message` 投递给 POWER 模块。

电源下电顺序：POWER 启动 Power off Guard Timer = 50ms，作为关机时限，随后分步向 OLED,CD 模块发送 Power off 模块下电请求信息（OLED 使用 `mail` 发送，CD 使用 `message` 发送）。

下电判定：若在 50ms 内收齐所有关联系统任务的“Power off 完了”模块下电完成信息，则 POWER 变为关机状态。否则执行 Power off Recovery（参见图 4-2）。

Power off Recovery 会再次对未响应，发送非下电完成位的模块重新发送模块下电请求信息，并接收。此操作执行三次，只要接收到“正常下电标志信息”，就立即停止重试，视为该模块下电成功；如果三次重试后始终未收到正常下电标志信息，则判定为下电异常，向 OLED CD 发送 POWER ERROR 且 power 状态变为 power off。



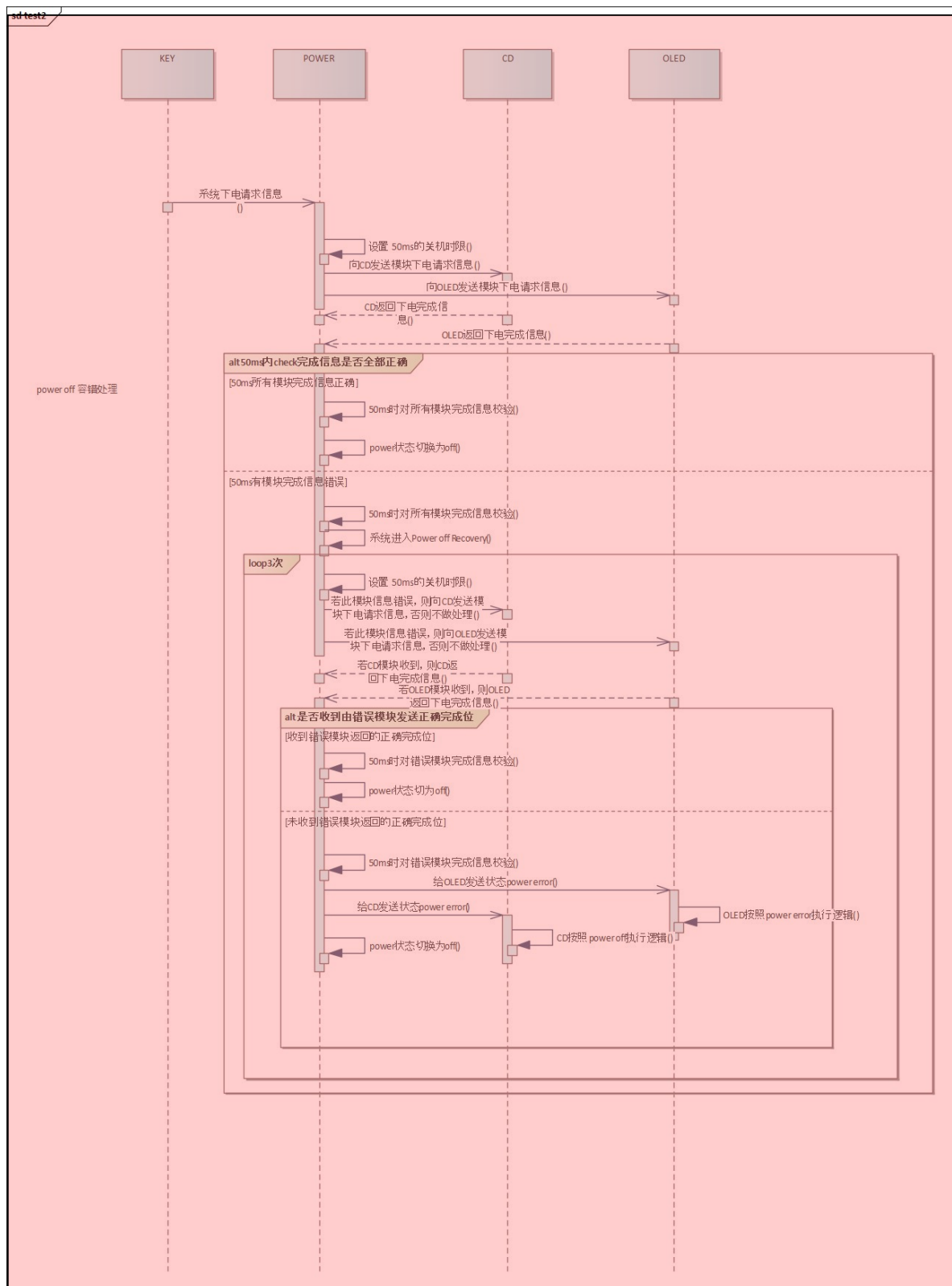


图 4-1 Power off 处理流程图



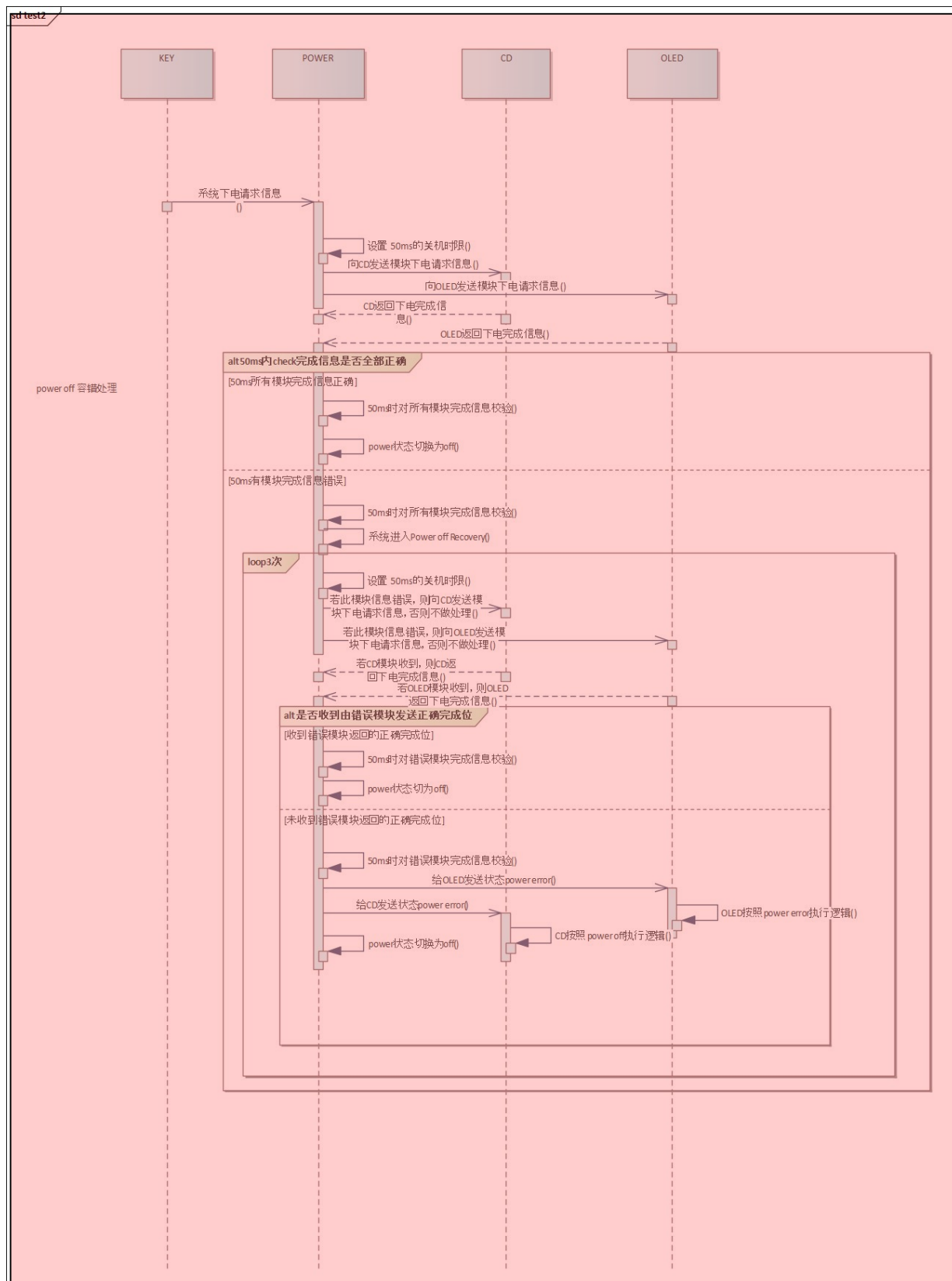


图 4-2 Power off 容错处理流程图

## 4.2 Power on 设计

入口：Power on 开始

出口：Power on Mode

处理流程和内容：

系统 Power on 的整体处理流程概要描述如下（参见图 4-1）：

键侧触发：KEY 模块向 POWER 模块发送系统上电请求信息，通过 message 投递给 POWER 模块。

电源上电顺序：POWER 启动 Power on Guard Timer = 50ms，作为开机时限，随后分步向 OLED,CD 模块发送 Power on 模块上电请求信息（OLED 使用 mail 发送，CD 使用 message 发送）。

上电判定：若在 50ms 内收齐所有关联系统任务的“Power on 完了”模块上电完成信息，则 POWER 变为开机状态。否则执行 Power on Recovery（参见图 4-2）。

Power on Recovery 会再次对未响应，发送非上电完成位的模块重新发送模块上电请求信息，并接收。此操作执行三次，只要接收到“正常上电标志信息”，就立即停止重试，视为该模块上电成功；如果三次重试后始终未收到正常上电标志信息，则判定为上电异常，向 OLED CD 发送 POWER ERROR 且 power 状态变为 power off。

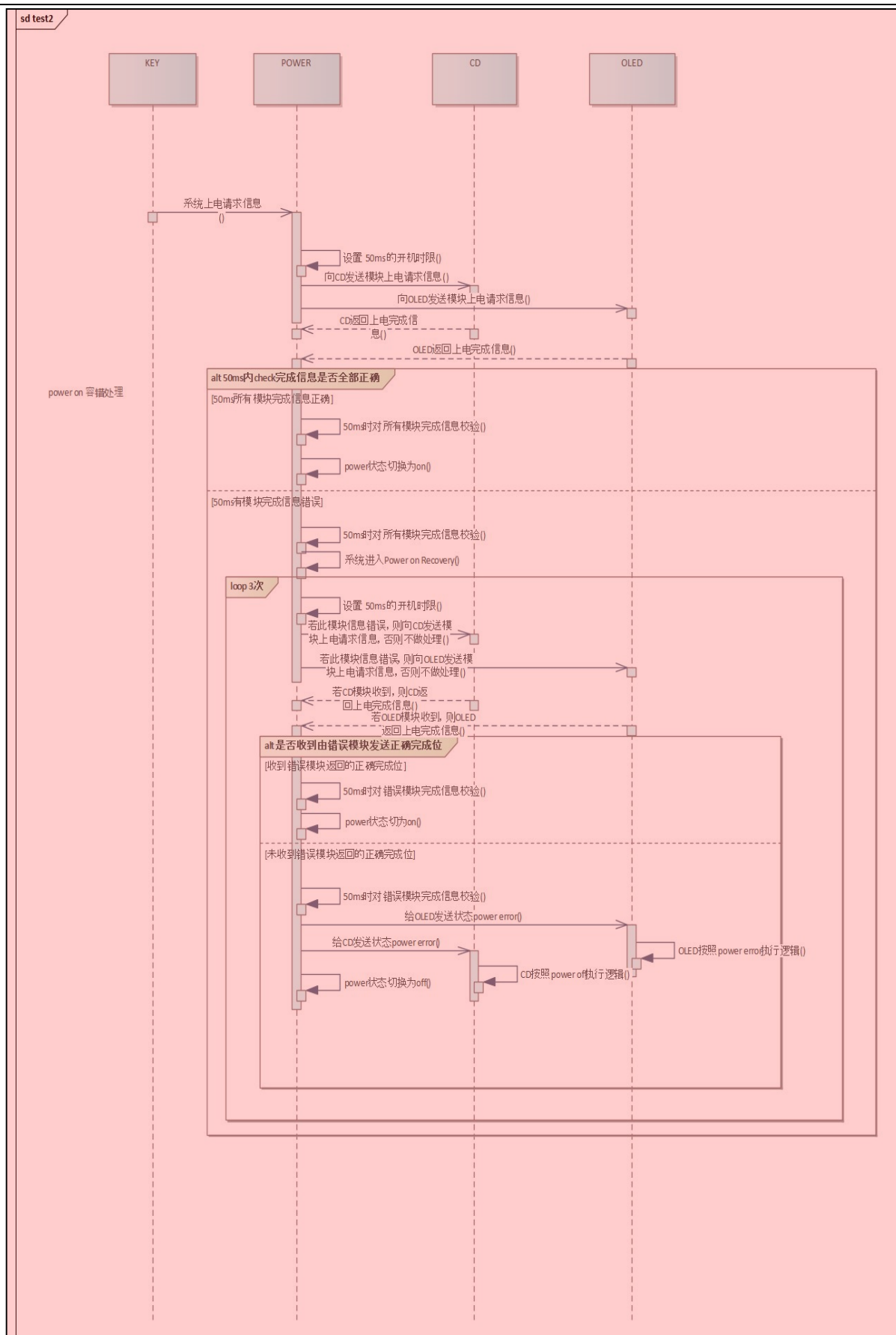
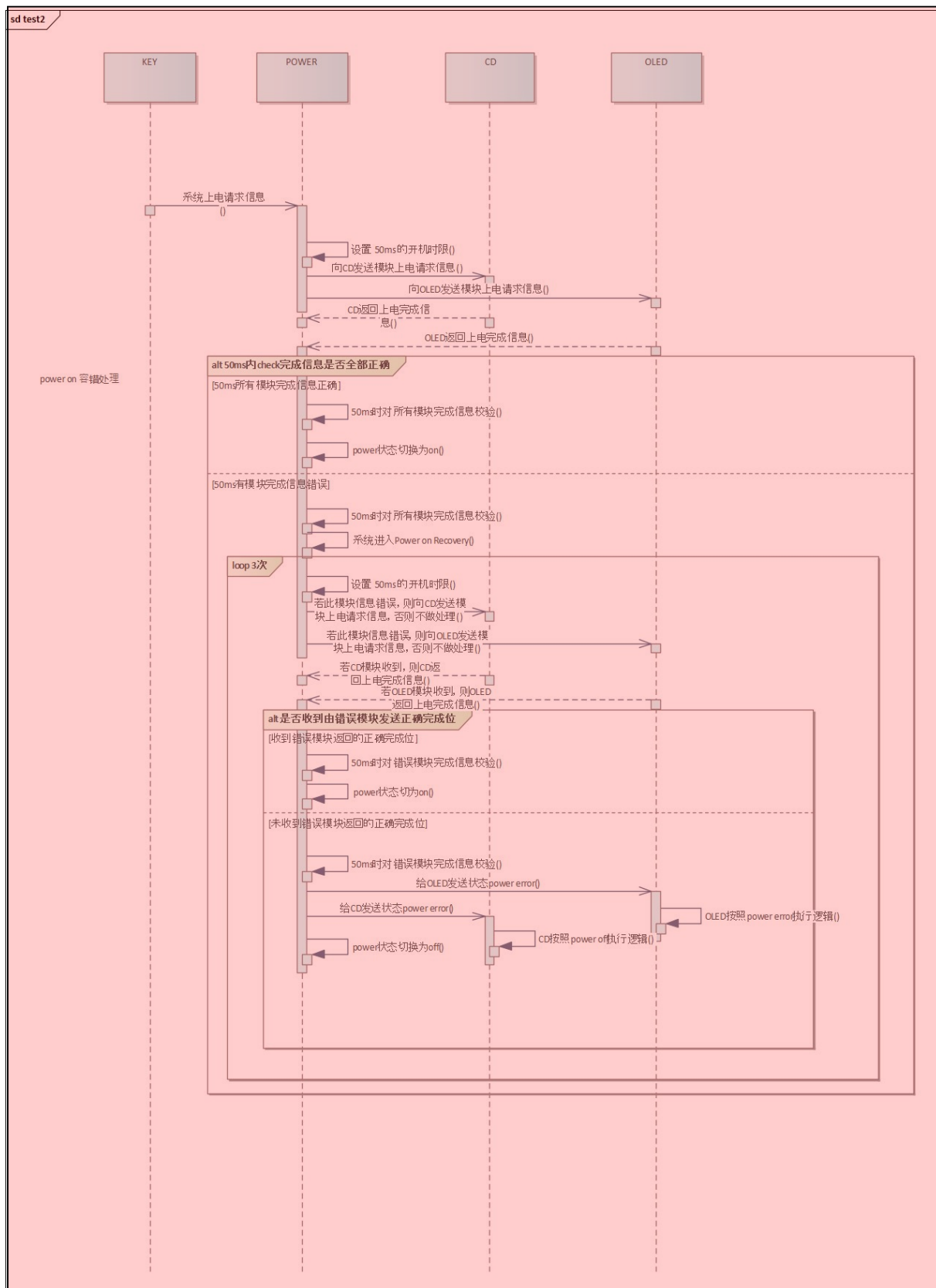


图 4-3 Power on 处理流程图



4-4 Power on 容错处理流程图

### 4.3 Error 引起的系统复归设计

在系统运行过程中，如果由于任务缺陷导致处于“死循环”或者跑飞；其他任务过度消耗资源致喂狗任务被阻塞；任务栈溢出，篡改了喂狗任务数据。导致 Watchdog 未能在规定时间内得到喂养，独立看门狗 (IWDG) 将触发 MCU 硬件复位。复位发生后，MCU 将重新执行上电初始化流程，系统时钟、外设和中断向量被重新配置，各功能模块 (KEY 扫描、POWER 控制、CD 控制、OLED 显示) 依次完成初始化并重新注册到 RTOS 调度中。通过这一机制，系统在遇到异常时能够自动复归，避免长期死锁或无响应状态，确保整体运行的安全性与一致性。

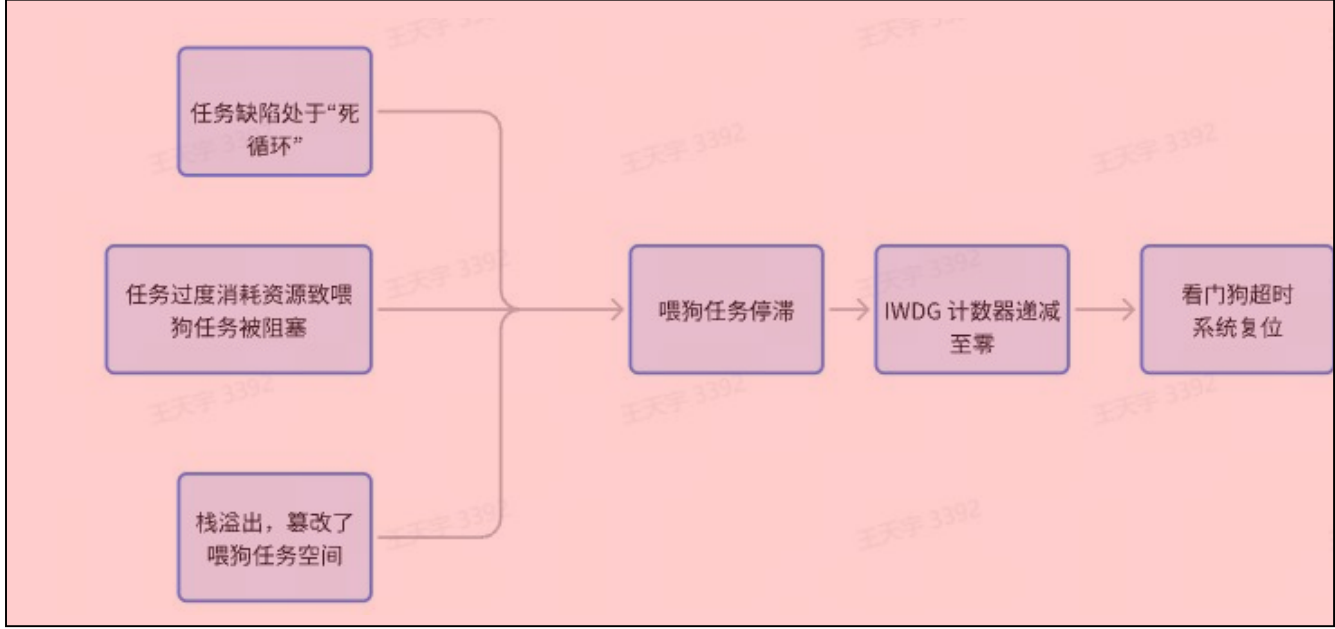


图 4-5 系统复归处理流程图

## 5 RTOS 配置设计

### 5.1 系统 Message 结构设计

系统中的消息结构定义了任务之间通信的格式。所有任务通过 消息队列 和 邮箱 进行通信。消息结构体设计如下：

字段名	类型	描述
msgID	uint32_t	消息 ID，用于区分不同类型的事件。
sourceID	uint32_t	资源 ID，用于标记是哪个模块发送。
targetID	uint32_t	标志 ID，用于明确消息发给哪个模块。

msgData	uint32_t	消息数据，携带具体的信息（如按键值、播放状态等）。
---------	----------	---------------------------

5.2 邮箱设计

系统使用 邮箱 来传递任务间的同步消息，确保任务能够按顺序执行。邮箱 ID 分配如下：

字段名	类型	描述
msgID	uint32_t	消息 ID，用于区分不同类型的事件。
sourceID	uint32_t	资源 ID，用于标记是哪个模块发送。
targetID	uint32_t	标志 ID，用于明确消息发给哪个模块。
msgData	uint32_t	消息数据，携带具体的信息

6 系统其他资源分配

6.1 SIO 分配

IIC 接口	使用者	用途说明
PB6	OLED 模块	串行时钟线
PB7	OLED 模块	串行数据线

6.2 Port 分配

GPIO	使用者	用途说明
PA0	KEY 模块	接受 WK_UP 按键的电平状态。
PC1	KEY 模块	接受 KEY0 按键的电平状态。
PC13	KEY 模块	接受 KEY1 按键的电平状态。

7 Watch Dog 设计

本项目通过配置独立看门狗（IWDG）管理单元（时钟源 LSI / 预分频系数 32/ 重装载值 125）和创建低优先级喂狗任务（30ms 周期），监控 CD OLED 关键模块状态，异常时停止喂狗触发 IWDG 计数器溢出复位（约 100ms 秒），保障系统稳定运行。

（一）时钟源选择：独立看门狗单元（IWDG）的时钟源配置为 LSI（内部低速时钟）。预分频系数配置

为 32，重装载值 125。

(二) 创建一个低优先级的喂狗任务，负责以 30ms 为周期执行喂狗（刷新 IWDG 计数器）操作。

(三) 停止喂狗后，IWDG 计数器溢出（100ms 秒），触发系统复位。

## 8 附件

### 8.1 相关式样

嵌入式业务方向应本生培训课题-实践课 Ver0.70-202508.pdf

(新版) STM32F103RC 核心板--原理图-2019.PDF

STM32 核心学习板 V1.02.pdf

### 8.2 相关硬件手册

Cortex™-M3 Devices.pdf

Cortex™-M3 Devices Reference manual.pdf

Cortex™-M3 Devices Generic User Guide.pdf

### 8.3 其他资料

Ljfb-CD-需求跟踪矩阵.xls

Ljfb-KEY-需求跟踪矩阵.xls

Ljfb-OLED-需求跟踪矩阵.xls

Ljfb-POWER\_WD-需求跟踪矩阵.xls