V1.0 2609

R5000 DISCOVERY
用户手册



海得逻捷
HAROGIC

www.harogic.cn cninfo@harogic.com +025-8330 5049

目录

1 阅读本手册 6

1.1 目的与读者 6
1.2 适用范围与版本基线 6
1.3 R5000 文档体系与内容归属 6
1.4 术语、缩略语与界面约定 7

2 安全与合规 8

2.1 提示等级 8
2.2 一般安全 8
2.3 ESD 防护 8
2.4 电源安全 8
2.5 RF 输入保护 9
2.6 热与机械安全 9

3 R5000 系列概览与使用路径 10

3.1 产品定位 10
3.2 功能级架构 10
3.3 典型工作方式 10
3.4 SAStudio4 11
3.5 HTRA API 与 SDK 11
3.6 示例应用程序 11
3.7 SAStudio4 与客户应用程序的关系 11

4 外观、面板与接口索引 12

4.1 R5000 DISCOVERY 接口定位图 12
4.2 R5000 DISCOVERY 面板接口索引 13

5 供电、RF 输入、安装与环境 15

5.1 供电与上电 15
5.2 供电版本 15
5.3 RF 输入与保护 15
5.4 接口与工作范围 15
5.5 推荐保护方法 15
5.6 尺寸概览 16
5.7 散热与风道 16
5.8 工作环境等级 16

6 开始运行前准备 17

6.1 主机侧物理接口 17
6.2 系统运行环境 17
6.3 USB 3.0 电脑直连验证 17
6.4 PCIe 3.0 或雷电扩展坞电脑直连方式 18
6.5 安装驱动（Windows） 18

6.6 安装驱动（Linux） 19
6.7 桌面软件获取与安装 20
6.8 配置校准文件 20
6.9 默认数据存储路径 20

7 连接 SAStudio4 并验证设备状态 21

7.1 启动 SAStudio4 21
7.2 界面布局 21
7.3 建立设备连接 22
7.4 查看型号、UID 及软固件版本 22
7.5 查看温度、总线吞吐量及运行状态 22

8 查看射频信号与配置：接收机 IQ 流模式 23

8.1 进入接收机 IQ 流模式 23
8.2 设置中心频率 23
8.3 设置带宽、采样率和增益 24
8.4 抽取倍数 24
8.4.1 WLAN、蜂窝通信与宽带 OFDM 24
8.4.2 短距离通信、物联网、导航与广播信号 25
8.5 频谱与瀑布图预览 26
8.6 IQ 时域波形 27
8.7 功率—时间波形 28
8.8 DDC 及其他适用于 R5000 DISCOVERY 的接收功能 28
8.9 触发设置 29

9 IQ 记录、回放、导出与数据管理 30

9.1 IQ 记录功能概述 30
9.2 设置记录参数和存储路径 30
9.3 启动与停止 IQ 记录 30
9.3.1 固定时长记录 30
9.3.2 手动记录 30
9.4 查看记录状态和数据吞吐量 31
9.5 打开并回放 IQ 记录 31
9.6 导出数据 31
9.7 记录文件格式 31
9.8 存储带宽、文件容量及使用注意事项 31
9.9 IQ 采样示例 32
9.9.1 流盘链路分析 32
9.9.2 测试平台 33
9.9.3 IQ 流盘结果 34
9.10 雷电扩展 IQ 采样示例 34
9.10.1 雷电扩展原理介绍 34

10 实时频谱模式 36

10.1 实时频谱模式概述 36
10.2 设置中心频率、分析带宽和参考电平 36

10.3 概率密度图 36
10.4 瀑布图 37
10.5 Wi-Fi 信号测量 37
10.6 实时频谱数据记录与回放 38

11 扩展分析功能 39

扩展分析功能的工作模式介绍 39

12 GNSS、参考时钟、PPS 与同步 41

12.1 硬件接口与电气条件 41
12.2 内部参考与 GNSS 41
12.3 外部时钟参考输入 41
12.4 参考时钟输出 41
12.5 在 SAStudio4 中选择外部参考 42
12.6 GNSS 锁定与 1PPS 42
12.6.1 使用默认 GNSS 源 43
12.6.2 使用默认 GNSS 源的 1PPS 触发 44

13 触发与 AUXIO 45

13.1 触发能力 45
13.2 AUXIO 触发板 45
13.2.1 R5000 DISCOVERY 配套 AUXIO 扩展板介绍 46
13.3 在 SAStudio4 中配置触发 47

14 从 SAStudio4 迁移到 HTRA API 48

14.1 为什么需要 HTRA API 48
14.2 HTRA API、SDK 与 Example Applications 48
14.3 SAStudio4 参数与 API 参数的基本对应关系 48
14.4 运行第一个接收 Example 49
14.5 获取开发文档和技术支持 49

15 软件更新、维护与服务 50

15.1 软件与固件更新 50
15.2 版本要求 50
15.3 参数说明 50
15.4 在线更新 50
15.5 本地更新 51
15.6 附件、日常检查、清洁与返修信息 52

16 故障排查 53

16.1 硬件故障排查表 53
16.2 软件、GNSS 与 IQ 快速排查 53

附录 A IQ 记录文件格式 54

A.1 文件命名 54
A.2 IQ 记录容器 54

附录 B 接收机 IQ 流参数说明 60

如何使用本手册

本手册按用户完成任务的顺序组织：先确认安全、接口与供电，再硬件连接和软件连接，随后查看信号、采集与管理 IQ 数据，最后配置 GNSS、参考时钟、触发并处理异常。

首次使用：若目标是在 30 分钟内跑通设备，请先阅读《R5000 DISCOVERY 射频接收机快速入门指南》。本手册用于在跑通后查询完整操作。



1 阅读本手册

1.1 目的与读者

本手册面向使用、集成和维护 HAROGIC R5000 DISCOVERY 射频接收机的射频工程师、系统集成商、算法开发人员、测试人员和 FAE。它用于回答“接口怎么接、参数怎么设、数据怎么取、异常怎么查”。

1.2 适用范围与版本基线

项目	说明
产品系列	R5000 系列射频接收机
适用型号	R5000 DISCOVERY
接收/发射通道	1 路接收，0 路发射

项目	适用范围
产品	HAROGIC R5000 DISCOVERY 射频接收机
桌面软件	SAStudio4，版本是 4.55.56 及其以上版本，该软件可以单独运行在上位机端。
开发软件	与设备及固件版本匹配的 HTRA API（0.55.91 版本 API 或者更新版本）、SDK 和应用例程（Example Applications）。
操作系统	以交付的软件包、安装说明和版本说明为准；第 6 章列出 SAStudio4 的通用主机要求。

1.3 R5000 文档体系与内容归属

需要完成的任务	首选文档
选型、指标、选件与应用场景	R5000 DISCOVERY 产品手册
30 分钟内首次上电、看信号和跑第一个 IQ/API	R5000 DISCOVERY 快速入门指南
接口、供电、软件 SAStudio4、IQ、GNSS、触发与排障	本用户手册
SAStudio4 全部完整测量模式、菜单和分析功能	SAStudio4 用户指南
API 会话、参数、数据结构、错误码、时间戳与同步	HTRA API 编程指南
C/C++、Qt、Python、MATLAB、LabVIEW	HTRA API 范例使用指南
使用 GNU Radio 创建应用程序，同时 GIT 获取最新 GNU Radio，SoapySDR 例程	射频收发系列 GNU Radio 范例使用指南 HAROGIC Git Repo.（在线持续维护）

1.4 术语、缩略语与界面约定

术语	含义
AUXIO	多功能辅助输入/输出接口
CMOS	互补金属氧化物半导体逻辑电平
GNSS	全球导航卫星系统，用于频率校准和时间同步
OCXO	恒温晶体振荡器，作为内部参考时钟
PPS / 1PPS	每秒一个脉冲的时间基准信号
RI	RI 是参考时钟 REF IN 的缩写
RO	RO 是参考时钟输出的缩写
REF IN / REF OUT	参考时钟输入/输出的功能名称
RF IN	射频输入端口
Trigger / TRG	触发输入或输出信号

术语	本手册中的含义
接收机 IQ 流	用于配置接收链路、采集时域 IQ 数据并进行预览分析的 SAStudio4 工作模式。
IQ Record & Play Back	IQ 数据记录、文件管理、回放和相关状态查看流程。
Spectrum Preview	用于快速观察信号的频谱、概率密度图或瀑布图。
HTRA API	R5000 DISCOVERY 自定义应用时访问设备能力的主要编程接口。
Example Applications	随 SDK 提供、用于演示和验证 HTRA API 调用流程的示例应用程序。
设备	除界面原名或引用文档名外，正文中的“设备”均指 R5000 DISCOVERY 射频接收机。

2 安全与合规

任何上电、接线或外场部署之前，都必须先确认电源、RF 输入、ESD、散热和机械条件。

2.1 提示等级

等级	含义
危险	若不避免，可能造成人员死亡或严重伤害
警告	若不避免，可能造成人身伤害或严重设备损坏
注意	若不避免，可能造成设备、接口、线缆或数据损坏
提示	有助于正确连接、验证或维护的信息

2.2 一般安全

- 仅允许了解射频、电气和 ESD 防护要求的人员安装、连接和维护设备。
- 上电前检查机壳、接口和线缆。若存在运输损伤、松动、异味、进液或明显变形，请勿上电。
- 未经 HAROGIC 授权不得拆机、改装、短接保护器件或更换内部模块。设备内部无用户可维修部件。
- 连接或拆除非热插拔接口、AUXIO 排线、触发转接板或外部参考线缆前，应先停止采集并断电。
- 不得在有凝露、导电粉尘、易燃易爆气体或超出规定环境等级的场所使用。

2.3 ESD 防护

注意

RF、GNSS、参考、触发和 AUXIO 接口可能受静电放电影响。在 ESD 受控区域操作，佩戴可靠接地的防静电腕带，并先释放人体、线缆和天线上的静电。

保持连接器保护帽清洁。搬运设备时握持机壳，不要触摸中心导体、AUXIO 引脚或裸露转接板焊盘。

2.4 电源安全

警告

仅使用随设备提供或与设备铭牌规格完全一致的电源适配器和线缆。电源适配器可能存在不同的供电定义，两者不得混用或凭接口外形推断。

- 上电前核对设备铭牌和电源输出规格。
- 不要使用松动、破损、过热或没有足够电流能力的 USB-C 线缆。
- 不要从 AUXIO 电源引脚反向给整机供电，也不要向任何输出引脚回灌电压。

- 发现反复重启、异常发热、焦味或电源保护动作时，立即断电并隔离设备。

2.5 RF 输入保护

警告

超过 RF 输入的绝对最大功率或直流电压可能立即损坏射频前端。信号频率在 30MHz 以上至最高频率且预放关闭情况下，最大损毁输入功率（连续波）是 23 dBm，1MHz-30 MHz 或 预放开启情况下，最大损毁输入功率 10dBm。请确保输入功率在最大损毁输入功率范围内，推荐使用衰减器再接入 RF 输入端口。

2.6 热与机械安全

设备工作时不得覆盖散热孔、散热鳍片或风道。安装在机箱、箱体、背包或无人值守节点中时，应评估最不利环境温度、太阳辐射、相邻热源、线缆阻挡以及整机功耗。不要在设备运行或刚断电时直接触碰可能发热的金属表面。



3 R5000 系列概览与使用路径

理解射频链、桌面软件 SAStudio4 与 HTRA API 的分工，才能选对连接和数据路径。

3.1 产品定位

R5000 DISCOVERY 是专业接收机 R5000 系列的先导产品，最高频率 20 GHz，最大实时带宽 500 MHz，可用于各类宽带无线应用的验证评估。

3.2 功能级架构

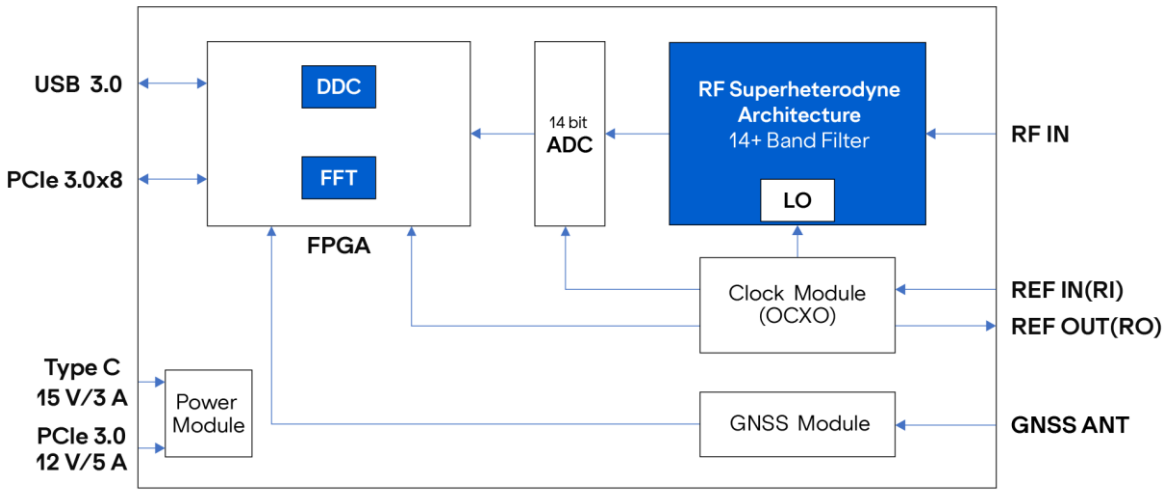


图 3-1 R5000 DISCOVERY 功能级信号流

功能级数据路径为 RF 输入、预选与超外差接收链、ADC/FPGA 及本机。GNSS、内部 OCXO、外部参考、PPS/触发等信号为接收链和时间戳提供参考或控制。该图仅用于理解外部接口关系，不代表电路、时钟树或 FPGA 资源的实现细节。

3.3 典型工作方式

工作方式	硬件连接	适用场景
桌面便携	连接 RF、电源、USB 3.0 或雷电扩展坞	桌面验证、API 调用和数据传输
大带宽集成	插入 PCIe 插槽，集成到计算机中使用	大带宽 IQ 数据采集，流盘、信号处理
定制系统集成	PCIe 插槽集成到定制系统计算机中	OEM、机箱、车载或固定站点集成

桌面验证、示例程序和客户应用承担不同任务。以下各节说明它们的关系和推荐迁移顺序。

R5000 DISCOVERY 的软件使用分为桌面验证与应用开发两条路径。SAStudio4 用于先验证，HTRA API 用于最终集成。

3.4 SAStudio4

SAStudio4 提供可视化操作界面，适合首次接入、参数探索、数据链路检查、IQ 记录与回放以及信号预览。它能降低验证阶段的操作成本，并为后续 API 开发提供可复用的配置基线。

3.5 HTRA API 与 SDK

HTRA API 与 SDK 是客户应用程序控制 R5000 DISCOVERY、获取数据和实现自动化处理的主要路径。正式系统可根据业务需要组织设备生命周期、参数配置、数据流、记录、同步和错误处理，而无需依赖 SAStudio4 运行。

3.6 示例应用程序

示例应用程序用于帮助用户快速理解 HTRA API 的调用顺序、数据结构和基本接收流程。建议先运行与当前 SDK 版本配套的示例，再在此基础上增量开发客户应用程序。

3.7 SAStudio4 与客户应用程序的关系

图 3-2 给出了推荐路径：先用 SAStudio4 确认设备和射频环境，再用示例应用程序确认开发链路，最后进入客户应用程序集成。

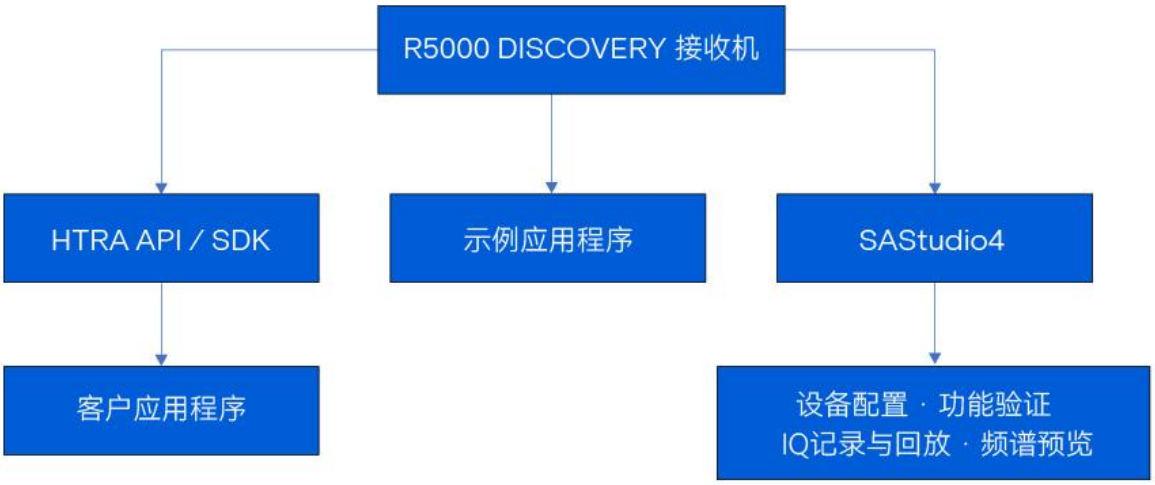


图 3-2　R5000 DISCOVERY 软件架构与典型使用路径

- **HTRA API/SDK** 是客户应用开发的主要路径。
- **示例应用程序**用于帮助客户快速理解和验证 API。
- **SAStudio4** 用于设备配置、功能验证、IQ 记录与回放及频谱预览。

4 外观、面板与接口索引

先按型号确认接口位置、方向和电气角色，再进行任何线缆连接。

4.1 R5000 DISCOVERY 接口定位图



图 4-1 R5000 DISCOVERY 外观与接口定位

图 4-1 中可见 R5000 DISCOVERY 的 GNSS Antenna、RF IN、USB 3.0、PCIe 3.0、POWER、RI、RO、AU 和 AUXIO。

4.2 R5000 DISCOVERY 面板接口索引

图片标签	接口	用途	详细说明
1 / GNSS ANT	GNSS 天线输入	SMA（F），接收 GNSS 信号，用于频率校准和时间同步	“GNSS、参考时钟、PPS 与同步”章节
2 / RF IN	2.92 mm(F), 50 Ω	单通道射频接收；连接前确认对应型号的最大安全输入、允许直流和外部保护要求	“RF 输入与保护”章节
3 / PCIe 3.0×8	PCIe 3.0 外形	PCIe 方式下的数据和供电连接上位机	“开始前准备”章节
5 / USB DATA	USB-C 外形	USB 3.0 数据总线	“开始前准备”章节
6 / USB POWER	USB-C 外形	USB 3.0 接口下的电源输入	“供电，RF 输入，安装与环境”章节
7 / RI	MMCX（F），	10 MHz 或 100 MHz 参考时钟输入	幅度 >=1.5 Vpp, 330 欧姆
8 / RO	MMCX（F），	100 MHz 系统时钟输出	幅度 >=0.3 Vpp, 可编程开/关
9 / AU	预留端口	预留端口	预留端口，悬空
10 / AUXIO	14-pin 多功能口	多功能输入输出接口，参考下表包括 GPIO，Trigger 等	外触发：3.3 V CMOS，阻抗高阻； 触发输出：3.3 V CMOS

表格 4-1 多功能 IO 接口 AUXIO PIN 接口说明（图示方向从上至下）

引脚	名称	方向	电平	说明
1	TRG_IN	I	3.3 V	触发输入，最高 500 次/s
2	EXT_TRG_IO2	—	—	保留，请勿连接
3	TRG_OUT	O	3.3 V	触发输出
4	GND	—	—	地
5	NC	—	—	不连接，请勿连接
6	3V3D	O	3.3 V	3.3 V 输出；最大可用电流未定义，不得作为负载电源
7	HB_UART_RX	—	—	保留，请勿连接
8	GND	—	—	地
9	HB_UART_TX	—	—	保留，请勿连接
10	NC	—	—	不连接，请勿连接

11	NC	—	—	不连接，请勿连接
12	NC	—	—	不连接，请勿连接
13	GND	—	—	地
14	NC	—	—	不连接，请勿连接



5 供电、RF 输入、安装与环境

本章介绍设备真正上电和接入射频系统之前必须满足的硬件条件。

5.1 供电与上电

先确认供电版本，再检查电源、线缆、散热和启动状态。

5.2 供电版本

警告

只能使用与本机铭牌一致的原厂随附适配器和线缆，规格不一致会造成设备无法上电，正常工作甚至损坏！

PCIe 接口和雷电扩展坞接口不支持热插拔，插拔 R5000 DISCOVERY，请在 PC 机关闭并断电情况下操作。

项目	参数	说明
接口	USB-C POWER /PCIe3.0 POWER	USB Type-C 接口 / PCIe 3.0 供电接口
输入	15V 3A USB-C / PCIe 3.0 12V 5A	USB 和 PCIe 供电方式不能同时使用
功耗	≤38 W	运行条件：实时频谱分析模式或者 IQ 流模式下的记录

5.3 RF 输入与保护

RF 端口的绝对最大额定值不是推荐工作电平。未知信号必须先在外部测量并采取衰减、隔直或限幅保护。

5.4 接口与工作范围

条件	最大允许值
频率 > 30 MHz 且预放关闭	最大损毁输入功率 23 dBm CW
频率 ≤ 30 MHz，或预放开启	最大损毁输入功率 10 dBm CW
RF 端口直流电压	±12 VDC

5.5 推荐保护方法

- 在未知信号或高场强环境中，先接入足够额定功率的外部衰减器。
- 信号路径可能携带直流时，使用频率范围合适的隔直器，并确认其击穿电压和插入损耗。
- 存在发射机泄漏、天线共用或强瞬态时，配置限幅器、滤波器、隔离器或外部保护开关。
- 不使用扳手过度拧紧射频接口，推荐扭矩扳手。

5.6 尺寸概览

型号	尺寸	重量
R5000 DISCOVERY	159 × 122 × 41 mm	680 g
雷电扩展坞	166.1 × 155.8 × 74.9 mm	380 g

5.7 散热与风道

R5000 DISCOVERY 的功耗最高 38W。产品包含通风开孔或散热鳍片。集成设计至少应满足：

- 不覆盖进风、出风或散热表面，不将多台设备无间隙堆叠。
- 评估环境温度上限、安装姿态、箱体密闭程度等。
- 确保线缆、泡棉、标签和固定件不会遮挡通风开孔、散热表面或任何已确认的活动部件。

提示

产品默认 T0 等级，工作温度 0-50°C，没有更高等级的温度选件。如需要更高等级的工作温度，请单独联系 HAROGIC。

5.8 工作环境等级

工作温度	存储温度	等级
0–50 °C	–20–70 °C	T0

环境温度	工作相对湿度
0–40 °C	5%–75%
>40 °C	5%–45%

避免凝露。设备从低温环境移入温暖潮湿环境后，应在断电状态下充分恢复至环境温度并确认无凝露再上电。

6 开始运行前准备

建立可验证的 USB/ PCIe 3.0 链路，确认主机访问，再准备 SAStudio4 运行系统环境。

6.1 主机侧物理接口

R5000 DISCOVERY 的数据接口是 PCIe Gen 3 x8，USB 3.0。其中 PCIe Gen3 x8 可以支持雷电扩展坞。PCIe 和 USB 3.0 接口不能同时使用。

6.2 系统运行环境

表中仅列出基本建议配置，低于推荐配置的系统，请以实际测试结果为准。

表格 6-1 上位机系统运行环境要求

安装方式	USB 3.0 方式	PCIe 3.0 ×8 方式
操作系统	Windows 11/10（x86_64），Ubuntu 22.04/20.04（x64、AArch64）	Ubuntu 20.04.6， Linux 内核 5.15.0-139-generic Ubuntu 22.04.5， Linux 内核 6.8.0-40-generic
内存	4 GB 或更高	
存储	记录 IQ 数据时，应根据目标采样率、数据格式和记录时长核算持续写入带宽与容量，其中 USB 3.0 接口要求硬盘写入速度大于 400 MB/s，PCIe 接口的 625 MS/s 采样率下的速度高达 2500 MB/s，对上位机系统的存储和内存要求更高。	
数据接口	USB 3.0	PCIe 3.0 x 8 数据链路
显示器	最低分辨率：1280 × 800	

6.3 USB 3.0 电脑直连验证

USB 3.0 方式支持 Windows 和 Linux 操作系统，关于 Windows 直连可以参考快速入门指南，接下来主要介绍 Linux 系统下的验证路径，建议按以下步骤连接 R5000 DISCOVERY：

- 确认设备未通过 PCIe 供电。保持电源适配器未接入电源插座，将原装 15 V / 3 A 适配器连接至 USB POWER，接通适配器电源。
- 使用 USB 数据线将 USB DATA 连接至上位机的 USB 3.0 接口。
- 设备上电约 3 秒后，在上位机终端运行以下命令：lsusb。
- 若输出中出现设备 ID“367f:0001”，表示上位机已枚举到设备。

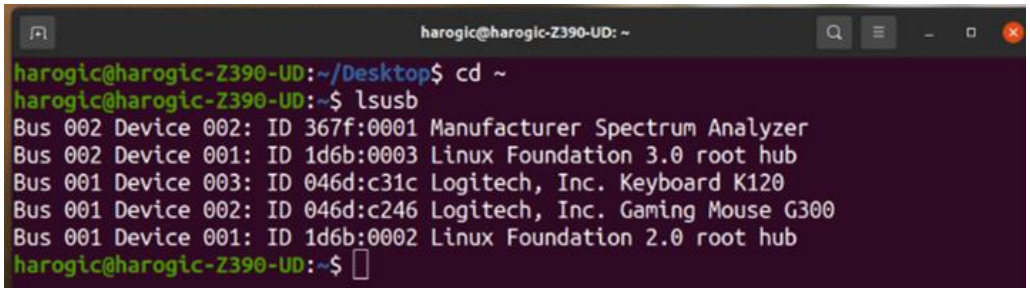


图 6-1 检查 USB 设备连接状态

6.4 PCIe 3.0 或雷电扩展坞电脑直连方式

PCIe 和雷电扩展坞的工作方式仅支持 Ubuntu 操作系统，建议按以下步骤连接设备：

- 关闭上位机并断开电源，将 R5000 DISCOVERY 安装到上位机的 PCIe ×16 或 x8 物理插槽中，该插槽需要支持 x8 数据接口（8 Lane）以上总线能力。
- 雷电扩展坞可以断电情况下安装 R5000 DISCOVERY，并将雷电数据线连接到上位机的雷电接口，随后接通雷电扩展坞电源，再打开上位机电源，上位机进入系统后可以正确识别 R5000 DISCOVERY。
- 正确固定 PCIe I/O 挡板和板卡固定扣，检查雷电扩展坞固定是否稳定，防止板卡因上位机振动而松动。
- 启动上位机，打开终端并运行以下命令：lspci。
- 若输出中出现设备 ID“211c:0001”，表示上位机已枚举到设备。
- 注意 PCIe 和雷电扩展坞不支持热插拔，请关机断电后再将 R5000 DISCOVERY 从插槽拔下。

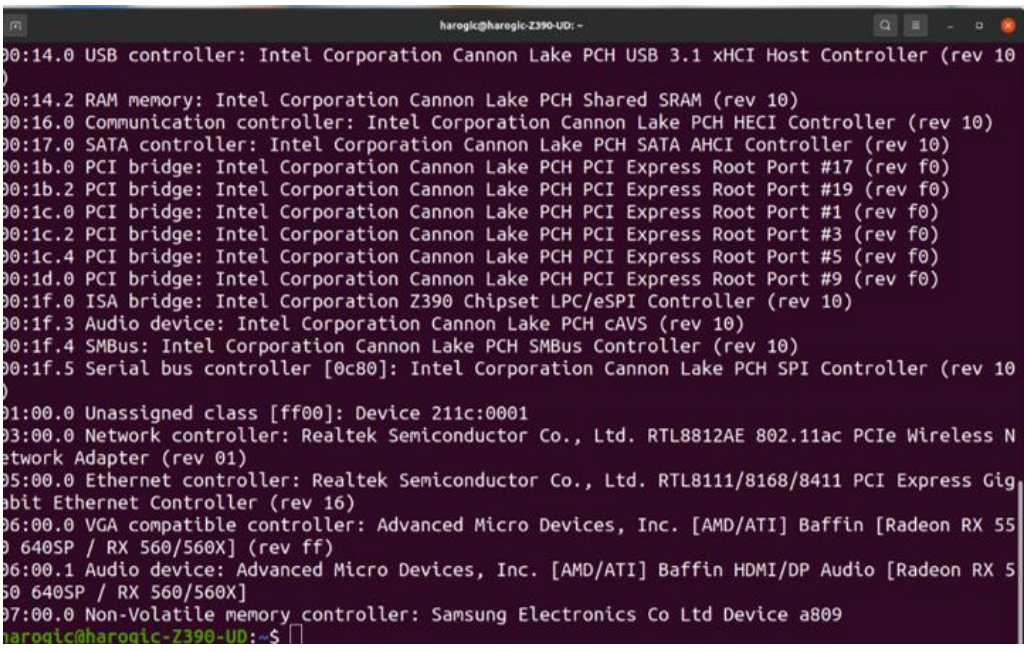


图 6-2 检查 PCIe 设备连接状态

6.5 安装驱动（Windows）

下面将以安装 Win10_x64 驱动为例。注：Win10 驱动兼容 Win11 系统。

- 查看电脑系统信息，确认系统版本和位数；
- 打开随寄 U 盘中的“Windows\HTRA_Driver\Win10_x64”文件夹；
- 鼠标右键点击“Install_Driver.bat”文件，选择“以管理员身份运行”安装驱动；

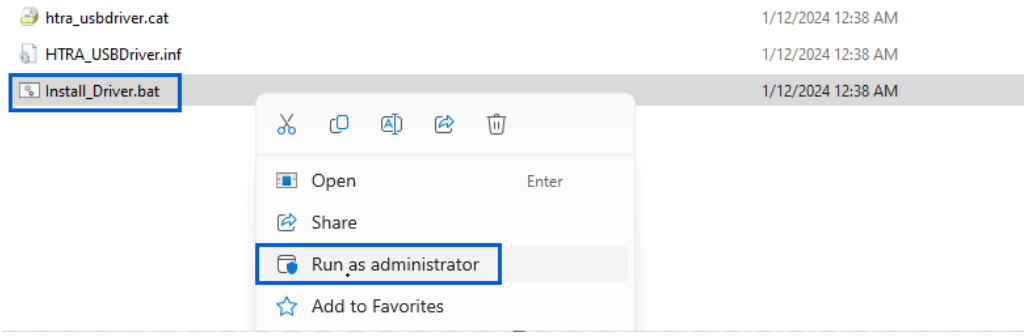


图 6-3 安装驱动

- 终端出现“USB Driver Installation Succeeded”提示，表示驱动安装成功。

6.6 安装驱动（Linux）

下面将以在 Ubuntu 22.04.5 中安装驱动为例。

- 将随寄 U 盘中的“Linux”文件夹复制到系统中； USB 3.0 和 PCIe 3.0 的驱动安装脚本相同。
- 右键单击“Linux/Install_HTRA_SDK”文件夹的空白处，选择“Open in Terminal”打开终端；
- 在终端输入“sudo sh install_usb_sdk_lib.sh”并回车，按提示输入当前用户密码，再次回车确认安装；
- 对于 USB 接口，连接设备后，在终端输入“lsusb”，如出现 ID:6430、ID:04b5 或 ID:367f，表示驱动安装成功

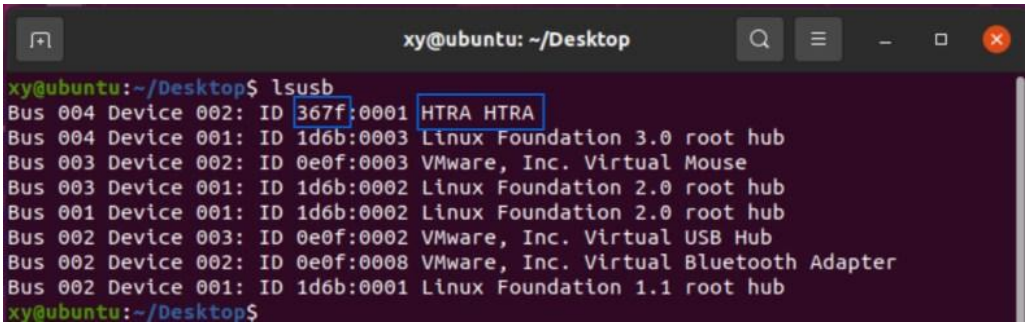


图 6-4 Linux 下查看设备是否正确连接 USB 3.0

- 使用 PCIe 3.0 接口,在终端输入“sudo sh install_pcie_sdk_lib.sh”并回车，按提示输入当前用户密码，再次回车确认安装；
- 对于 PCIe 3.0 接口，连接设备后，在终端输入“lspci”，如出现 Device 211c:0001，表示驱动安装成功

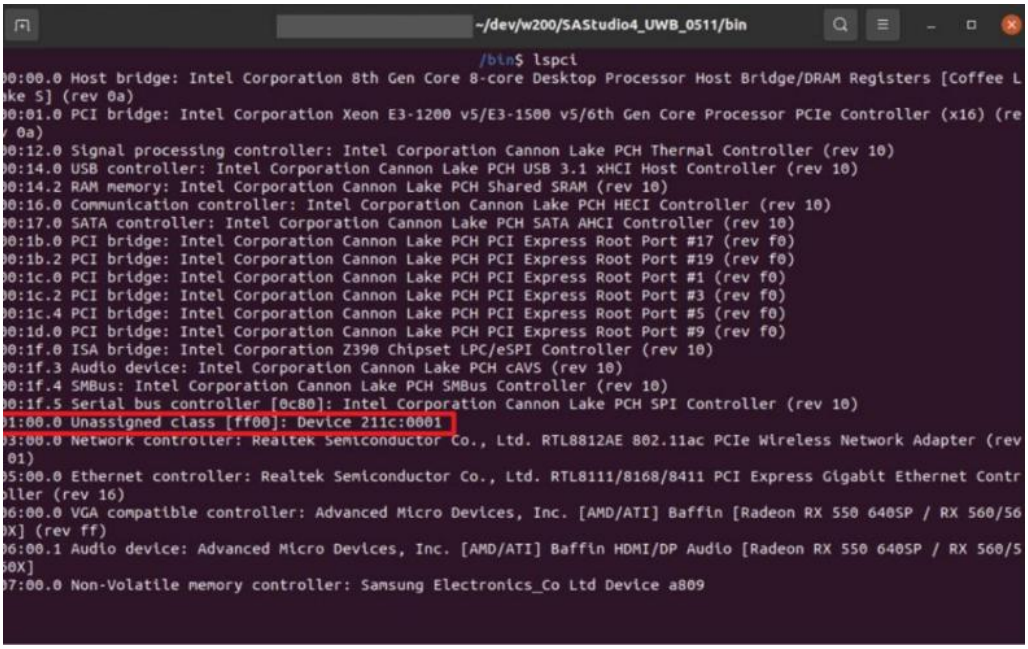


图 6-5 Linux 下查看设备是否正确连接 PCIe 3.0

6.7 桌面软件获取与安装

- 从随产品交付的 U 盘、HAROGIC 官网获取最新 SAStudio4 安装包。
- 注：默认提供 Windows x64、Linux x86_64 和 Linux aarch64 版本的软件。若需要 Windows x86 版本，请联系官方技术支持获取帮助。
- 按安装包说明完成安装。若软件以免安装目录形式交付，应保持目录结构完整，不要只复制可执行文件。
- 首次启动前，确认当前用户对软件目录和计划使用的数据目录具有读取与写入权限。

6.8 配置校准文件

校准文件与设备绑定，严禁重命名或混用，复制到 SAStudio/bin/CalFile。缺乏校准文件会导致 SAStudio4 和 SDK 无法执行。

6.9 默认数据存储路径

不同安装方式的根目录可能不同。以当前 SAStudio4 软件目录为基准，常用相对目录如下：

相对目录	主要内容
data	记录文件、配置文件以及瀑布图导出的 CSV，WAV 等格式数据。
images	快捷截图和图表导出的 PNG 图片。
reports	图表导出的 CSV 数据及相应配置。

本章完成标准：上位机能够连接设备；驱动安装成功；SAStudio4 与设备版本匹配；配置校准文件；目标数据盘具有足够剩余空间和持续写入能力。

7 连接 SAStudio4 并验证设备状态

先用最小操作确认“软件识别设备”和“数据链路持续稳定”，再尝试调整射频参数。

7.1 启动 SAStudio4

- 确认第 6 章中的供电、数据连接和存储准备已完成。
- 启动 SAStudio4，相对路径下的\SAStudio4\SAStudio4\bin\SAStudio4.exe。
- 等待主界面完成初始化，不要在初始化期间重复启动多个实例。R5000 DISCOVERY 产品默认进入接收机 IQ 流模式界面。
- 查看状态区是否出现型号、UID 后六位、API/FPGA/MCU 版本、GUI 版本、总线数据吞吐量和实时温度等信息。

7.2 界面布局

SAStudio4 通用界面由六个区域组成。

区域	主要用途
菜单栏（Menu）	保存/打开配置、 切换模式、单次/连续、快捷记录与回放、系统设置。
图表设置区 (Graph Set Area)	选择图表并设置 Graph、Trace、Marker、缩放和数据导出。
图表显示区（Graph Display Area）	显示最大功率—时间缩略图、频谱、IQvT、PvT、瀑布图等。
主设置区 (Main Setting Area)	设置 Frequency、BW、Amplitude、Trigger、Record、Play Back、DDC、FFT、IQvT 和 PvT。
设备状态区	显示型号、UID、软固件版本、吞吐量、温度等状态。
参数快捷设置区	快速查看或修改中心频率等常用参数。

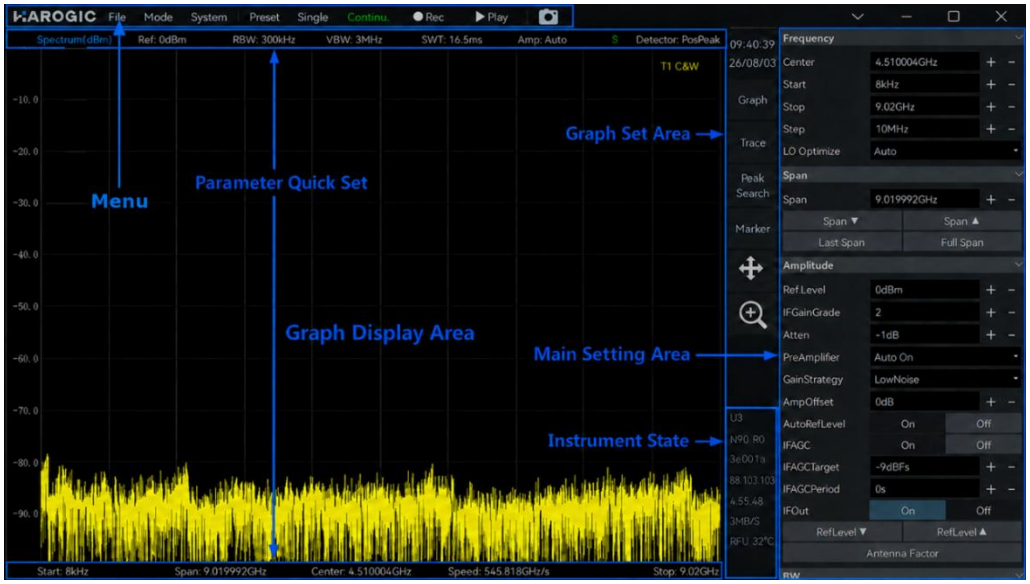


图 7-1 软件界面布局

7.3 建立设备连接

SAStudio4 是否能够显示设备状态，是桌面端连接成功的首要判断依据。

如果没有正常运行刷新，请点击系统-设备连接，如果是 USB 3.0 接口选择 USB，如果是 PCIe 3.0 接口选择 PCIe。

若启动后状态信息为空、持续报错或数据不刷新，请先退出软件，重新检查硬件连接和版本匹配进行排查。

7.4 查看型号、UID 及软固件版本

点击菜单栏“系统”→“关于”，查看当前设备 UID 和软固件版本：

- 设备型号与 UID；
- SAStudio4 GUI 版本；
- API、FPGA、MCU 以及界面中显示的其他固件版本；

7.5 查看温度、总线吞吐量及运行状态

状态区可显示总线数据吞吐量和设备实时温度，重点观察：

观察项	正常表现
状态刷新	型号、版本和温度等信息能够稳定显示。
总线吞吐量	开始接收或记录后随数据流变化，停止后回落。
温度	在产品规定环境内变化平稳。
图表刷新	连续模式下稳定刷新，无长时间冻结。

8 查看射频信号与配置：接收机 IQ 流模式

按中心频率、带宽/采样率和显示的顺序建立一套可复现的接收机信号查看和记录工作流。

接收机 IQ 流模式是 R5000 DISCOVERY 桌面验证的核心模式。它把接收参数、时域 IQ、功率—时间、频谱预览、DDC 和记录入口集中在同一工作流中。

8.1 进入接收机 IQ 流模式

- 完成第 7 章检查清单中的连接与状态确认。
- SAStudio4 打开默认会进入该模式或者点击菜单栏“模式”→“接收机/IQ 流”。



图 8-1 接收机 IQ 流模式界面

8.2 设置中心频率

- 在主设置区选择“Frequency”。
- 设置“中心频率”，如 1GHz，使目标信号落入当前分析带宽内。
- 点击“连续”，观察频谱或时域图是否出现目标信号。
- 若没有目标信号，先检查信号源、射频连接和中心频率，再调整增益；不要仅靠持续提高增益判断连接是否正常。

8.3 设置带宽、采样率和增益

参数	SAStudio4 入口	使用要点
原生采样率	“BW”→“原生采样率”	用于设置 ADC 采样率，通过设置改原生采样率配合扫宽设置可以实现任意采样率的调节。
分析带宽/扫宽	“BW”→“扫宽”	用于限定预览与分析范围；“扫宽▲/▼”可按 R5000 DISCOVERY 实际抽取倍数调整，注意 R5000 DISCOVERY 并不是 2 的整数倍抽取。具体的抽取见抽取倍数表格。
数据格式	“BW”→“数据格式”	软件提供单路 16 位和 32 位选项；16 位为默认配置。
预放	“Amplitude”→“预放”	可选择自动、强制关闭或界面提供的增益模式。强信号环境应优先避免前端过载。
增益策略	“Amplitude”→“增益策略”	“低噪声”侧重噪底，“高线性度”侧重线性性能；根据场景选择。
中频自动增益	“Amplitude”→“中频自动增益”	开启时，中频饱和后软件可降低中频增益；关闭时保持手动配置。
衰减	“Amplitude”→“衰减”	用于提高强信号环境下的裕量。修改后应重新观察噪底、峰值和过载状态。

8.4 抽取倍数

R5000 DISCOVERY 的 IQ 采样率为 600 MS/s- 640 MS/s 可调，调谐步进 ≤ 1 MHz。其内部 FPGA 抽取器支持的抽取倍数如下表所示。因此其能够实现的 IQ 采样率由原生 IQ 采样率 600 MS/s-640 MS/s 内步进可调和抽取倍数共同计算得出。

FPGA 抽取器	支持 1,2,3,4,5,6,10,12,15,20,24,30,40,48,60,80,96,120,160,192, 240,320,384,480,640,768,960,1280,1536,1920,2560,3072,3840,5120,6144,7680, 10240,12288,15360,20480,24576,30720,40960 抽取

如下列出典型的无线信号的采样率，可以基于 R5000 DISCOVERY 实现。

8.4.1 WLAN、蜂窝通信与宽带 OFDM

协议/波形	目标 IQ 采样率	主 IQ 采样率	抽取倍数
IEEE 802.11ah S1G（1/2/4/8/16 MHz）	1.25/2.5/5/10/20 MS/s	600 MS/s	480/240/120/60/30
IEEE 802.11p（5 MHz）	6.25 MS/s	600 MS/s	96
IEEE 802.11p（10 MHz）	12.5 MS/s	600 MS/s	48
Wi-Fi 4/5/6/6E/7（20 MHz）	25 MS/s	600 MS/s	24
Wi-Fi 4/5/6/6E/7（40 MHz）	50 MS/s	600 MS/s	12
Wi-Fi 5/6/6E/7（80 MHz）	100 MS/s	600 MS/s	6

Wi-Fi 5/6/6E/7（160 MHz）	200 MS/s	600 MS/s	3
Wi-Fi 7（320 MHz，推荐配置）	640 MS/s	640 MS/s	1
Wi-Fi 7（320 MHz）	320 MS/s	640 MS/s	2
5G NR（400 MHz）	614.4 MS/s	614.4 MS/s	1
5G NR（200 MHz）	307.2 MS/s	614.4 MS/s	2
5G NR（60/80/100 MHz）	122.88 MS/s	614.4 MS/s	5
5G NR（40/50 MHz）	61.44 MS/s	614.4 MS/s	10
5G NR/LTE（15/20 MHz）	30.72 MS/s	614.4 MS/s	20
5G NR/LTE（10 MHz）	15.36 MS/s	614.4 MS/s	40
5G NR/LTE（5 MHz）	7.68 MS/s	614.4 MS/s	80
LTE（3 MHz）	3.84 MS/s	614.4 MS/s	160
LTE/LTE-M（1.4 MHz）	1.92 MS/s	614.4 MS/s	320
NB-IoT（180 kHz）	1.92 MS/s	614.4 MS/s	320
WCDMA/UMTS（3.84 Mcps）	15.36 MS/s	614.4 MS/s	40
TD-SCDMA（1.28 Mcps）	7.68 MS/s	614.4 MS/s	80
GSM/EDGE（200 kHz）	3.2 MS/s	614.4 MS/s	192
cdma2000/1xRTT（1.25 MHz）	5.12 MS/s	614.4 MS/s	120
6G FR3 原型 OFDM（200 MHz）	307.2 MS/s	614.4 MS/s	2
6G FR3 原型 OFDM（400 MHz）	614.4 MS/s	614.4 MS/s	1

8.4.2 短距离通信、物联网、导航与广播信号

协议/波形	目标 IQ 采样率	主 IQ 采样率	抽取倍数
Bluetooth BR/LE 1M/LE Coded	4 MS/s	640 MS/s	160
Bluetooth LE 2M/EDR	8 MS/s	640 MS/s	80
IEEE 802.15.4/Zigbee（2.4 GHz）	8 MS/s	640 MS/s	80
LoRa（125 kHz）	0.5 MS/s	640 MS/s	1280
LoRa（250 kHz）	1 MS/s	640 MS/s	640
LoRa（500 kHz）	2 MS/s	640 MS/s	320
Z-Wave/Sub-GHz FSK	0.5/1 MS/s	640 MS/s	1280/640
IEEE 802.15.4g/SUN FSK	1/2/4 MS/s	640 MS/s	640/320/160

Sigfox/超窄带 FSK	15.625 kS/s	640 MS/s	40960
UHF RFID/EPC Gen2	2/4 MS/s	640 MS/s	320/160
GPS L1 C/A、BDS B1I 等	5.115/10.23/20.46MS/s	613.8 MS/s	120/60/30
GPS L5、Galileo E5a、BDS B2a	40.92 MS/s	613.8 MS/s	15
Galileo E5 AltBOC	102.3 MS/s	613.8 MS/s	6
ADS-B/Mode S	8 MS/s	640 MS/s	80
AIS/VDL/ACARS	0.2 MS/s	614.4 MS/s	3072
TETRA/DMR/P25/NXDN	0.1/0.2 MS/s	614.4 MS/s	6144/3072
模拟 FM 广播	1 MS/s	640 MS/s	640
模拟 AM/航空 AM	0.1/0.2 MS/s	614.4 MS/s	6144/3072
DAB/DAB+	2.56 MS/s	614.4 MS/s	240
DRM/DRM+	0.05/0.1/0.2 MS/s	614.4 MS/s	12288/6144/3072
DVB-T/T2、ATSC、ISDB-T（6/7/8 MHz）	12.5 MS/s	600 MS/s	48
DVB-S/S2/S2X	按符号率、滚降系数及滤波通带选择	600–640 MS/s	按目标速率选择
通用 ASK/OOK/FSK/GFSK/MSK	按占用带宽及解调器要求选择	600 或 640 MS/s	按目标速率选择
通用 BPSK/QPSK/8PSK/QAM	按符号率、滚降系数及解调器要求选择	600–640 MS/s	按目标速率选择
通用 OFDM	按占用带宽及解调器要求选择	600–640 MS/s	按目标速率选择

注：同一行的多组采样率与抽取倍数按顺序一一对应。目标 IQ 采样率 = 主 IQ 采样率÷抽取倍数；实际解调仍需满足抽取滤波器通带及解调软件的输入要求。

8.5 频谱与瀑布图预览

接收机 IQ 流的频谱预览用于确认信号位置和基本频域特征。点击主设置区“FFT”，开启“分析”；拖动最大功率—时间缩略图中的“Spectrum-P”选框，或设置“起始时间”和“时间长度”，即可选择要进行 FFT 分析的 IQ 时间段。

可使用“FFTsize”设置分析点数、“Window”选择窗函数、“TraceDetector”选择迹线检波方式、“Intercept”截取过渡带显示。需要观察随时间变化的频率活动时，使用“Graph”→“瀑布图”。

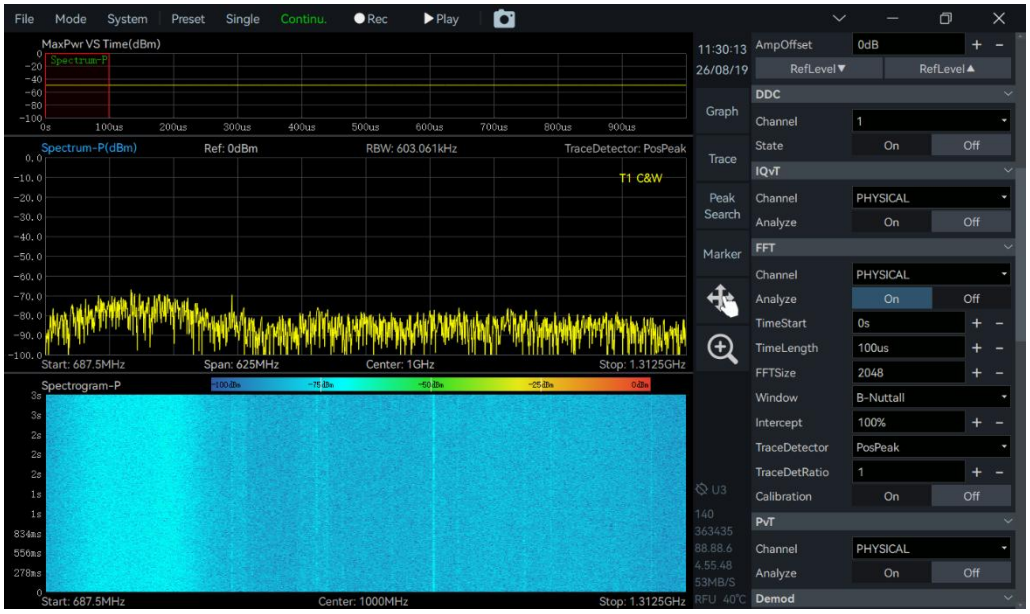


图 8-2 接收机 IQ 流模式中的频谱和瀑布图

8.6 IQ 时域波形

- 点击主设置区“IQvT”，开启“Analyze”。
- 拖动最大功率—时间缩略图中的“IQvT-P”选框，或设置“TimeStart”和“TimeLength”。
- 在目标 IQ 图表的“Graph”菜单中使用“自动量程”，使 I/Q 波形进入合适显示范围。
- 若需要观察局部细节，启用 Zoom 或放大镜功能。



图 8-3 接收机 IQ 流模式中的频谱和 IQ 时域波形

8.7 功率—时间波形

点击主设置区“PvT”，开启“Analyze”；拖动最大功率—时间缩略图中的“PvT-P”选框，或设置“TimeStart”和“TimeLength”，即可观察所选 IQ 时间段的功率—时间关系。该视图适合判断信号占空、突发位置和记录时段是否覆盖目标事件。

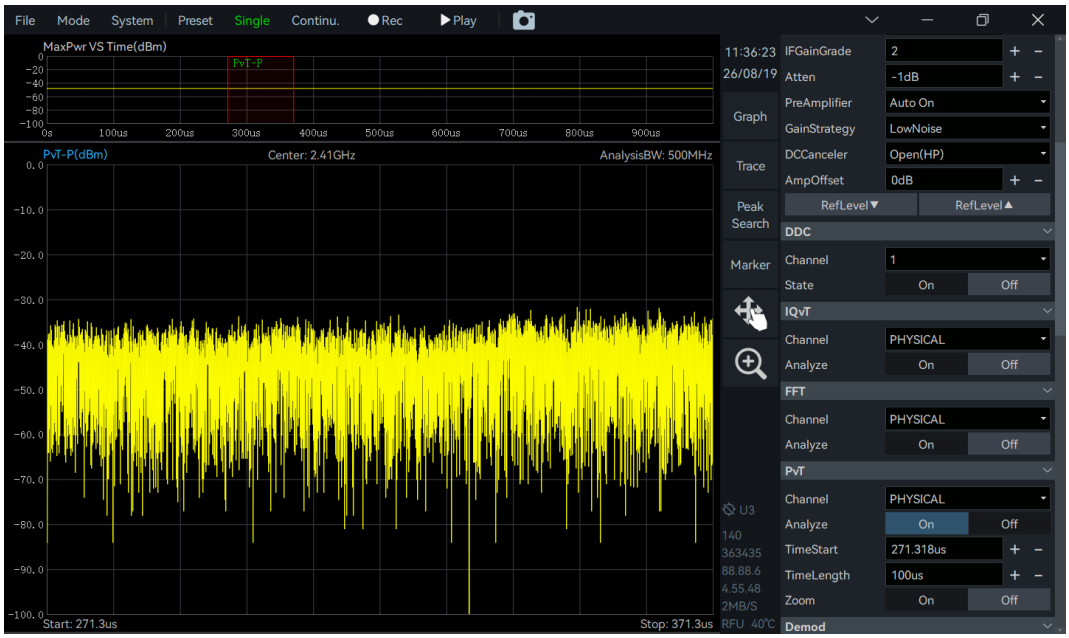


图 8-4 接收机 IQ 流模式中的功率-时间波形图

8.8 DDC 及其他适用于 R5000 DISCOVERY 的接收功能

DDC 对 IQ 数据流进行数字下变频和重采样，生成子 IQ 流，便于对带宽内的目标子带进行进一步频谱、IQvT 或 PvT 分析。

参数	说明
OffsetFreq	复混频频率偏移；大于 0 时频谱向右搬移，小于 0 时向左搬移。
Decimate	DDC 抽取倍数，即重采样率相关设置。

- 点击“DDC”，在界面提供的通道中开启目标通道。
- 设置子通道中心频率、频率偏移和抽取倍数。
- 在“FFT”“IQvT”或“PvT”的通道选择中切换到对应 DDC 通道。
- 开启“Analyze”，通过相应红色时间选框或时间参数选择分析区间。



图 8-5 接收机 IQ 流模式中的 DDC 多通道目标子带分析

8.9 触发设置

点击主设置区“Trigger”进入触发设置。常见控制包括触发源、触发边沿、触发延迟、预触发、重触发、电平门限和定时周期。

参数闭环：先用连续预览确认目标信号、噪声底和过载状态，再保存配置。后续 IQ 记录、触发和 API 示例应尽量从同一配置基线开始。

9 IQ 记录、回放、导出与数据管理

先完成一次短记录闭环，再扩展到长时间或高数据率采集，并让配置、版本和数据保持可追溯。

IQ Record & Play Back 是本手册的重点。建议先完成一次短记录一停止一打开一回放闭环，再进行长时间或高数据率采集。

9.1 IQ 记录功能概述

在接收机 IQ 流模式中，SAStudio4 可把接收到的 IQ 数据写入记录文件，并在之后重新打开和回放。记录文件可用于离线观察、问题复现、算法验证和与自定义应用结果对照。

记录模式	行为
固定时长	可预设记录点数、记录时长和文件大小限制；实际记录不超过文件大小限制。
手动	由用户点击“记录”和“停止”控制；达到文件大小限制时，软件自动停止。

9.2 设置记录参数和存储路径

- 在接收机 IQ 流模式中确认中心频率、采样率、带宽、数据格式、增益和触发设置均已通过预览验证。
- 点击主设置区“Record”→“记录模式”，选择“固定时长”或“手动”。
- 固定时长模式下设置记录时长；两种模式均应检查“单个文件大小限制”。
- 点击“文件路径”，选择目标目录。默认相对目录为 data，也可选择其他可写目录。
- 查看“剩余容量”，确认目标盘有足够空间。

9.3 启动与停止 IQ 记录

9.3.1 固定时长记录

- 确认记录时长、文件大小限制和触发条件。
- 点击“记录”。软件按当前配置采集并在满足时长或大小限制后结束。
- 记录结束后等待文件写入完成，再关闭软件或断开设备。

9.3.2 手动记录

- 点击“记录”开始。
- 持续观察总线吞吐量、记录状态和磁盘剩余容量。
- 点击“停止”结束；若达到文件大小限制，软件会自动停止。

数据完整性：记录期间不要强制退出 SAStudio4、拔除数据盘或中断设备供电。异常终止可能导致最后一个文件未完整写入。

9.4 查看记录状态和数据吞吐量

记录期间至少同时观察以下信息：

项目	关注点
总线吞吐量	应与当前数据流相符，并保持连续。
磁盘剩余容量	应留有足够安全余量。
记录状态	开始、停止和自动结束应与操作一致。
温度与系统负载	应保持稳定，无持续告警或界面冻结。

9.5 打开并回放 IQ 记录

- 点击主设置区“Play Back”→“打开文件”。
- 在文件选择窗口中打开需要回放的记录文件。
- 点击“回放”开始，点击“暂停”暂时停止。
- 使用“上一帧”“下一帧”“后退”或“前进”定位数据；需要循环观察时开启“自动循环”。
- 点击“停止”退出回放并恢复数据获取；必要时点击菜单栏“连续”回到实时采集。

9.6 导出数据

图表数据与原始 IQ 记录是两类不同输出：

- 在目标图表的“Graph”→“导出数据”，或在图表显示区右键选择“导出数据”；
- “图片”将当前图表导出为 PNG，默认写入 images；
- “数据”将当前图表数据导出为 CSV，默认写入 reports；
- 原始 IQ 数据应保留 SAStudio4 记录文件，不要用图表 CSV 代替原始 IQ。

9.7 记录文件格式

SAStudio4 的 IQ 记录使用 WAVE 兼容容器，包含 RIFF/WAVE 文件头以及 fmt、prof、trig 和 data 等数据块。配置、流信息、设备信息和每包触发/状态信息与 IQ 数据共同保存。完整概览见附录 A。

9.8 存储带宽、文件容量及使用注意事项

- 数据量随采样率、数据格式、通道配置和记录时长增加；先做短记录并核对实际文件增长速度。
- “文件大小限制”限制单个记录文件，同一次长记录可能产生多个子文件。
- 使用本地高性能数据盘，避免把实时记录直接写入同步目录或不稳定的远程存储。
- 记录前关闭不必要的磁盘扫描、备份和大文件复制任务。
- 完成后立即做一次回放抽查，并把设备 UID、版本和配置文件与数据一起归档。

9.9 IQ 采样示例

9.9.1 流盘链路分析

针对 USB 3.0 接口的 IQ 连续记录，因为受限于 USB 3.0 的总线带宽，R5000 DISCOVERY 和 HAROGIC 其它 USB 接口设备一样，可以实现 62.5 MS/s 采样率，50 MHz 连续记录带宽的 IQ 连续流盘能力，此时的连续写盘速度达到 250 MB/s。对于计算机的配置要求 4 GB 内存以上，SSD 硬盘，写入速度 400 MB/s 以上。

针对 PCIe 3.0 的 IQ 采样流盘，跟 PC 主机的配置关系极大，接下来介绍 IQ 流盘应用案例进行详细介绍配置和实验结果。

首先进行理论计算，按 I、Q 各 16 bit 存储，每个复数采样点占 4 byte。625 MS/s × 4 byte = 2.5 GB/s。这里的 500 MHz 是分析带宽，625 MS/s 是 IQ 采样率。

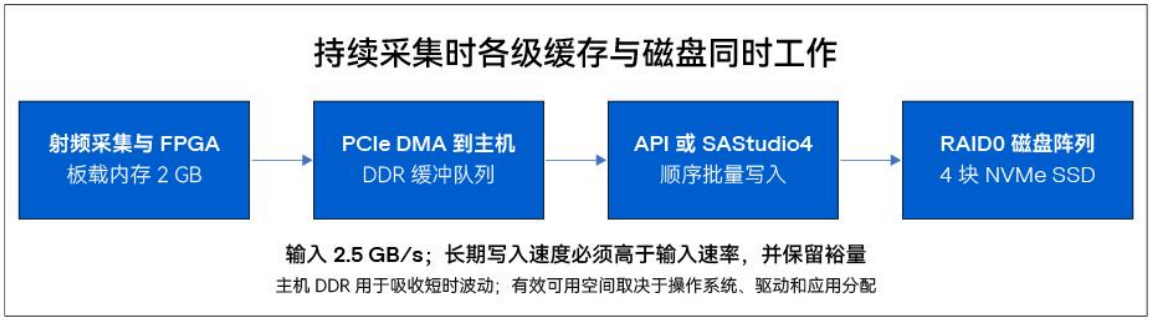


图 9-1 连续采集模式下的各级缓存和写入顺序

板载内存、主机 DDR 与磁盘构成持续流水线。主机从开始采集时就参与接收，下游短暂变慢时，空闲缓冲可吸收积压，当输入长期快于磁盘写入，各级缓冲最终耗尽，连续记录就可能溢出。板载内存溢出会报错-10。

针对链路所有的存储资源进行估算，以下仅为理论边界，实际还涉及到操作系统、应用、文件系统等资源和空间占用。

对象	理论时间或容量
2 GB 板载内存	2 ÷ 2.5 ≈ 0.8 s
24 GB 主机内存	24 ÷ 2.5 ≈ 9.6 s
2 TB IQ 数据	约 800 s，即 13 分 20 秒
4 × 1 TB RAID0	名义 4 TB，约 26 分 40 秒

短时采集：可以利用板载内存和预分配的主机 DDR 完成瞬时或分段捕获，再将数据写入磁盘。具体长度以 SAStudio4 软件可以设置的大小为准。

长时间记录：实际持续写入必须高于 2.5 GB/s，并为波动留出裕量。若输入速率为 R、磁盘速度为 W 且 R > W，可吸收积压的时间约为 C ÷（R − W），其中 C 是可用于该数据流的剩余缓冲容量。

9.9.2 测试平台

项目	配置
操作系统	Ubuntu 22.04.5 LTS（Jammy Jellyfish）
内核	6.8.0-40-generic
架构	x86-64 / amd64
主板	Gigabyte Z890 AORUS TACHYON ICE（选型建议：若希望保留阵列卡完整上行带宽，应选择能同时提供至少 PCIe 3.0 x16 和 PCIe 3.0 x8 独立电气通道的主机。）
处理器	Intel Core Ultra 7 265K
主机内存	24 GB DDR5；采购配置标称 DDR5-6000
显示	处理器集成显卡；两个扩展插槽用于采集卡与阵列卡
射频接收机	R5000 DISCOVERY；PCIe 3.0 x8；板载内存 2 GB
磁盘阵列卡	HighPoint SSD7101A-1；PCIe 3.0 x16 板卡接口
记录盘	4 × Samsung 990 PRO 1 TB，组成 RAID0
记录路径与软件	/mnt/data；SDK API 或 SAStudio4

安装分配为：PCIe x16 长插槽连接 SSD7101A-1 RAID 阵列卡，PCIe x8 插槽连接 R5000 DISCOVERY。本主板的共享限制。主板规格为一个最高 x16 的 PCIe x16 插槽和一个最高 x8 的 PCIE x8 插槽；占用 PCIe x8 后，PCIe x16 最高按 x8 运行。



图 9-2 PCIe 磁盘阵列和 R5000 DISCOVERY 安装示意图

9.9.3 IQ 流盘结果

在 Ubuntu PC 上运行 API、SAStudio4 软件进行连续 IQ 流盘记录结果如下：

- SDK API 调用 API 获取 IQ 数据并写入 RAID0，速度稳定在 2.5 GB/s，适合集成自定义记录程序。
- SAStudio4 在图形界面启用 IQ 记录，同样实现 500 MHz 带宽下的 2.5 GB/s 流盘。
- 连续性结果 本次连续写入测试累计达到 2 TB，未发现丢点。

SAStudio4 记录数据如下图 9-3 所示，500 MHz 分析带宽、625 MS/s 原生采样率、单路 16 位数据格式，记录路径为 /mnt/data。界面显示记录时长 216 s、数据存储大小 508 GB，文件大小限制设为 2 TB



图 9-3 IQ 流模式下记录 2TB 数据，写盘速度 2.5 GB/s

9.10 雷电扩展 IQ 采样示例

9.10.1 雷电扩展原理介绍

针对用户便携式的桌面场景 IQ 采样流盘应用，HAROGIC 设计 PCIe 的雷电扩展坞（选件 25），支持带雷电接口的 Linux 笔记本可通过兼容的 PCIe 雷电扩展坞接入 R5000 DISCOVERY。扩展坞内的转换芯片将 PCIe 数据连接到雷电链路；该配置可实现约 900 MB/s IQ 流，对应 225 MS/s IQ 采样率和约 180 MHz 分析带宽。



图 9-4 R5000 DISCOVERY 与雷电扩展坞的连接形态

数据路径为 R5000 DISCOVERY → PCIe 雷电扩展坞 → 雷电线缆 → Linux 笔记本 DDR → 笔记本记录盘。连接器为 Type-C 并不足以证明支持该方案，主机端口、线缆和扩展坞均须支持对应的雷电 PCIe 连接。

项目	台式机 PCIe 方案	笔记本雷电方案
分析带宽	500 MHz	约 180 MHz
IQ 采样率	625 MS/s	225 MS/s
IQ 数据率	2.5 GB/s	900 MB/s
持续写盘条件	硬盘写入速度高于 2.5 GB/s 并留裕量	硬盘写入速度高于 900 MB/s 并留裕量
主要用途	满带宽长时间记录	便携采集与中等带宽记录

笔记本内置盘同样需要检查 SLC 缓存耗尽后的速度与温升掉速。

10 实时频谱模式

使用频谱、概率密度图、瀑布图、迹线和游标快速观察持续、瞬时和突发信号。

实时频谱模式用于快速观察瞬时和突发活动。它是射频信号的预览与辅助分析工具。

10.1 实时频谱模式概述

点击“模式”→“实时频谱分析”进入实时频谱模式。该模式对分析带宽内的时域信号进行实时频谱处理，并以频谱、概率密度图和瀑布图帮助用户观察持续、瞬时或突发信号。

10.2 设置中心频率、分析带宽和参考电平

- 在“Frequency”中设置中心频率，使目标信号进入显示范围。
- 在“BW”中设置适合当前任务的分析带宽。
- 在“Amplitude”中设置参考电平、预放、增益策略和衰减，使信号既不过载也不过低。
- 先点击“连续”确认持续刷新，再调整图表显示参数。

10.3 概率密度图

Graph 参数	作用
BitMap/概率图	On 启用概率密度显示，Off 关闭。
Color/色阶	可选择天空色、深海色、喷射色、冷度色、热度色或灰度色；深海色为源软件默认选项。
Afterglow/余晖	增大可延长残影显示，便于捕捉突发信号；减小可加快视觉刷新，便于跟踪持续信号。

如下是 500MHz 分析带宽下的，实时频谱余晖图的显示，设置中心频率 2.606 GHz，采样率 625 MS/s，

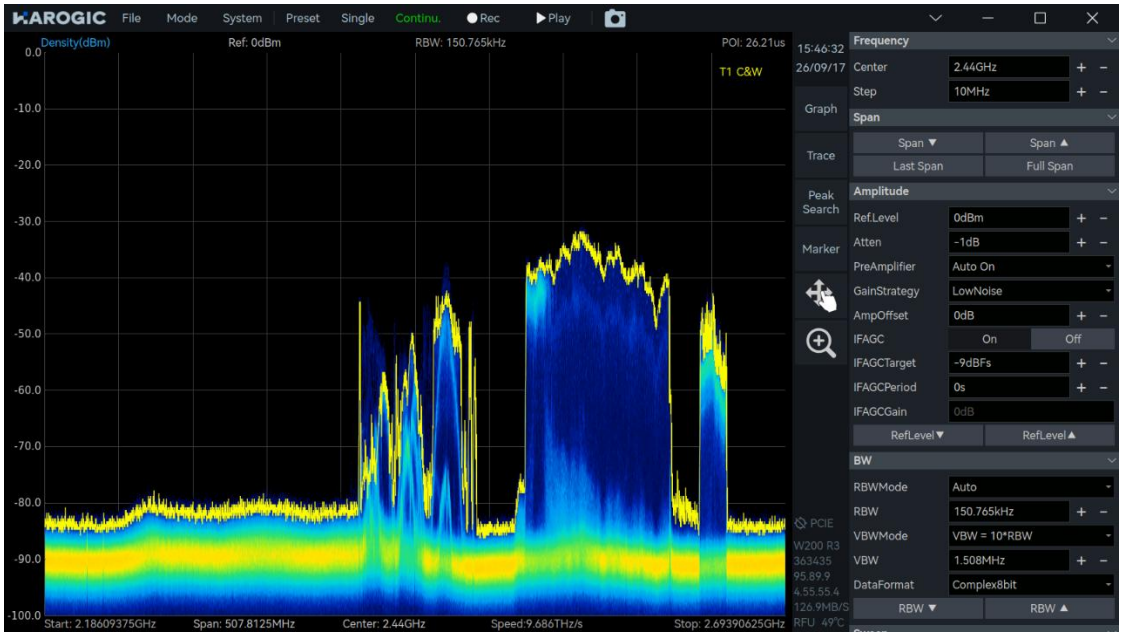


图 10-1 实时频谱余晖图显示 500MHz 带宽

10.4 瀑布图

点击“Graph”→“瀑布图”创建瀑布图。选中瀑布图后再次打开“Graph”，可设置扫描深度、时间密度和色阶。源软件的缓存上限为 8000 行像素；当时间密度设为 100 时，瀑布图每秒滚动 100 行像素。

“Export Image”将当前瀑布图导出为 PNG；“DataExport”将当前缓存范围内的数据导出为 CSV，数据按时间倒序排列。

10.5 Wi-Fi 信号测量

将天线连接至射频输入端口“RFIN”；

将“Center”设置为 2.44 GHz，增大图表设置区“Graph”子菜单下的“Afterglow”余晖值，即可更明显的观测 Wi-Fi 信号。

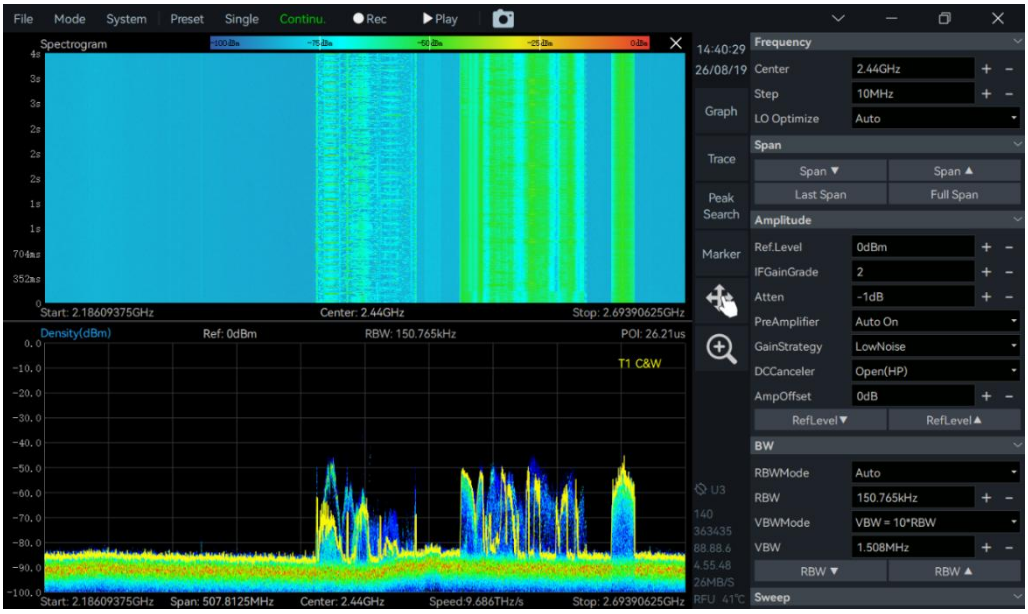


图 10-2 实时频谱模式中的瀑布图和余辉图显示

10.6 实时频谱数据记录与回放

实时频谱模式同样也可使用 SAStudio4 的通用 Record 与 Play Back 入口进行记录和回放，在该模式下的右侧工具栏向下拉可以找到记录和回放的设置。开始前应核对文件路径、大小限制和剩余容量；回放控制参见第 9.5 节。需要算法处理或精确复现时，应优先保留接收机 IQ 流模式下记录的原始 IQ 数据。

11 扩展分析功能

扩展分析功能用于信号观察和辅助分析。本章只提供能力导航，详细文档可以参考 SAStudio4 用户指南。

SAStudio4 提供的扩展分析功能可用于信号观察和辅助分析，R5000 DISCOVERY 产品的保证指标以对应产品数据手册为准。

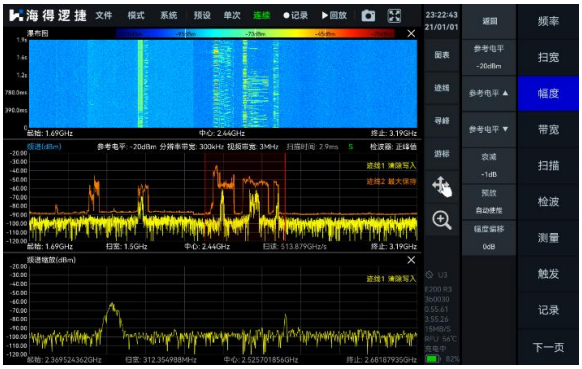
扩展分析功能的工作模式介绍

除了接收机/IQ 流模式和实时频谱分析模式外，R5000 DISCOVERY 还提供多种工作模式：标准频谱分析模式、检波分析模式、基础矢量调制分析（选件 71）、脉冲分析（选件 72）。

SAStudio4 主要工作模式说明

■ 标准频谱分析模式

该模式提供多样的测量功能，包括频谱全景扫描、信道功率、占用带宽、邻道功率比、IM3 及频谱发射模板（SEM）等，并支持瀑布图的显示与记录、频谱数据记录与回放。结合信号追踪、峰值表和幅度修正等辅助工具，为用户构建一站式信号性能评估平台。



■ IQ 流模式

该模式支持最大 500 MHz 的分析带宽，可通过多种触发方式获取 IQ 数据。支持 IQ 时域波形图显示、频谱与瀑布图显示、AM/FM 解调以及数字下变频（DDC）。



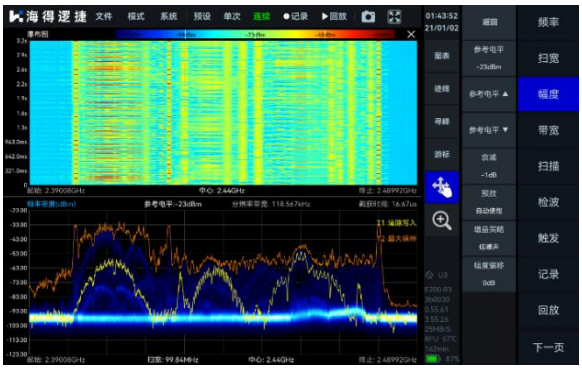
■ 检波分析模式

该模式可对分析带宽内的时域信号进行检波分析，适合于关注带内功率-时间关系的应用，例如脉冲类信号的测量。



■ 实时频谱分析模式

该模式由 FPGA 内置的高速 FFT 引擎驱动，具备帧率压缩与迹线检波功能，确保 FFT 帧之间严格无空隙、无交叠，真正实现全带宽覆盖下的实时监测。



有关扩展分析功能的完整操作方法，请参考《HAROGIC 海得逻捷 SAStudio4 用户指南》。

12 GNSS、参考时钟、PPS 与同步

先介绍需要满足的天线和参考输入的硬件条件，再选择时钟源并验证锁定状态。

12.1 硬件接口与电气条件

本节先给出 GNSS、外部参考和参考输出的连接器及电气条件，再说明 SAStudio4 设置。

12.2 内部参考与 GNSS

GNSS 输入的连接器为 SMA (F)。GNSS 输入端口可以为 GNSS 天线供电。如需配套 GNSS 天线可联系 HAROGIC 销售。

R5000 DISCOVERY 标配内置较高精度的 GNSS，GNSS 锁定且处于 clear sky 条件时（接收面朝向无遮挡的天空），1PPS 时间精度为 ≤20 ns。

12.3 外部时钟参考输入

外部时钟输入条件为：10 MHz 或者 100 MHz、幅度 ≥1.5 Vpp、输入阻抗 330 Ω，可接受正弦波、方波或削峰正弦。用户可在 SAStudio4 中选择外部参考并设置时钟频率或在 API 中通过函数控制。



图 12-1 在 SAStudio4 中选择外部 10 MHz 参考源

12.4 参考时钟输出

参考时钟输出是 100 MHz、幅度 ≥0.3 Vpp、可程控开关。用户可在 SAStudio4 中选择参考时钟输出或在 API 中通过函数控制。



图 12-2 在 SAStudio4 中启用参考时钟输出

12.5 在 SAStudio4 中选择外部参考

- 按第 12.3 节连接符合要求的外部参考时钟。
- 点击主设置区 “System”。
- 将“RefCLKFreq”设置为 10 MHz，并将“RefCLKSource”选择为“External”。
- 确认参考时钟源保持显示为“External”。若设置回弹为“Internal”并出现错误，点击“Preset”恢复内部时钟，检查外部时钟后重试。

12.6 GNSS 锁定与 1PPS

设备标配 GNSS，可通过菜单栏“系统”→“GNSS 信息”查看定位与锁定状态。需要 GNSS-1PPS 触发时：

- 按第 12.2 节连接 GNSS 天线，并等待界面显示锁定；
- 将“XPPS”设置为 1 Hz；
- 进入接收机 IQ 流，点击“Next”→“Trigger”；
- 在当前设备提供该选项时，将“TriggerSource”设置为“GNSS-1PPS”。

天线类型、锁定时间、授时精度和时间戳语义以对应型号数据手册及 HTRA API 文档为准。

表格 12-1 GNSS 参数说明

序号	参数	说明
1	GNSS 源	默认：使用设备内置的 GNSS 模块 EIO：使用原厂专用的外接 GNSS 扩展模块 外部：接入支持标准串口通信的第三方 GNSS 模块
2	比特率	外部 GNSS 模块的串口波特率，仅使用外部 GNSS 源时需要设置
3	天线	选择“内部天线”或“外部天线”（目前仅支持外部天线） 仅使用默认 GNSS 源/EIO 时需设置
4	XPPS Out	On：输出 XPPS 脉冲信号 Off：强制关闭 GNSS 模块的 XPPS 输出功能
5	XPPS	调整 GNSS 模块输出脉冲的频率，单位为 Hz 默认值：1Hz，指输出 1PPS 信号，若设置为 0.5Hz，表示每 2 秒输出一个脉冲，即输出 0.5 PPS 信号
6	格式	提供“本地时间”和“UTC 时间”两种时间格式
7	卫星数量	已定位的卫星数量
8	信噪比(Max)	已定位卫星的最大信噪比
9	信噪比(Min)	已定位卫星的最小信噪比
10	信噪比(Avg)	已定位卫星的平均信噪比
11	参考频率偏差	显示 GNSS 内部时钟与设备之间的频率偏差

12.6.1 使用默认 GNSS 源

- 将 GNSS 天线连接至设备/GNSS 模块的 GNSS 天线接口；
- 点击“系统”→“GNSS 信息”，在 GNSS 信息框中将“GNSS 源”设置为“默认”；
- 等待 1-3 分钟后 GNSS 即可锁定，可以根据状态栏信息中 GNSS 锁定标识判断 GNSS 锁定与否，锁定后 GNSS 锁定标志标为绿色，若为灰色则未锁定。GNSS 信息弹窗中参数解释参见表 12-1。

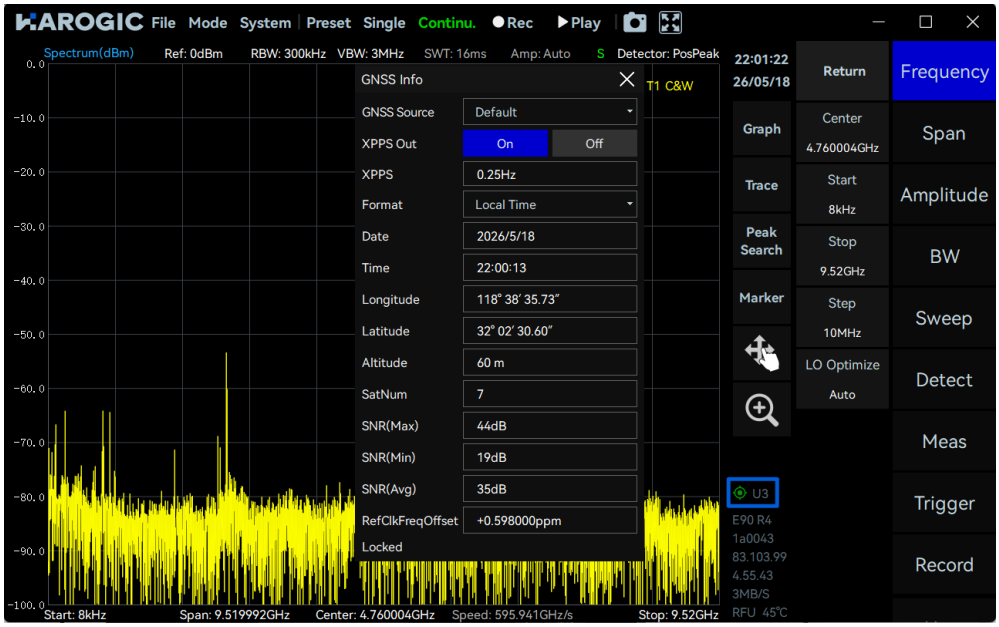


图 12-3 锁定 GNSS 外部天线

12.6.2 使用默认 GNSS 源的 1PPS 触发

仅 IQ 流模式、检波分析模式和实时频谱分析模式下可使用 GNSS 模块的 1PPS 触发。本节将以 IQ 流模式为例，详细说明如何配置内置 GNSS 模块的 1PPS 触发功能。

- 请参考使用默认 GNSS 源章节，确保 GNSS 已锁定；
- 将 GNSS 信息中“XPPS”设置为 1 Hz；
- 点击“模式”→“接收机/IQ 流”，切换至 IQ 流模式；
- 点击主设置区中 “Trigger”，在“Trigger”子菜单中将“TriggerSource”设置为“GNSS-1PPS”，以使用 GNSS 模块的 1PPS 触发。



图 12-4 使用 GNSS 1 PPS 触发

13 触发与 AUXIO

先核对 3.3 V CMOS 电气边界和连接方向，再选择触发源、边沿、延迟和预触发。

13.1 触发能力

R5000 DISCOVERY 支持总线触发、数字边沿触发和功率事件触发，并支持外部触发为 3.3 V CMOS、高阻输入、最高响应 500 次/秒，触发输出同为 3.3 V CMOS。

13.2 AUXIO 触发板

本段将介绍如何在 R5000 DISCOVERY 射频接收机平台上连接使用配套触发板，并使用触发输入输出等功能。R5000 的 AUXIO 接口与配套触发板（图 13-2）的 10 号接口通过 14-PIN 排线连接。



图 13-1 R5000 DISCOVERY 连接 AUXIO 拓展板示意图

- 注意排线接口有防反插设计，请注意方向并不要用蛮力（正确连接很容易插入）。在连接前请先停止采集。

13.2.1 R5000 DISCOVERY 配套 AUXIO 扩展板介绍

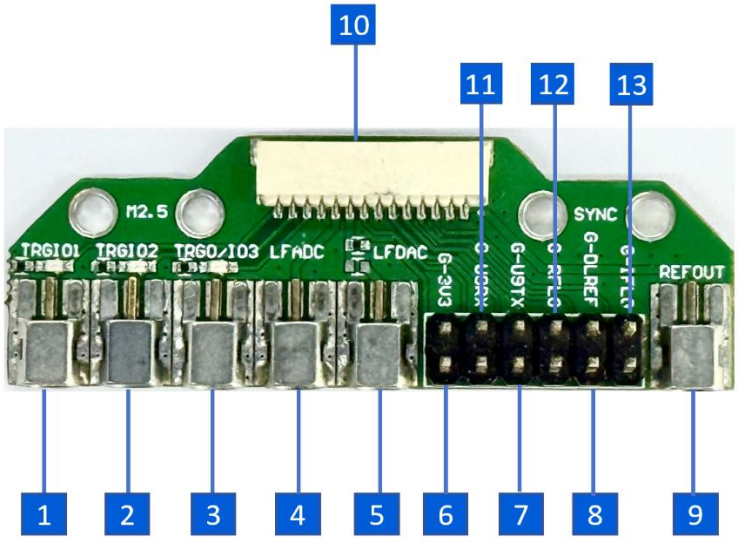


图 13-2 配套 AUXIO 触发板接口示意

表格 13-1 配套 AUXIO 触发板接口说明

序号	接口名称	方向	电平标准	含义
1	TRGIO1	I	3.3 V	外触发输入
2	TRGIO2	/	/	预留
3	TRGO/IO3	O	3.3 V	触发输出
4	LFADC	/	/	预留
5	LFADC	/	/	预留
6	G-3V3	O	/	电源输出，3.3 V
7	G-U9TX	/	/	预留
8	G-DLREF	/	/	预留
9	NA	O	/	预留
10	AUXIO	/	/	多功能口
11	G-U9RX	/	/	预留
12	G-RFLO	/	/	预留
13	G-IFLO	/	/	预留

13.3 在 SAStudio4 中配置触发

接收机 IQ 流等定频点模式可在“Trigger”中提供外部、总线、电平、定时器、多机同步或 GNSS-1PPS 等触发选项。

参数	作用
触发边沿	上升沿、下降沿或双边沿。
触发延迟	触发到达后延迟开始采集的时间。
预触发	保留触发到达前的一段数据。
重触发	一次触发后按设置继续响应，并可设置次数和间隔。
电平门限	电平高于门限时满足触发条件；可配合防抖安全时间。
定时周期	定时器触发的周期及同步关系。

触发验证顺序：先用总线/软件触发证明采集链路可用，再接外部电平；使用示波器确认触发源幅度、极性、脉宽和边沿，最后验证预触发、延迟与时间戳是否符合应用定义。

14 从 SAStudio4 迁移到 HTRA API

SAStudio4 帮助用户证明“设备和参数可以工作”；HTRA API 帮助用户把同一能力集成到用户自定义的应用实现。

14.1 为什么需要 HTRA API

当任务需要无人值守运行、自动配置、多设备协调、持续数据流自定义处理、远程管理或与业务系统集成时，应使用 HTRA API。SAStudio4 可以保留为调试和对照工具，但不是客户应用（Customer Application）的必需运行环境。

14.2 HTRA API、SDK 与 Example Applications

组成	用途
HTRA API	定义设备发现/连接、接收配置、数据获取、状态与错误处理等编程接口。
SDK	提供头文件、库、运行组件、开发说明及与平台相关的构建材料。
Example Applications	演示典型调用顺序和数据处理入口，用于先验证环境再开始业务开发。

14.3 SAStudio4 参数与 API 参数的基本对应关系

下表只说明概念关系，不给出函数名或枚举值。真实 API 名称以随当前 SDK 发布的 HTRA API 参考文档为准。

SAStudio4 概念	HTRA API 侧关注点
中心频率	接收调谐频率配置。
原生采样率、分析带宽	采样率、数据带宽及抽取关系。
数据格式	样本位宽、I/Q 组织方式和数据包解释。
预放、增益策略、衰减、IF AGC	接收链路增益与动态范围配置。
触发源、边沿、延迟、预触发	采集触发配置和时间语义。
DDC 通道 OffsetFreq、Decimate	子带下变频、抽取和子 IQ 流。

Record	用户应用的数据接收、缓存、文件化和完整性策略。
状态区	设备信息、版本、温度、链路状态和错误诊断。

14.4 运行第一个接收 Example

- 获取与 R5000 软固件匹配的 HTRA API、SDK 和 Example Applications 发布包。
- 选择最基础的接收示例，按交付文档配置设备连接参数。
- 先使用与 SAStudio4 中已验证配置相近的中心频率、采样率、带宽、增益等。
- 运行示例，检查设备信息、返回状态、数据包数量和数据内容。
- 停止示例并释放设备，再用 SAStudio4 复核设备仍可正常连接。

具体示例名称、目录、构建命令和运行参数随 SDK 发布，不在本手册中固定。

14.5 获取开发文档和技术支持

请从随设备交付的 SDK 包、HAROGIC 官方渠道获取与当前发布组合匹配的 HTRA API 参考、SDK 说明和 Example Applications。请求技术支持时，提供第 15 章所列信息。

开发问题	应查文档
函数、枚举、结构体、错误码、时间戳和同步语义	HTRA API 编程指南
示例在哪里、如何编译运行	API 范例使用指南
SAStudio4 中某个参数是否能在 API 中设置	先查本章概念映射，再以当前 SDK API 参考为准
GNU Radio 等环境	使用 GNU Radio 创建应用程序，同时 GIT 获取最新 GNU Radio，SoapySDR 例程（持续维护：HAROGIC Git Repo.）

15 软件更新、维护与服务

任何升级或维护都应先记录当前版本和可复现基线，并准备失败后的恢复路径。

15.1 软件与固件更新

本章介绍了如何更新设备的软件、FPGA、MCU 和 BUS 版本。

R5000 DISCOVERY 支持通过 USB 3.0 或者 PCIe 3.0 更新固件，使用随附 U 盘或者官网的固件更新软件 Updater，可完成更新，更新成功完毕后有成功提示，确认后请重启设备。

升级期间：保持设备供电、网络和更新窗口稳定，不要关闭软件、拔线或强制重启。批量或远程升级前，应先在一台代表性设备上验证升级、回退和最小功能。

15.2 版本要求

- 参考第 7.4 节查看型号、UID 及软固件版本；
- 使用与设备交付组合匹配的 GUI 版本；升级前阅读对应发布说明；
- 若软件提示无法更新，请联系官方技术支持；

15.3 参数说明

提示：显示软件、FPGA、MCU 和 Bus 的当前版本与目标版本信息；

更新内容：详细展示目标版本的具体更新内容；

更新提示：设置是否在检测到新版本时自动弹出更新提示窗口；

更新方式：更新方式说明如下表所示：

表格 15-1 更新方式说明

更新方式	说明
在线	自动连接远程服务器，下载并安装最新的软件及固件版本
默认	将固件版本恢复至当前软件所对应的配套版本
本地	手动加载 U 盘或本地存储介质中的更新包进行安装

15.4 在线更新

- 点击“系统”→“更新”，进入更新界面；
- 勾选“更新提示”复选框，在设备联网状态下，软件启动或运行时若检测到新版本，系统将自动弹出“更新”窗口。

- 将“更新方式”设置为在线，此时系统开始下载更新包，“更新”按钮将暂时处于置灰状态。待安装包下载并解析成功后，窗口将显示详细的更新说明，此时“更新”按钮变为高亮状态；
- 仔细对比当前版本与目标版本的各项信息，阅读新增功能及修复列表。确认无误后，点击右下角的“更新”按钮。

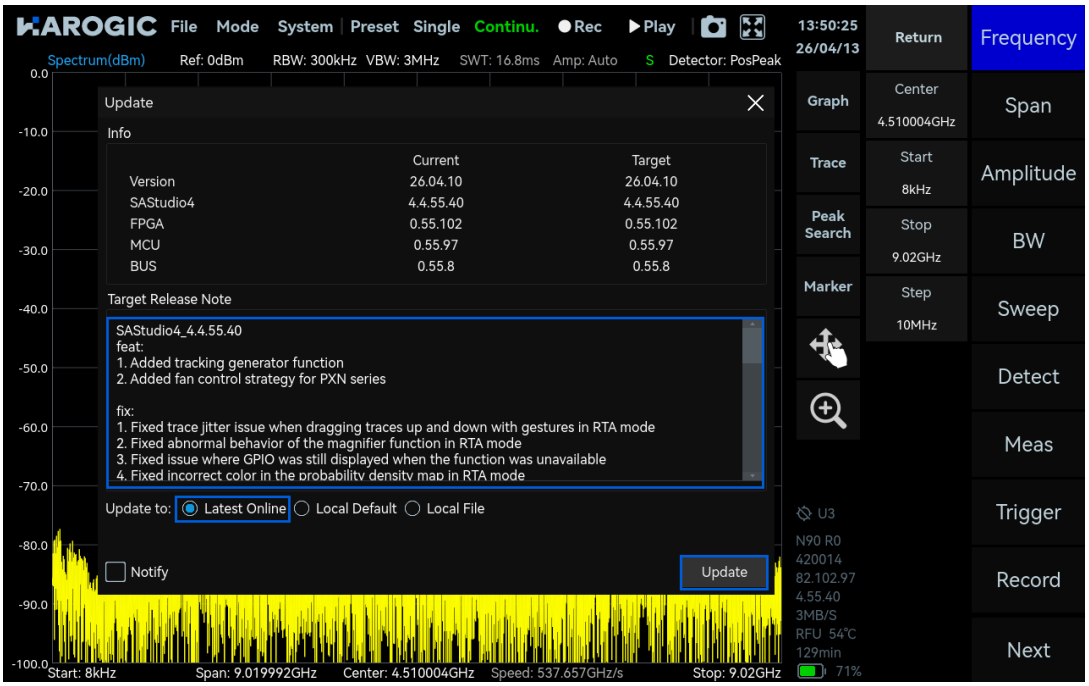


图 15-1 在线更新软固件版本

- 点击后软件将自动退出并进入升级状态，请务必保持更新弹窗开启，直至进度条完成且软件自动重启进入主界面；
- 关闭更新内容弹窗，点击菜单栏中“系统”→“关于”，查看设备当前的软固件版本号。

15.5 本地更新

根据以下链接，进入公司官网，获取最新版本的软件。

- 从 HAROGIC 官方下载中心获取最新 SAStudio4 和发布说明：
  - https://www.harogic.cn/support/download-center/
- 本地更新操作步骤如下：
- 点击软件菜单栏“系统”→“更新”选项打开弹窗；
- 选择“本地”，点击“打开”选择目标软件安装包，更新内容框中显示对应的版本信息后，再点击右下角的“更新”按钮。
- 此时软件将自动退出并进入升级状态，请务必保持更新弹窗开启，直至进度条完成且软件自动重启进入主界面；

15.6 附件、日常检查、清洁与返修信息

附件与选件

类别	项目	备注
标配	闪存盘 * 1， USB 电源线 * 1，电源适配器（含电源线） * 1	产品发货的标配内容
选配附件	AUXIO IO 拓展板	选件 20
选配附件	Thunderbolt 雷电扩展坞	选件 25，该扩展坞用于将 R5000 DISCOVERY 的 PCIe 3.0 扩展为雷电接口

日常检查

- 检查 RF、GNSS、参考、USB、电源和 AUXIO 连接器是否松动、污染或变形。
- 检查电源线和排线是否破损、压伤、过度弯折。
- 清除散热孔和散热表面周围的灰尘，并注意风扇状态。
- 对长期部署设备记录温度、重启、参考失锁和 GNSS 状态变化。
- 变更硬件、系统镜像、固件、API 或软件后，重新执行最小功能和同步验证。

清洁与存储

断电并拔除所有线缆后，用无绒软布清洁机壳。不要让液体进入通风孔或接口，不要使用会损伤涂层、塑料或标签的强溶剂。连接器清洁应使用适合相应射频/电气连接器的工具和流程。

长期存储时使用适用于本设备的防静电包装和连接器保护帽，保持干燥并避免重压。

返修前记录

联系技术支持或返修前，至少记录：设备型号、序列号、选件、系统镜像/固件/API/软件版本、连接拓扑、电源型号、RF 输入条件、参考/触发配置、可重复步骤以及相关日志或截图。

16 故障排查

按电源、链路、软件、射频、存储、同步和触发的顺序缩小范围，并保存可复现证据。

16.1 硬件故障排查表

现象	安全检查与可能原因	建议动作
无法上电	确认电源线是否松动并核对电源规格和接触不良状态	断开外设，核对铭牌、随附适配器和线缆；

其它问题请联系 HAROGIC 技术支持。

16.2 软件、GNSS 与 IQ 快速排查

以下条目用于快速缩小范围；如问题仍可复现，请按第 7.4 节收集版本、拓扑、日志和现场条件。

设备不上电

上电后一般会听到风扇声音。确认电源适配器是否为 HAROGIC 随货原配，电源线是否连接牢固，电源输入规格是否匹配当前硬件版本，设备是否存在异常发热或异味。如仍有问题请联系技术支持。

SAStudio4软件找不到设备

请确认 SAStudio4 版本 4.55.56 及其以上版本，如版本过低可以升级到最新版本，并确认已选择 USB 或 PCIe 连接方式。检查设备管理器中是否看到设备。如果可以看到，建议重启电脑或者 R5000 DISCOVERY。

GNSS 不锁定

确认 GNSS 天线是否连接，同时天线需要放置在 clear sky 环境，需要等待足够锁定时间，最后确认天线是否需要有源供电。

IQ 采集丢包或速率不达预期

请详细参考 IQ 流模式章节的 3 种不同接口的 IQ 采样率的上限，USB 3.0，PCIe 3.0，雷电接口是不同的，同时采集速率和计算机的配置和 SSD 硬盘配置也有关。尽量避免计算机启用了占用 CPU/磁盘的大量后台任务。确认使用的 IQ 采集模式是连续记录还是突发记录。突发记录的记录时长受限于板载内存。

附录 A　IQ 记录文件格式

A.1　文件命名

记录文件名由设备 ID 后 4 位、开始记录时的年月日时分秒、子文件序号和后缀组成，例如：

0028_yyyymmdd_hhmmss_partx.suffix

同一次记录产生多个子文件时，所有子文件使用相同的开始时间字段，并通过 partx 区分。

A.2　IQ 记录容器

Chunk	内容
RIFF/WAVE	标准 RIFF 文件标识、文件长度和 WAVE 格式类型。
fmt	编码格式、I/Q 声道数、采样频率、数据传输速率、块对齐和采样位数。
prof	IQ 配置、流信息和设备信息，包括中心频率、参考电平、采样率、带宽、触发、增益、参考时钟、设备 UID 和版本等。
trig	与每个 IQ 数据包一一对应的触发信息、设备状态、IQ 缩放系数、最大功率和最大值索引。
data	按顺序存放 IQ 数据包。

配置和流信息中的部分结构采用 MessagePack 转换为字节数组，读取时应使用与当前发布版本匹配的结构定义和解析规则。RIFF 及 Chunk 长度字段使用小端；结构字段中还存在大端或依平台决定的内容，不应仅凭音频 WAV 解析器解释全部数据。详细格式说明见下表:

表 A-1 WAV 格式说明

Chunk	说明
RIFF chunk	
RIFF chunk size	
文件格式类型“WAVE”	
fmt chunk	
fmt chunk size	
fmt chunk data	
prof chunk	格式块标识 "prof"
prof chunk size	格式块长度
prof chunk data	此 chunk 用于存放 IQS_Profile_TypeDef、IQS_StreamInfo_TypeDef、

	DeviceInfo_TypeDef 等信息
trig chunk	格式块标识 "trig"
trig chunk size	格式块长度
trig chunk data	此 chunk 用于存放每包 IQ 数据对应的 IQS_TriggerInfo_TypeDef、DeviceState_TypeDef、IQS_ScaleToV、MaxPower_dBm 和 MaxIndex，依次排列，并与 data chunk 的数据包一一对应。
data chunk	格式块标识 "data"
data chunk size	格式块长度
data chunk data	此 chunk 用于存放 IQ 数据包，依次排列。

表 A-2 iq.wav 格式详细说明

	Chunk	字节序号	块内字节序号	字节数	数据类型	字段名称	字段说明	端序
RIFF 文件头信息	RIFF	0		4		文档标识	"RIFF"	
		4		4	uint32_t	数据长度	格式块长度	小端
		8		4		文件格式类型	"WAVE"	
fmt 格式块说明	fmt	12		4		格式块标识	"fmt "	
		16		4	uint32_t	格式块长度	16	小端
		20		2	uint16_t	编码格式代码	1	小端
		22		2	uint16_t	声道个数	2	小端
		24		4	uint32_t	采样频率		小端
		28		4	uint32_t	数据传输速率		小端
		32		2	uint16_t	数据块对齐单位		小端
		34		2	uint16_t	采样位数		小端
文件头信息	prof	36		4		格式块标识	“prof”	
		40		4	uint32_t	格式块长度		小端
		44	0	2	uint16_t	文件编号		大端
		46	2	1	uint8_t	0x8c		大端
		47	3	1	uint8_t	0x22		大端
		48	4	1	uint8_t	0x52		大端
		49	5	1	uint8_t	0x9b		大端
		50	6	1	uint8_t	0x00 协议版本		大端
		51	7	1	uint8_t	0x02 协议版本		大端
		52	8	4	uint32_t	api 版本信息		大端
		53-107	56			预留		
IQS_Profile 信息 msgpack 字节数组		108	64	2	uint16_t	IQS_Profile + IQS_StreamInfo 结构体字节长度		大端
		110	66		double	CenterFreq_Hz		
					double	RefLevel_dBm		
					uint32_t	DecimateFactor		
					int	RxPort		
					uint32_t	BusTimeout_ms		

	Chunk	字节序号	块内字节序号	字节数	数据类型	字段名称	字段说明	端序
					int	TriggerSource		
					int	TriggerEdge		
					int	TriggerMode		
					uint64_t	TriggerLength		
					int	TriggerOutMode		
					int	TriggerOutPulsePolarity		
					double	TriggerLevel_dBm		
					double	TriggerLevel_SafeTime		
					double	TriggerDelay		
					double	PreTriggerTime		
					int	TriggerTimerSync		
					double	TriggerTimer_Period		
					uint8_t	EnableReTrigger		
					double	ReTrigger_Period		
					uint16_t	ReTrigger_Count		
					int	DataFormat		
					int	GainStrategy		
					int	Preamplifier		
					uint8_t	AnalogIFBWGrade		
					uint8_t	IFGainGrade		
					uint8_t	EnableDebugMode		
					int	ReferenceClockSource		
					double	ReferenceClockFrequency		
					uint8_t	EnableReferenceClockOut		
					int	SystemClockSource		
					double	ExternalSystemClockFrequency		
					double	NativeIQSampleRate_SPS		
					uint8_t	EnableIFAGC		
					int8_t	Atten		
					int	DCCancelerMode		

	Chunk	字节序号	块内字节序号	字节数	数据类型	字段名称	字段说明	端序
					int	QDCMode		
					float	QDCIGain		
					float	QDCQGain		
					float	QDCPhaseComp		
					int8_t	DCCIOffset		
					int8_t	DCCQOffset		
					int	LOOptimization		
IQS_StreamInfo 结构体信息 msgpack 字节数组					double	Bandwidth		
					double	IQSampleRate		
					uint64_t	PacketCount		
					uint64_t	StreamSamples		
					uint64_t	StreamDataSize		
					uint32_t	PacketSamples		
					uint32_t	PacketDataSize		
					uint32_t	GainParameter		
DeviceInfo 结构体信息				2	uint16_t	DeviceInfo 结构体字节长度		大端
				8	uint64_t	DeviceUID		大端
				2	uint16_t	Model		大端
				2	uint16_t	HardwareVersion		大端
				4	uint32_t	MFWVersion		大端
				4	uint32_t	FFWVersion		大端
预留								
IQS_TriggerInfo 结构体信息	trig	400		4		格式块标识	“trig”	
		404		4	uint32_t	格式块长度		小端
		408		2	uint16_t	IQS_TriggerInfo 结构体字节长度		大端
				8	uint64_t	SysTimerCountOfFirstDataPoint		大端
				2	uint16_t	InPacketTriggeredDataSize		大端
				2	uint16_t	InPacketTriggerEdges		大端
				4*25	uint32_t	StartDataIndexOfTriggerEdges[25]		取决于平台

				8*25	uint64_t	SysTimerCountOfEdges[25]		取决于平台

	Chunk	字节序号	块内字节序号	字节数	数据类型	字段名称	字段说明	端序
				25	int8_t	EdgeType[25]		取决于平台
DeviceStat结构体信息				2	uint16_t	DeviceState 结构体字节长度		大端
				2	int16_t	Temperature		大端
				2	uint16_t	RFState		大端
				2	uint16_t	BBState		大端
				8	double	AbsoluteTimeStamp		大端
				4	float	Latitude		大端
				4	float	Longitude		大端
				2	uint16_t	GainPattern		大端
				8	int64_t	RFCFreq		大端
				4	uint32_t	ConvertPattern		大端
				4	uint32_t	NCOFTW		大端
				4	uint32_t	SampleRate		大端
				2	uint16_t	CPU_BCFlag		大端
				2	uint16_t	IFOverflow		大端
				2	uint16_t	DecimateFactor		大端
				2	uint16_t	OptionState		大端
返回信息				4	float	IQS_ScaleToV		大端
				4	float	MaxPower_dBm		大端
				4	uint32_t	MaxIndex		大端
预留								
数据包	Data	25*1024*1024+400		4		格式块标识	“data”	
		25*1024*1024+404		4	uint32_t	格式块长度		小端
		25*1024*1024+408		64968		IQ 数据包		取决于平台
				64968		IQ 数据包		取决于平台
						...		取决于平台
						第(格式块长度/64968)个 IQ 数据包		取决于平台

附录 B　接收机 IQ 流参数说明

参数可见性与允许值取决于型号、选件和软固件组合。

组	参数	说明
Frequency	中心频率、本振优化	设置接收中心和本振优化策略；实际选项以设备为准。
BW	原生采样率、分析带宽、扫宽、数据格式	控制采样和预览的数据规模。
Amplitude	预放、增益策略、IF 增益、衰减、IF AGC	控制接收链路动态范围和噪声/线性度取舍。
Trigger	触发源、边沿、延迟、预触发、重触发	决定采集何时开始及保留的时间窗口。
Record	模式、时长、文件大小限制、路径、剩余容量	控制 IQ 文件生成与存储边界。
Play Back	打开、回放、暂停、停止、前后帧、循环	控制记录文件离线回放。
FFT	Analyze 、 TimeStart 、 TimeLength 、 FFTsize、Window、Intercept	从选定 IQ 时段生成频谱预览。
IQvT/PvT	Analyze、TimeStart、TimeLength、Zoom	观察 I/Q 时域或功率—时间关系。
DDC	通道、OffsetFreq、Decimate	生成并分析目标子 IQ 流。

附录 C　相关文档说明

文档	说明
HAROGIC R5000 DISCOVERY 射频接收机产品手册	产品 Datasheet，核心特性，应用场景，指标概览，详细技术指标
HAROGIC R5000 DISCOVERY 射频接收机快速入门指南	30 分钟内完成上电、连接硬件、打开软件、查看射频信号、跑第一个软件应用 IQ 流
HAROGIC R5000 DISCOVERY 射频接收机用户手册	R5000 完整用户任务链，包括：接口、供电、桌面软件、IQ、GNSS、触发以及跨硬件/软件故障定位
HAROGIC 海得逻捷 SAStudio4 用户指南	完整版 SAStudio4 软件的用户指南
HAROGIC 海得逻捷 HTRA API 编程指南	API 概念、会话、模式、参数、数据结构、错误码、时间戳、同步与触发
HAROGIC 海得逻捷 HTRA API 范例使用指南	C/C++、Qt、Python、MATLAB、C#和 LabVIEW 示例目录、环境、构建、运行和语言适配
HAROGIC 海得逻捷射频收发系列 GNU Radio 范例使用指南 HAROGIC Git Repo.	使用 GNU Radio 创建应用程序，同时 GIT 获取最新 GNU Radio，SoapySDR 例程（持续在线维护）

www.harogic.cn

cninfo@harogic.com

+025-8330 5049