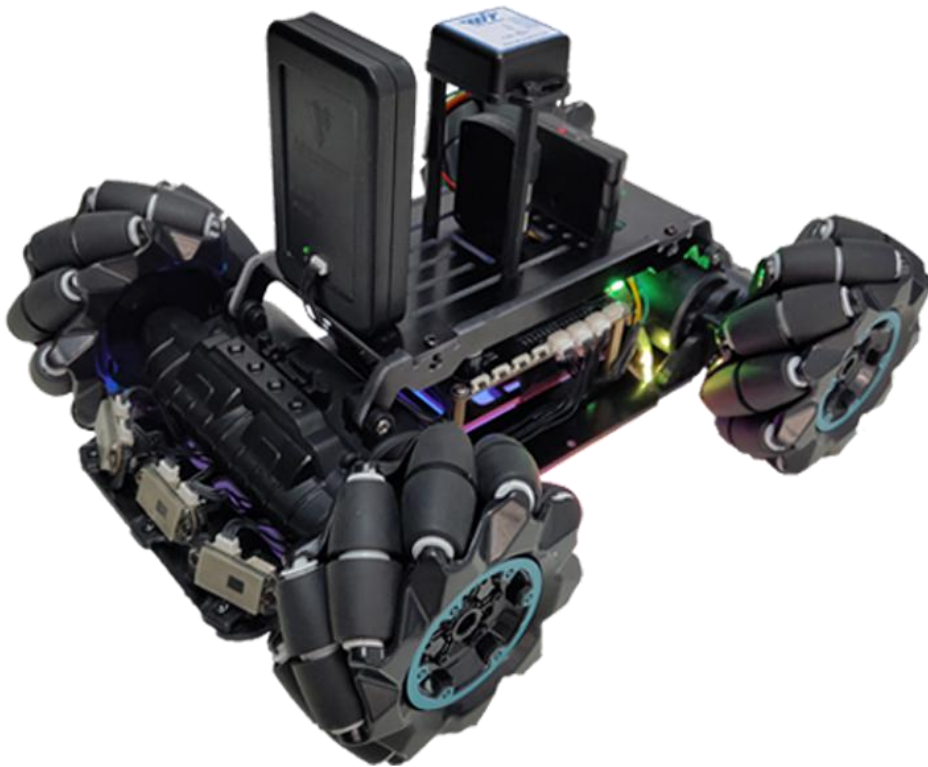




AutoRobo A

用户手册 V1.0



Language|语言: 简体中文

Firmware|固件版本: V1.0.0

NAssistant|N 助手版本: V4.1.0

Product Series|产品系列: AutoRobo A

Content|目录

AutoRobo A.....	1
用户手册 V1.0.....	1
Content 目录.....	2
Disclaimer 免责声明.....	3
1 Introduction 简介.....	4
1.1 General Introduction 总体介绍.....	4
1.2 Typical Specifications 典型规格.....	4
2 Introduction Of Components 组成部分介绍.....	6
2.1 Components Of AutoRobo A 车体组成.....	6
2.2 Interface Of Main Board 主控板接口.....	6
3 Demo And Recommended IDE 例程及推荐 IDE.....	7
3.1 Introduction Of STM32CubeIDE 简介.....	7
3.2 Program Debug Download 开发调试下载.....	7
4 Remote Control Mode Quick Start 遥控模式快速入门.....	11
4.1 Basic Principles 基本原理.....	11
4.2 Steps 步骤.....	11
4.3 Precautions 注意事项.....	12
5 Follow-Me Mode Quick Start 跟随模式快速入门.....	13
5.1 Basic Principles 基本原理.....	13
5.2 Steps 步骤.....	13
5.3 Precautions 注意事项.....	13
6 Obstacle Avoidance Mode Quick Start 避障模式快速入门.....	15
6.1 Basic Principles 基本原理.....	15
6.2 Steps 步骤.....	15
6.3 Precautions 注意事项.....	15
7 Position Mode Quick Start 定位模式快速入门.....	17
7.1 Basic Principles 基本原理.....	17
7.2 Steps 步骤.....	17
7.3 Precautions 注意事项.....	19
8 Introduction Of Demo Process 例程思路简介.....	21
8.1 Recommend Learning Approaches 推荐学习途径.....	21
8.2 Program Framework 程序框架.....	21
9 Maintenance,Precautions Of Product 产品保养注意事项.....	23
9.1 Precautions Of Battery 电池使用注意事项.....	23
9.2 Safe Operation Guide 安全操作指引.....	23
10 FAQ 常见问题解答.....	25
11 Abbreviation and Acronyms 简写与首字母缩略.....	27
12 Reference 参考.....	28
13 Update Log 更新日志.....	29
14 Further Information 更多信息.....	30

Disclaimer|免责声明

Document Information|文档信息

Nooploop reserves the right to change product specifications without notice. As far as possible changes to functionality and specifications will be issued in product specific errata sheets or in new versions of this document. Customers are advised to check with Nooploop for the most recent updates on this product.

Nooploop 保留更改产品规格的权利，恕不另行通知。尽可能将改变的功能和规格以产品特定勘误表或本文件的新版本发布。建议客户与 Nooploop 一起检查了解该产品的最新动态。

Life Support Policy|生命保障政策

Nooploop products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the Nooploop product would cause severe personal injury or death. Nooploop customers using or selling Nooploop products in such a manner do so entirely at their own risk and agree to fully indemnify Nooploop and its representatives against any damages arising out of the use of Nooploop products in such safety-critical applications.

Nooploop 产品未被授权用于失效的安全关键应用（如生命支持），在这种应用中，Nooploop 产品的故障可能会导致严重的人身伤害或死亡。以这种方式使用或销售 Nooploop 产品的 Nooploop 客户完全自行承担风险，并同意对 Nooploop 及其代表在此类安全关键应用中使用 Nooploop 产品所造成的任何损害给予充分赔偿。

Regulatory Approvals|管理批准

The AutoRobo A, as supplied from Nooploop, has not been certified for use in any particular geographic region by the appropriate regulatory body governing radio emissions in that region although it is capable of such certification depending on the region and the manner in which it is used. All products developed by the user incorporating the AutoRobo A must be approved by the relevant authority governing radio emissions in any given jurisdiction prior to the marketing or sale of such products in that jurisdiction and user bears all responsibility for obtaining such approval as needed from the appropriate authorities.

由 Nooploop 提供的 AutoRobo A 尚未获得管理该地区无线电发射的适当监管机构的认证，但其能够根据该地区及其使用方式进行认证。用户开发的包含 AutoRobo A 的所有产品必须在该管辖区内销售或销售此类产品之前，由管理任何给定管辖区无线电排放的相关主管部门批准，并且用户应根据需要负责获得相关主管部门的批准。

1 Introduction|简介

这份文档主要介绍如何使用 AutoRobo A 无人车，以及在使用过程中需要注意的事项，您可能还需要阅读以下文档：

- LinkTrack 数据手册
- LinkTrack 用户手册
- NLink 通信协议手册
- LinkTrack AOA 数据手册
- LinkTrack AOA 用户手册
- TOFSense 数据手册
- TOFSense 用户手册

相关文档资料请在官网下载：<https://www.nooploop.com/download/>

1.1 General Introduction|总体介绍


AutoRobo A 是一款由 Nooploop 空循环自主研发的面向高校与企业的开源教育无人车平台，致力于为开发者提供一个快速上手与验证的多功能开发平台。

基于模块化设计思路，将 AutoRobo A 的主控板、电机、传感器（如 UWB 定位、激光测距、AOA 跟随）等组件独立出来，简洁的组装拆卸机制使得开发者更易实现个性化需求。内置多项智能功能，通过在 AutoRobo A 上安装相关传感器模块可实现智能跟随、智能避障、导航定位等功能效果。同时预留了丰富的开发资源，使用主频高达 480MHz 的 STM32H750VBT6 作为主控板芯片，采用 C 语言进行编程，基于 ST 公司提供的免费集成开发环境 STM32CubeIDE 进行开发，在高效好用的同时，进一步地避免了商业使用版权问题。

1.2 Typical Specifications|典型规格

以最基础的底盘无人车为标准进行测试得出的参数如下表：

表 1 底盘无人车参数

Parameters	AutoRobo A (底盘无人车)	Note
产品图片		底盘无人车版本
产品型号	AutoRobo A	底盘无人车版本
型号简称	ARA	*
车体板材	黑色玻纤	*
产品尺寸: mm	300*220*114	*
产品重量: kg	1.4	*
遥控距离: m	8	*

供电电压: V	(7.4, 8.4)	*
续航: min	50	模拟底盘无人车在遥控模式下正常使用测得的续航时间, 实际续航时间与多种因素有关, 此值仅供参考
主控板	AutoRobo AMB (STM32H750VBT6)	*
注: 部分参数与使用环境条件有关系, 详细参数信息请以官方最新版本手册参数与测试条件为准。		

2 Introduction Of Components|组成部分介绍

2.1 Components Of AutoRobo A|车体组成

高配版的 AutoRobo A 无人车的组成部件如图所示。

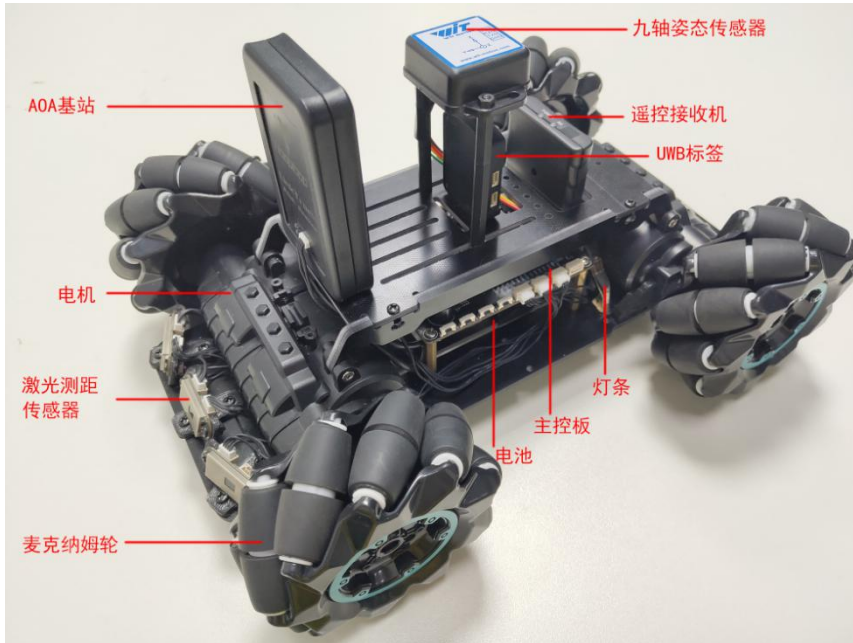


图 1: 高配版 AutoRobo A 无人车组成示意图

2.2 Interface Of Main Board|主控板接口

主控板的接口如图所示，此外还引出了 STM32H750VBT6 大部分的 IO 口。

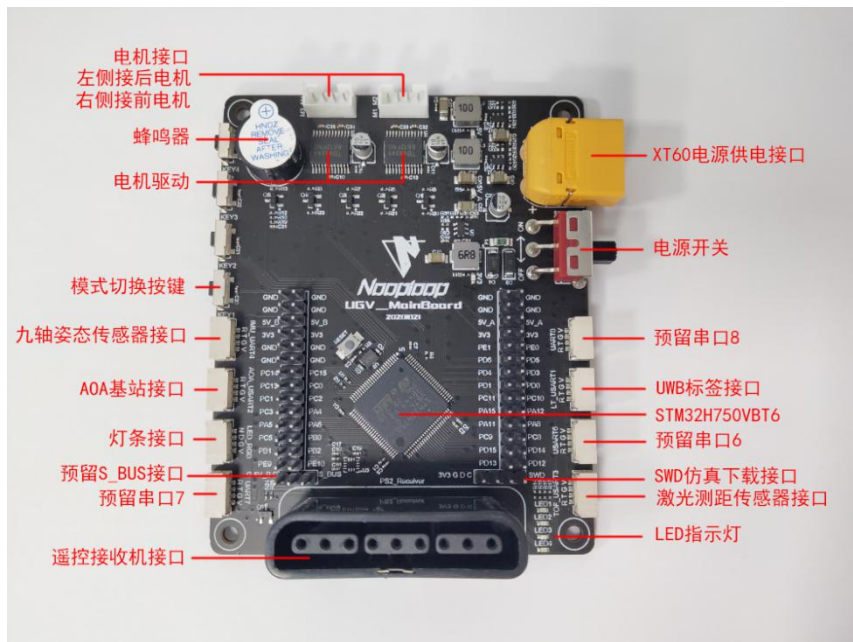


图 2: 主控板接口图

3 Demo And Recommended IDE|例程及推荐 IDE

3.1 Introduction Of STM32CubeIDE|简介

STM32CubeIDE 是 ST（意法半导体）公司推出的支持 STM32 的免费的集成开发工具，内置 STM32CubeMX 插件，用户可以非常方便快速地进行基于 STM32 芯片的工程项目开发。

AutoRobo A 麦克纳姆轮无人车的例程就是使用 STM32CubeMX 生成工程和驱动代码，并在 STM32CubeIDE 下进行开发的，例程可前往官网 <https://www.nooploop.com/download/> 下载。为了更好地学习和使用本例程，推荐用户前往 ST 官网下载和安装 STM32CubeIDE（安装 IDE 时一般会安装 ST-LINK 驱动）和 STM32CubeMX，可以参考网上相关教程进行软件和驱动的安装。

3.2 Program Debug Download|开发调试下载

1. **【打开工程】**安装好 STM32CubeIDE 后，左键双击例程工程文件夹内的 .project 后缀的工程文件打开工程（如果电脑没有安装 Java 的 JRE 支持包，会自动跳转到 Java 下载页面，按照提示下载安装即可）。

注：如果是第一次使用 STM32CubeIDE，可以按照以下步骤更改 Tab 键所占空格数为 2 个（不更改的话程序注释的位置不会完全对齐，可能会影响阅读体验），另外可以更改字符集格式来解决中文注释字体大小异常的问题。

（1）更改 Tab 键规格

点击菜单栏 Window-Preferences，在弹出的窗口中依次展开 C/C++/Code Style/Formatter 选项卡，点击 New 基于原来的格式新建一个代码格式，命名并打开格式编辑页面，将 Tab 键格式改为 2 个空格点击 OK 保存，应用并退出设置页面。

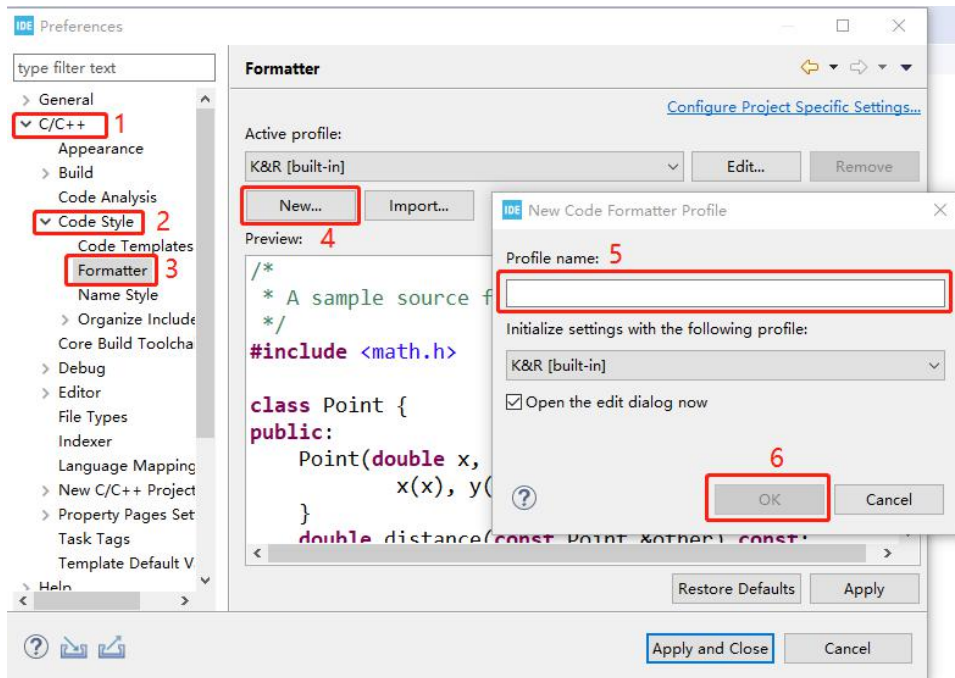


图 3: Preferences 页面操作流程

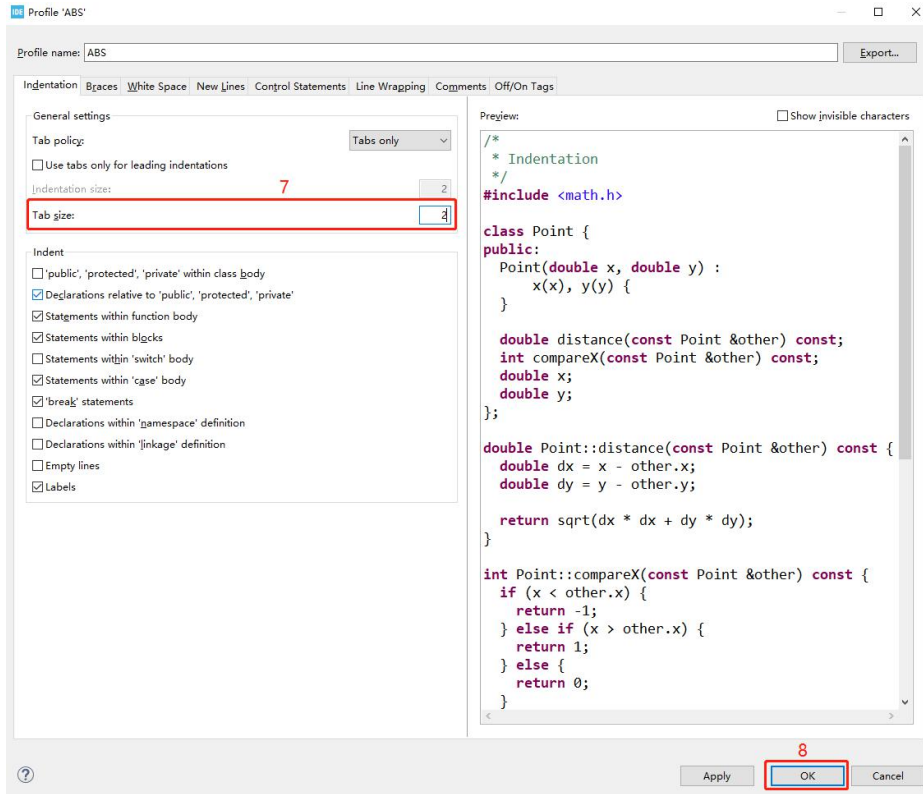


图 4: 代码格式编辑页面操作流程

(2) 更改中文字符集格式

点击菜单栏 Window-Preferences，在弹出的窗口中依次展开 General/Appearance/Colors and Fonts 选项卡，在右侧 Basic 选项卡中选中 Text Font，点击 Edit 将脚本栏改为中欧字符。应用并退出设置页面。

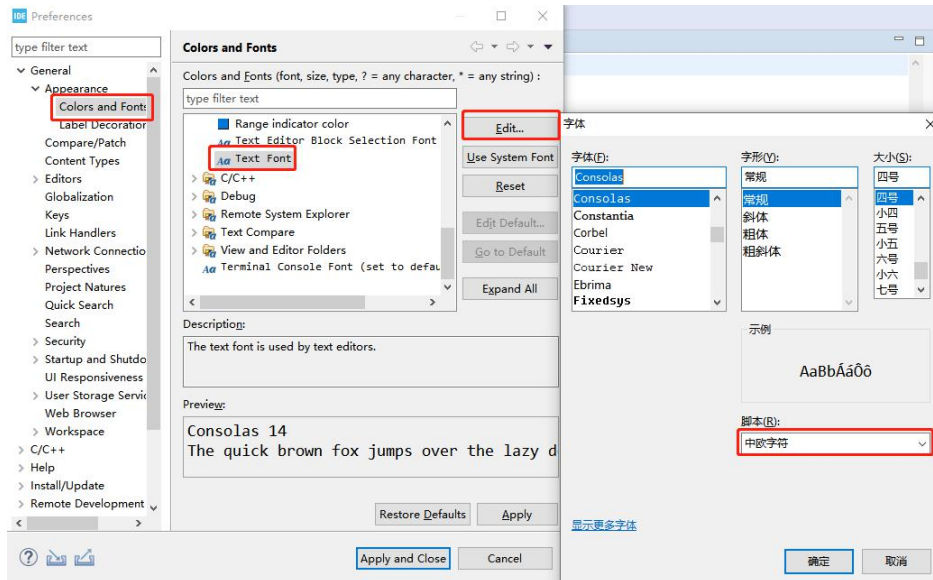


图 5: 字符集格式更改页面操作流程

2. **【开发程序】** 有一定开发能力的用户可以在例程的基础上增添自己的代码进行开发。推荐下载 STM32CubeMX 软件（STM32CubeIDE 虽然包含了 STM32CubeMX 的插件，但是还是推荐安装独立的 STM32CubeMX 软件），打开工程文件夹内的 STM32CubeMX 工程文件(.ioc

后缀)，参考网上 STM32CubeMX 的相关教程，配置时钟树以及所需要的外设并生成（或更新）STM32CubeIDE 的工程文件。在开发的过程中，一定要注意将用户代码放置在 `/* USER XXX BEGIN X */` 和 `/* USER XXX END X */` 之间，否则在使用 STM32CubeMX 更新工程文件后，会自动删除这些不在范围内的用户代码。除了驱动代码以外，用户可以添加自己的.c 和.h 文件，将这些文件放入工程文件夹后，.c 和.h 文件会自动添加到 IDE 左侧的文件目录中，用户只需要按照以下步骤添加头文件路径即可。选中工程点击菜单栏 Project-Properties，依次点击 C/C++ General/Paths and Symbols，在 Includes 选项里点击 Add... 进入 File system 选择.c 和.h 文件所在的文件夹。

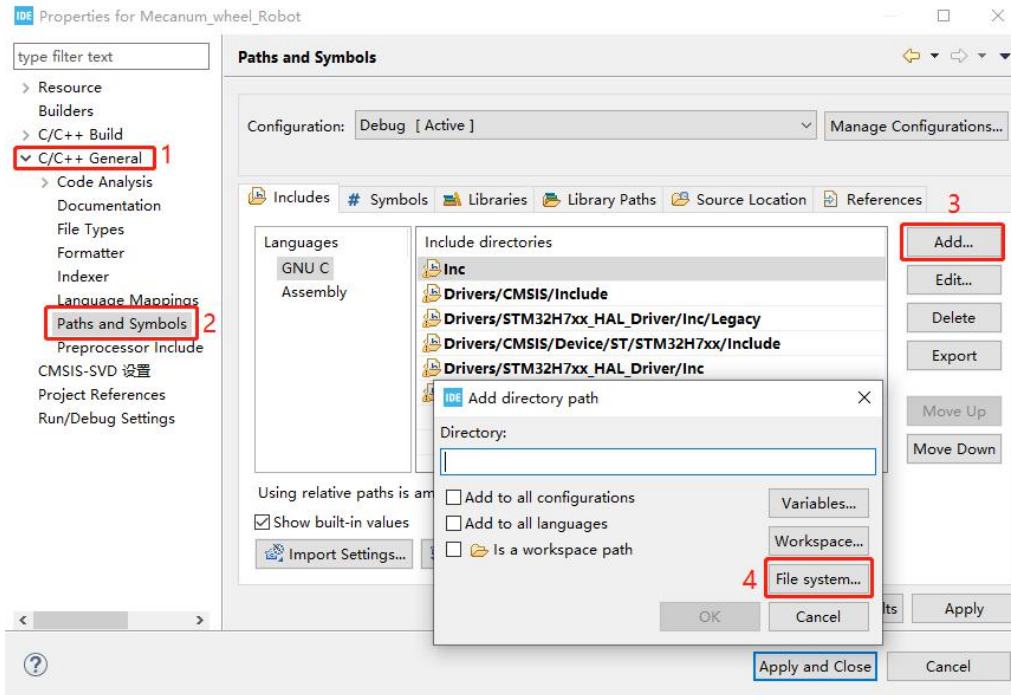


图 6: 添加头文件路径操作流程

3. **【编译、调试和下载】**打开 Src 路径下的 main.c（驱动和应用代码均放在 Drivers-HARDWARE 文件夹中），点击全部构建按钮进行编译，编译不报错通过以后，通过 ST-LINK 按照上面标注的对应线序（注意 SWD 接口供电为 3.3V，如果使用电池供电则不用接 ST-LINK 上的 3.3V）连接主控板上的 SWD 接口（如果之前没有安装过 ST-LINK 的驱动的话需要先安装驱动）。然后点击 Debug 调试按钮（第一次调试会进入 ST-LINK 配置页面，一般使用默认配置即可，如果检测到 ST-LINK 固件升级按照图示操作步骤升级即可），IDE 会将程序下载到芯片中并且进入调试模式，自动运行到 main 主函数的第一行。在每行代码之前双击可以添加/删除断点，点击开始运行按钮开始运行程序，在右侧的现场表达式窗口可以添加全局变量在程序运行过程中实时查看变量数值，点击停止运行按钮退出调试模式即可完成程序下载，拔掉 ST-LINK 对无人车断电重启后会无人车会按照程序开始正常工作。

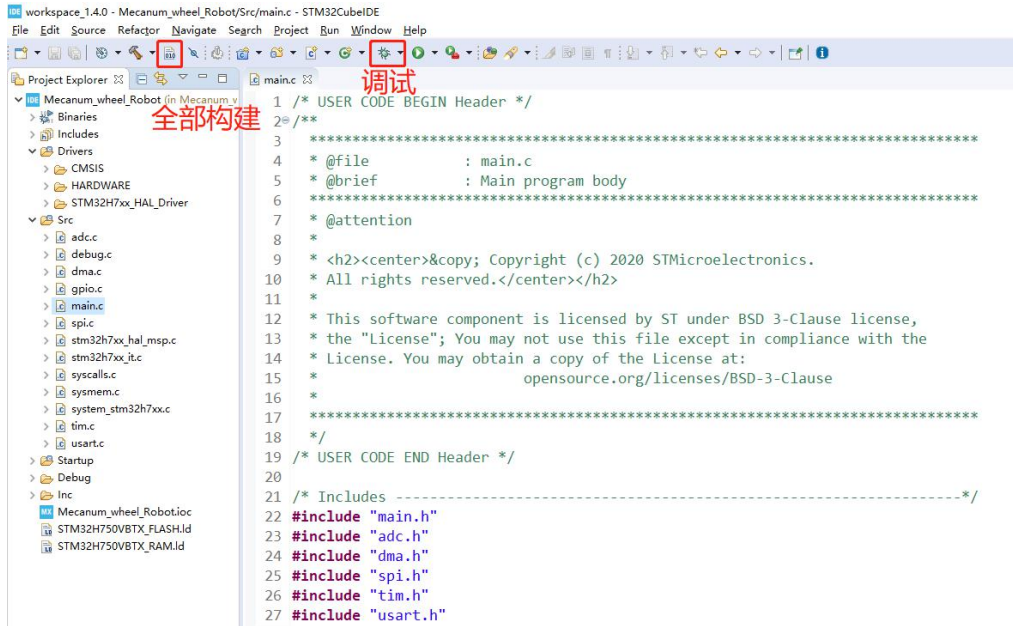


图 7: STM32CubeIDE 主页面

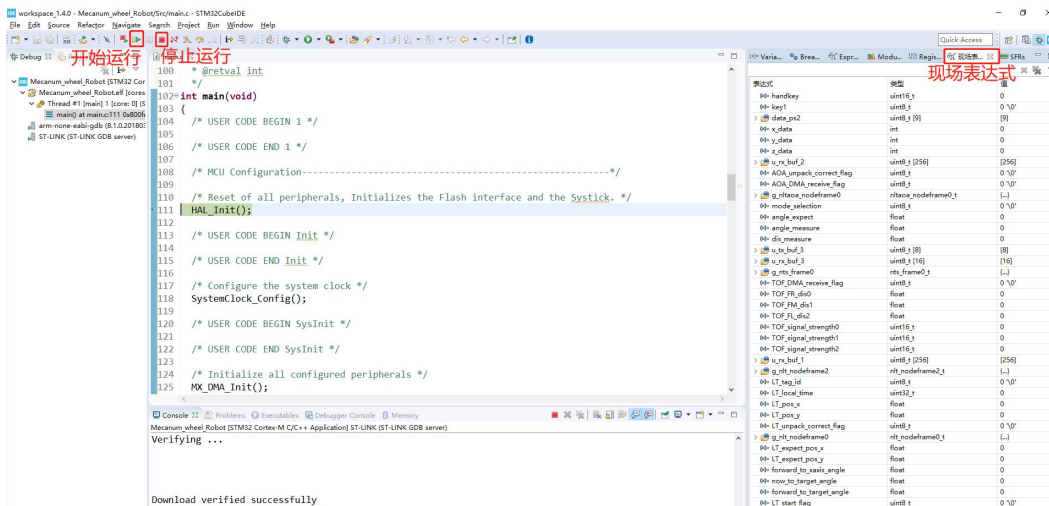


图 8: STM32CubeIDE 调试页面



图 9: ST-LINK 固件升级操作流程

4 Remote Control Mode Quick Start|遥控模式快速入门

这一章介绍遥控模式的快速入门步骤与注意事项。

4.1 Basic Principles|基本原理

AutoRobo A 麦克纳姆轮无人车使用基于 2.4G 无线通信的 PS2 无线遥控器和接收机实现遥控功能（此外预留了 S_BUS 接口，用户可以根据需求自行编写相应接收机的驱动、接收和应用代码进行扩展）。主控端通过 IO 口模拟读取时序，读取接收机接收到的来自遥控器的数据，经过算法处理后控制无人车运动。

PS2 遥控器的键值与按键映射关系如下（由于遥控器的批次不同，遥控器和接收机的外观可能会不同，但是使用方法大致相同）：



图 10: 遥控器键值映射图

4.2 Steps|步骤

AutoRobo A 通电以后默认处于遥控模式，对应灯光效果为绿灯依次点亮。

1. **【供电及遥控配对】**将接收机安装在无人车主控板的接收机接口上（注意方向不要插反），无人车和遥控器安装电池后打开电源开关，根据无人车底部的 RGB 灯光确认处于遥控模式，接收机的 RX 指示灯处于长亮状态表示自动配对成功。

2. **【切换到红灯模式】**按下遥控器上的模式切换按键，此时遥控器上的模式指示灯亮起表示已经进入红灯模式。

3. **【进行操控】**在红灯模式下，无人车即可正常操控。遥控器左摇杆的上下方向可以控制无人车前进以及后退，左右方向可以控制无人车横移；右摇杆的左右方向可以控制无人车转向。按键 9 和按键 10 也可以控制无人车转向。

4. **【退出红灯模式】**再次按下模式切换按键可以退出红灯模式，此时无论左右摇杆或按键均不能控制无人车。

4.3 Precautions|注意事项

1. 遥控器电源开关打开后，若一段时间内没有搜索到接收机的信号，会自动进入休眠模式，遥控上所有指示灯全灭，且无法操控无人车。此时需要按下遥控上的 START 按键解除休眠模式，然后进入红灯模式进行遥控。

2. PS2 遥控器的通信范围为 8 米左右，超出范围可能导致无人车失控或原地不动。

3. AutoRobo A 由于采用的是不带编码器的电机，所以无法实现电机转速闭环控制，在遥控模式中，可能会因为电机的一致性出现轨迹偏离直线的现象。

5 Follow-Me Mode Quick Start|跟随模式快速入门

这一章介绍跟随模式的快速入门步骤与注意事项。

5.1 Basic Principles|基本原理

AutoRobo A 麦克纳姆轮无人车在安装了 Nooploop 的跟随套装组件以后, 基于一个 LinkTrack AOA Anchor (基站) 和一个 LinkTrack AOA Tag (标签), 可以实现角度跟随的功能。关于 AOA 的具体使用和功能参数可以参考 Nooploop 官网 (<https://www.nooploop.com/download/>) 下载的 AOA 用户手册、数据手册, 同时可以下载 NAssistant 助手软件, 方便进行产品参数设置和开发。

实现跟随功能的原理为: 安装在无人车上的 AOA Anchor 通过串口输出人员携带的 AOA Tag 相对于 AOA Anchor 的角度数据, 无人车上的主控通过串口读取并解码后得到 AOA Tag 相对于 AOA Anchor 的角度, 若这个角度不为 0 度, 说明无人车的朝向与人员 (AOA Tag) 所在方向不同, 以 AOA Anchor 输出的角度作为被控量, 0 度作为期望值, 采用 PID 算法进行控制, 使无人车自动转向人员 (AOA Tag) 所在的方向实现角度跟随功能。

5.2 Steps|步骤

AutoRobo A 通电以后需要切换到跟随模式, 对应灯光效果为彩虹慢速渐变。

1. **【无人车供电及切换模式】** 无人车安装电池后打开电源开关, 观察 AOA Anchor 的指示灯状态, 确认供电正常, **短按**一下主控板上的 KEY1 按键, 将模式切换为跟随模式, 此时无人车底部 RGB 灯光变为彩虹慢速渐变模式。

2. **【标签供电】** 此时将 AOA Tag 放在 AOA Anchor 正面 (指示灯和接口这面) ± 75 度范围内, 通过移动电源借助 USB 转 TTL 模块或者通过其他 5V 电源直接给 AOA Tag 供电, 则无人车会自动转向 AOA Tag 方向。

3. **【角度跟随测试】** 将 AOA Tag 绕 AOA Anchor 旋转 (速度不要过快, 不然容易转到基站背面超出角度测量范围), 此时小车会跟随 AOA Tag 的方向进行旋转。

5.3 Precautions|注意事项

1. 目前版本的程序 (由于手册可能更新较慢, 例程的详细更新功能可以参考最新发布的程序注释或者版本更新说明等文档) 还没有对标签在基站背面情况下的角度数据进行处理, 所以当标签处于基站背面时, 可能会出现小车在某个角度附近反复左右抖动、跟随不流畅等现象, 此时可以快速地将标签移动到基站正面即可解决这个问题。对于标签在基站背面的情况, 目前可以考虑在基站背面绑一块对电磁波衰减较大的金属材料, 减弱基站背面的信号强度, 然后在无人车程序中通过读取基站输出的信号强度 (第一路径信号强度 `fp_rssi` 和总信号强度 `rx_rssi`, 可以参考 AOA 用户手册) 的差值来判断标签是否处于基站背面, 如果处于则编写程序让无人车直接旋转到正面。

2. 为了达到更好的跟随效果, 可以尽量减少 AOA 标签到 AOA 基站之间的遮挡和遮挡的时间, 遮挡物对于 AOA 角度测量的影响可以参考 AOA 用户手册相关章节。

3. AOA 出厂时已经配置好了角色、ID 等参数, 如果用户在使用过程中更改了参数, 或者希望使用其他的 AOA 模块来搭建系统, 可以参考官网 (<https://www.nooploop.com/download/>) 下载的 LinkTrack AOA 用户手册和 NAssistant 软件按照以下参数进行配置, 如果模块的固件版本低于 4.0.2.42, 需要将所有模块的固件升级到 4.0.2.42 或者以上版本。

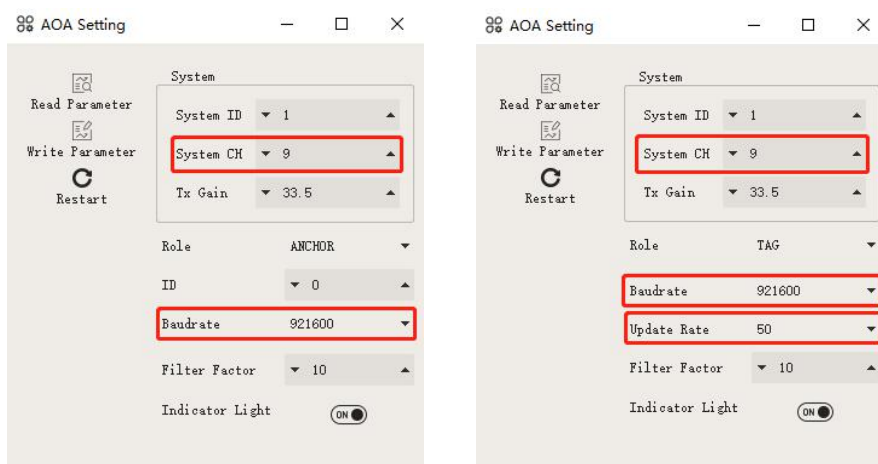


图 11: 左图: AOA 基站配置; 右图: AOA 标签配置

6 Obstacle Avoidance Mode Quick Start|避障模式快速入门

这一章介绍避障模式的快速入门步骤与注意事项。

6.1 Basic Principles|基本原理

AutoRobo A 麦克纳姆轮无人车在安装了 Nooploop 的跟随、避障套装组件以后，基于一个 LinkTrack AOA Anchor（基站）和一个 LinkTrack AOA Tag（标签）以及 3 个 TOFSense 激光测距传感器，可以实现角度+距离跟随以及避障的功能。关于 AOA 和 TOFSense 的具体使用和功能参数可以参考 Nooploop 官网（<https://www.nooploop.com/download/>）下载的 AOA 和 TOFSense 用户手册、数据手册，同时可以下载 NAssistant 助手软件，方便进行产品参数设置和开发。

实现角度+距离跟随功能的原理为：安装在无人车上的 AOA Anchor 通过串口输出人员携带的 AOA Tag 相对于 AOA Anchor 的角度以及距离数据，无人车上的主控通过串口读取并解码后得到 AOA Tag 相对于 AOA Anchor 的角度以及距离，若这个角度不为 0 度，说明无人车的朝向与人员（AOA Tag）所在方向不同，以 AOA Anchor 输出的角度作为被控量，0 度作为期望值，采用 PID 算法进行控制，使无人车自动转向人员（AOA Tag）所在的方向实现角度跟随功能。而距离跟随采用区间控制，若 AOA Tag 到 AOA Anchor 的距离大于设定区间，则控制无人车前进，若小于则控制无人车后退。

实现避障功能的原理为：3 个设置为串口查询模式的 TOFSense 经过级联连接到主控板上的一个串口，STM32 主控在滴答定时器中断中每隔一段时间向总线发送一个 ID 的查询帧，对应 ID 的 TOFSense 接收到查询帧后返回测距帧，主控收到并进行解码，3 个查询帧发送完并收到对应的测距帧后，主控得到 3 个 TOFSense 的测距值以及信号强度等信息。综合 3 个 TOFSense 的测距值来判断是否需要进行避障以及如何进行避障，从而实现避障功能。

6.2 Steps|步骤

AutoRobo A 通电以后需要切换到避障模式，对应灯光效果为彩虹快速渐变。

1. **【无人车供电及切换模式】**无人车安装电池后打开电源开关，观察 AOA Anchor 和 TOFSense 的指示灯状态，确认供电正常，**短按两下**主控板上的 KEY1 按键，将模式切换为避障模式，此时无人车底部 RGB 灯光变为彩虹快速渐变模式。

2. **【标签供电】**此时将 AOA Tag 放在 AOA Anchor 正面±75度范围内，通过移动电源借助 USB 转 TTL 模块或者通过其他 5V 电源直接给 AOA Tag 供电，则无人车会自动转向 AOA Tag 方向。若此时 AOA Tag 和 AOA Anchor 的距离不在跟随区间内（默认区间范围为 0.3m 到 1.1m，以例程为准），无人车会同时前进或后退到区间范围内。

3. **【角度+距离跟随及避障测试】**保持 AOA Tag 和 AOA Anchor 的距离在跟随区间内并将 AOA Tag 绕 AOA Anchor 旋转（速度不要过快，不然容易转到基站背面超出角度测量范围），此时小车会在原地跟随 AOA Tag 的方向进行旋转。当人员拿着 AOA Tag 往远处走去的时候，无人车会跟随人员移动，直到 AOA Tag 和 AOA Anchor 的距离重新回到跟随区间。当 AOA Tag 和 AOA Anchor 的距离不处于跟随区间时，若 3 个 TOFSense 的测距值有一个或者多个小于减速距离，无人车会开始预减速，当测距值有一个或者多个小于避障距离，无人车会根据不同的情况采取对应的避障动作。

6.3 Precautions|注意事项

1. 目前版本的程序（由于手册可能更新较慢，例程的详细更新功能可以参考最新发布程序注释或者版本更新说明等文档）还没有对标签在基站背面情况下的角度数据进行处理，所以当

无人车遇到一小部分障碍物执行避障操作以后，可能会出现标签处于基站背面获取到的 AOA 角度异常从而导致无人车往一个方向一直走失控的现象，此时可以迅速追上无人车将标签放置在基站正面来重新控制小车，该问题可能会在以后的程序版本迭代中进行优化。也可以参考跟随模式中对于标签在基站背面的处理方法来规避这种现象。

2. AOA 输出的距离值有 20cm 左右的死区范围，即标签离基站距离 20cm 左右范围内 AOA 基站输出的距离恒为 0，超过这个死区以后距离从零开始逐渐增加。如果对距离值有要求，可以在线调试过程中测量出准确的死区值然后在程序中进行校正。

3. 为了达到更好的跟随效果，可以尽量减少 AOA 标签到 AOA 基站之间的遮挡和遮挡的时间，遮挡物对于 AOA 角度测量的影响可以参考 AOA 用户手册相关章节。

4. 为了避免 TOFSense 的测距光射到地面造成距离异常，TOFSense 是斜向上安装的，所以可能检测不到较低的障碍物。

5. TOFSense 出厂时已经配置好了输出方式等参数，如果用户在使用过程中更改了参数，或者希望使用其他的 TOF 模块来搭建系统，可以参考官网 (<https://www.nooploop.com/download/>) 的 TOFSense 用户手册按照以下参数进行配置，如果模块的固件版本低于 2.0.0，需要将所有模块的固件升级到 2.0.0 或者以上版本（AOA 可以参考跟随模式章节的注意事项进行参数配置）。



图 12: TOFSense 配置

7 Position Mode Quick Start|定位模式快速入门

这一章介绍定位模式的快速入门步骤与注意事项。

7.1 Basic Principles|基本原理

AutoRobo A 麦克纳姆轮无人车在安装了外置的九轴姿态传感器（IMU 模块）以及 Nooploop 的定位套装组件以后，基于 1 个外置 IMU 模块和 6 个 LinkTrack S（分别配置为 1 个控制台、4 个基站、1 个标签），可以实现定位和指定目标点移动功能。关于 LinkTrack S 具体使用和功能参数可以参考 Nooploop 官网（<https://www.nooploop.com/download/>）下载的 LinkTrack 用户手册、数据手册和协议手册，同时需要下载 NAssistant 软件并安装串口驱动，方便产品参数设置和开发，以及通过控制台发送目标点坐标信息。外置 IMU 模块的使用资料可以前往维特智能网站下载（<http://wiki.wit-motion.com/doku.php?id=products:WT901C%E6%88%90%E5%93%81%E8%B5%84%E6%96%99>）。

定位目标点移动功能的原理为：安装在无人车上的 LinkTrack S 标签通过串口输出 NLink_LinkTrack_Node_Frame2 协议格式的数据，无人车上的主控通过串口读取并解码后得到标签的坐标等信息。使用 LinkTrack 的 LP 模式下的数传功能，通过 NAssistant 上位机软件自带的串口调试助手按照指定格式编码并向控制台发送经过编码的目标点坐标以后，标签端会以 NLink_LinkTrack_Node_Frame0 数传协议输出包含已经编码过的目标点坐标信息，主控通过串口接收后，先按照 Node_Frame0 协议解析出已经经过编码的数据，然后按照编码方式将目标点坐标解析出来。主控通过算法控制无人车经过 3 个阶段，最终到达目标点。3 个阶段的简单介绍分别如下：


1. **【转向阶段】**当接收到控制台发送的目标点坐标后，无人车主控根据目标点坐标和当前标签坐标以及从外置 IMU 模块融合磁力计获得的当前航向角（经过坐标夹角转换），计算出车头方向到目标点方向之间的大致夹角（由于磁力计会受到环境影响，定位坐标有一定的波动，所以只能计算出大致的夹角），并通过 PID 算法控制无人车转向目标点附近方向。

2. **【边转向边前进阶段】**无人车在前进的过程中逐渐转向将车头进一步对准目标点附近，缩短与目标点之间的距离。


3. **【平移收敛阶段】**当无人车坐标进入目标点周围一定范围内（默认为半径 0.5m，以例程为准）时，进入第三阶段，根据当前的 x 和 y 坐标与目标 x 和 y 坐标的偏差计算基站坐标系下的 x 和 y 坐标轴方向输出量，并转换为载体坐标系下的 x 和 y 输出量（x 为左右平移输出量，y 为前进后退输出量），利用麦克纳姆轮平移特性经过运动合成控制最终将无人车移动到目标点附近。

7.2 Steps|步骤

AutoRobo A 通电以后需要切换到定位模式，对应灯光效果为彩虹渐变循环流水灯。


1. **【安装 LinkTrack 定位系统】**随无人车售卖的 LinkTrack S 即用套装中，已经把 6 个 LTS 模块分别配置成了 1 个控制台、4 个基站和 1 个标签（模块的参数均已配置完成），标签通过底部 M3 螺丝孔安装在无人车上。用户需要做的是，使用三脚架或吸盘等工具将 4 个基站**按照图示 A0 到 A3 顺时针的顺序**安装在一个空旷平坦的场地四角，四个基站安装在同一水平高度（高度差不超过 20cm，离地面 50cm 以上，建议 1m 到 2m），保证 4 个基站之间空旷无阻挡。安装时注意以下细节可以提高最终标签的定位精度：基站布局范围推荐大于 5m*5m（小于也可以），长宽比一般建议小于 3:1，将 4 个基站的正面（有坐标系图案那面）朝向定位区域内部，应用时尽量减少标签到各个基站之间的阻挡。安装好基站并通过移动电源接 Type-C 数据线给基站供电以后，把控制台模块（C0）用数据线连接到电脑，打开 NAssistant 软件，模块识别成功后点击 

按钮进入设置页面（如果没有出现设置按钮或识别失败可以参考下一节注意事项中的解决方案），

先点击进入无线设置  Wireless Setting 查看 4 个基站是否都在线，如果不在线点击查找所有节点按钮

 Find All Nodes

，如果个别基站还是不在线可以检查对应基站供电是否正常；如果在线则退出无线

设置，点击一键标定按钮  One Key Calibration 进行基站坐标标定（或者采用手动标定：手动测量出四个基站在基站坐标系下的坐标并输入控制台设置页面右侧的基站坐标栏然后写入参数），等待右侧基站坐标完全停止变化以后再退出设置页面，此时在软件 2D 页面通过“右键单击可以缩小视图，左键框选可以放大视图”的方式，将 x、y 坐标（单位为米）范围调整到和实际基站范围差不多的大小，此时若能看见四个基站的图标且坐标与实际基站摆放的位置基本一致说明标定成功（基站安装和坐标标定的详细步骤和注意事项可以参考官网下载的用户手册，若基站相对位置没有发生变化，则下次应用时不用重新标定）。

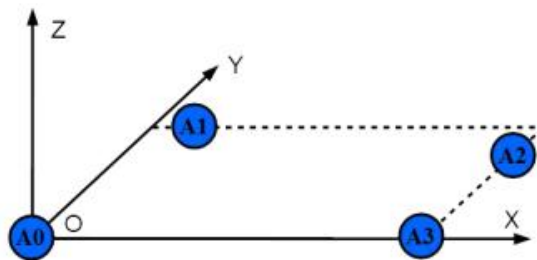



图 13: 基站坐标系

2. **【坐标系对齐】**在目标点移动的过程中使用了与磁力计有关的航向角，而基站坐标系（以 A0 为原点，A0 到 A3 的连线为 x 轴正方向，y 轴与 x 轴成 90 度）和地理坐标系之间可能有一定的偏差，所以需要进行坐标系对齐的操作。方法为：参考之前 IDE 使用章节介绍的方法，打开 IDE 工程，在 Drivers-HARDWARE 文件目录下打开 linktrack.c，确认 anchor_to_east_angle 这个全局变量是否为 0，如果不是的话将其改为 0。使用 ST-LINK 连接无人车主控的 SWD 接口，打开 main.c 编译例程并进入调试模式，在右侧现场表达式窗口添加 WT_IMU_yaw 这个全局变量（在 wt901c.c 里定义），点击运行按钮运行程序，此时 WT_IMU_yaw 会开始正常刷新，把无人车车头朝向 A0 到 A3 基站连线方向（即基站坐标系的 x 轴正方向）放在地上并远离金属和磁性物体至少 40cm（直接放在地上可能会受到地面的影响导致航向角测量不准，可以用纸箱之类的不含金属的材料垫高一下），在右侧现场表达式窗口读出此时的 WT_IMU_yaw 变量值并记录下来，然后点击停止调试按钮，将 anchor_to_east_angle 改为记录值并重新编译进入调试模式下载和运行程序，若车头朝向 A0 到 A3 方向时 WT_IMU_yaw 为 0 度左右，说明对齐成功（若基站安装位置发生变化需要把 anchor_to_east_angle 改为 0 以后重新进行对齐操作）。

3. **【无人车供电及切换模式】**无人车安装电池后打开电源开关，观察 LTS 标签的指示灯状态，确认供电正常，短按三下主控板上的 KEY1 按键，将模式切换为定位模式，此时无人车底部 RGB 灯光变为彩虹渐变循环流水灯模式，将无人车放置在基站范围地面上。

4. **【确认标签定位成功】**回到 NAssistant 上位机软件页面，切换到 Line 页面查看标签 x 和 y 坐标是否正常刷新且波动较小，然后切换回 2D 页面查看标签图标是否正常显示和抖动以及在基站范围内的位置是否与实际大致相符，相符则进行下一步（标签坐标正常刷新才可以进行下一步，如果标签 xyz 坐标都为 1，请检查是否进行了一键标定或者手动标定，若标签坐标没有正常刷新就进行了下一步，会导致无人车失控）。

5. **【目标点移动功能测试】**在 NAssistant 软件主界面点击  图标，打开 NAssistant 软件自

带的串口调试助手，关闭发送按钮右侧的 Hex 选项，在单项发送栏按照“xx.x xx.x”的格式输入目标点的坐标（单位为米）。例如，目标点坐标为（3.2m,10.0m），则输入 03.2 10.0，其中不足十位则在前面补 0，小数点后的 0 不可省略，小数点和中间的空格不能省略。输入坐标以后点击发送，则无人车会按照上一节介绍的三个阶段步骤移动到目标点坐标位置。更改目标点坐标并再次进行发送则无人车会移动到新的目标点位置。

7.3 Precautions|注意事项

1. 控制台模块连接电脑之前，需要安装 Nooploop 官网资料下载页面下载的串口驱动。安装完驱动以后打开 NAssistant 如果出现  串口断开或识别不了没有

出现设置按钮的情况，可以先断开串口，然后在左侧下拉栏看是否还有其他的端口，如果有的话选择其他的端口，然后点击连接按钮和识别按钮。另外可以检查一下是否有其他软件占用了控制台连接的这个端口，是否打开了两个 NAssistant 页面，如果打开了两个可以全都关闭然后重新打开软件。

2. 无人车顶部预留了两处用于安装 LTS 标签的位置，LTS 标签出厂默认安装在无人车中心位置，如果因为周围 AOA 基站和 IMU 的阻挡导致定位效果不好，可以考虑将 LTS 标签安装在车体后部的安装位置上。另外如果无人车放在地面时外置 IMU 模块中的磁力计受影响实在太以至于影响目标点移动功能，可以考虑在原来的安装高度基础上继续架高 IMU 模块来减少地面对 IMU 模块中的磁力计的影响。

3. 无人车通过 LT 定位系统实现的是相对定位，通过 LT 系统得到的坐标与实际的坐标（真值）之间有一定的偏差，另外第三阶段平移收敛阶段例程中（以最新的例程更新描述为准）是通过判断当前 x、y 坐标和目标点 x、y 坐标的差值小于一定值时立即让无人车停下来，所以由于无人车电机惯性以及 LT 定位系统坐标波动的特性，最终停下来的位置可能与目标点坐标有一定的稳态误差。用户可以参考角度跟随的 PID 算法代码来对其进行持续控制减小稳态误差，也可以尝试在最后收敛阶段对无人车获得的标签坐标信息进行滤波来减小稳态误差。

4. 由于避障应用中的障碍物可能会遮挡 LTS 标签到基站的连线从而可能使得定位效果变差，当前版本（以官网下载的最新例程为准）例程还没有在定位模式中添加避障功能，在以后的例程版本更新中可能会添加避障功能，用户也可以参考避障模式中的避障函数来实现定位模式下的避障功能。

5. LTS 出厂时已经配置好了角色、ID 等参数，如果用户在使用过程中更改了参数，或者希望使用其他的 LTS/LTP 模块来搭建系统，可以参考官网（<https://www.nooploop.com/download/>）的 LinkTrack 用户手册按照以下参数进行配置，如果模块的固件版本低于 4.0.1，需要将所有模块的固件升级到 4.0.1 或者以上版本。



图 14: LTS 控制台配置



图 15: LTS 基站配置

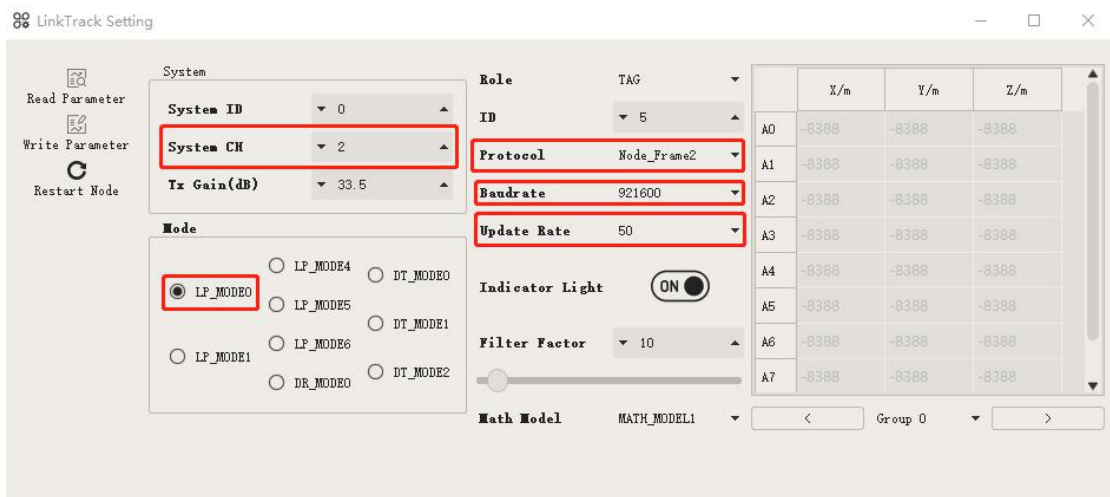


图 16: LTS 标签配置

8 Introduction Of Demo Process|例程思路简介

8.1 Recommend Learning Approaches|推荐学习途径

AutoRobo A 是一款开源的无人车产品，主控芯片采用 STM32H750VBT6，采用 ST 意法半导体公司推出的 STM32CubeMX 和 STM32CubeIDE 软件工具使用 HAL 库进行开发。

对于之前接触过 STM32 或其他类型单片机开发有一定嵌入式开发经验的用户来说，只需要简单了解一下上述两款开发工具的使用方法以及 HAL 库编程与标准库编程的区别（如果之前没有接触过 LinkTrack、LinkTrack AOA 和 TOFSense 产品，可以前往官网下载相关产品的资料），就可以很快地掌握 AutoRobo A 的开发方法，在原来例程上进行功能拓展等来实现应用需求。

对于之前没有接触过 STM32 等单片机的用户来说，可以通过以下途径来进行学习：

1. ST 官网下载的 STM32H750VB 数据手册和参考手册；
2. C 语言编程相关参考书籍；
3. STM32/STM8 中文社区论坛；
4. CSDN、博客园等开发者社区；
5. 一些开源电子论坛如正点原子、野火等，及其推出的 STM32H750 开发板的开发指南或视频教程；
6. 其他 STM32 相关的学习途径。

8.2 Program Framework|程序框架

为了方便用户更好地理解 AutoRobo A 附带的开源例程，对于例程的总体程序框架作一个简单的介绍，用户可以结合程序框架参考例程中详细的程序注释来理解例程。由于手册更新不一定特别及时，例程的相关功能更改可以参考版本更新描述以及程序中的相关注释。

例程使用 STM32CubeMX 工具配置 STM32H750VBT6 的时钟树和生成外设驱动的相关代码，在 main.c 的主函数中，程序先执行 STM32CubeMX 生成的 HAL 库初始化函数、时钟树配置函数和外设初始化函数，然后执行用户初始化函数（PID 参数初始化、RGB 灯条初始化、ADC 初始化、使能 PWM 输出、开启 DMA 传输与串口空闲中断等等），按照图中所示步骤运行并进入主循环。在主循环中先调用 PS2 读取函数，然后依次判断 AOA、TOFSense、LinkTrack、外置 9 轴 IMU 的 DMA 接收一帧数据标志位，如果标志位为 1 则执行对应的应用函数。然后执行 RGB 灯条控制函数、电池低压蜂鸣器报警函数以及其他应用函数，最后重新开始循环。

然后在 stm32h7xx_it.c 文件中，存放了各种中断的服务函数（HAL 库标准的写法是把代码放在各个中断对应的中断回调函数中，例程中为了方便用户观看，统一直接放在了对应的中断服务函数中，两种方式实现的效果基本一样）。在各个中断服务函数中，比较重要的是系统滴答定时器中断服务函数，例程中系统滴答定时器使用默认配置，1ms 中断一次。在滴答定时器服务函数中，主要借助各种功能的计数变量和标志位来实现 ms 级的延时和计时，同时处理一些耗时较短的功能代码，而耗时较长的代码，通过判断标志位的方式，在主函数的主循环中相对应的应用函数内进行处理。

而 ADC 采样电池分压电路的电压并完成转换后，触发中断并在中断服务函数中计算电池电压值。若 KEY1 功能按键被按下，触发外部中断，在中断服务函数中进行模式转换等功能代码的处理。

然后是跟 LinkTrack 系列产品密切相关的串口空闲中断的处理。例程采用 STM32 的 DMA 加串口空闲中断来实现变长协议的接收以及减少对 CPU 的占用。在主函数的用户初始化函数中已经开启了 DMA 传输和串口空闲中断，当接收到外部设备通过串口发来的一帧数据后（DMA 同时将串口寄存器中的数据传输到内存中），触发串口空闲中断，在串口中断服务函数中先关闭

DMA 接收，将相应的 DMA 接收一帧数据标志位置 1 并计算接收到的数据长度，再开启 DMA 接收准备接收下一帧数据。

其他传感器或模块的驱动和应用代码，可以参考 Drivers-HARDWARE 目录下对应的.c 和.h 文件中的代码注释进行理解。

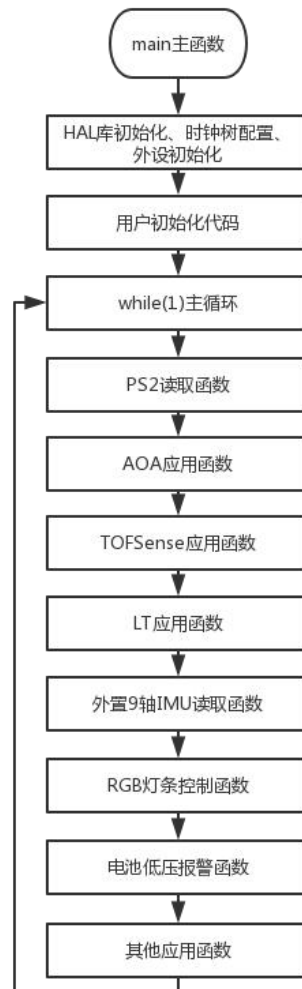


图 17: 主函数流程图

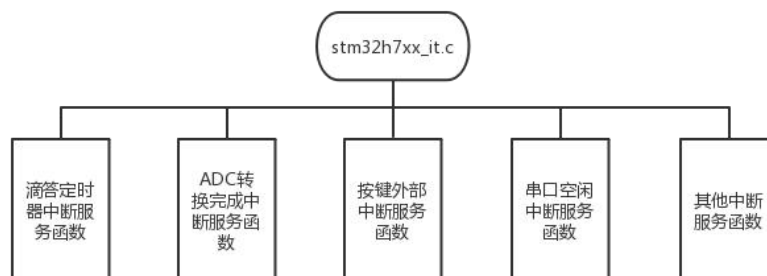


图 18: stm32h7xx_it.c 结构图

9 Maintenance, Precautions Of Product | 产品保养注意事项

9.1 Precautions Of Battery | 电池使用注意事项

由于 AutoRobo A 采用了高品质的 2S 航模锂电池进行供电，在电池的使用保管过程中需要注意以下事项：

1. 电池收到货之后。充满电才能使用，**请不要过充。**（过充、过放概不售后。）
2. 电池进行充电时，应该先断开与主控板的连接。
3. **请勿过放。**电池放电过程中，电池建议以每片电芯电压 3.6V-3.7V 为准，当单片电压到 3.6V-3.7V 时，请立即停止使用，充满电再使用。例程中包含了电池电压检测和蜂鸣器报警的功能，**当电池电压低于 7.4V 左右时（以例程为准），蜂鸣器会报警，此时应该立即停止使用**，另外当电池和 ST-LINK 同时供电和调试时可能会导致蜂鸣器响，此时拔掉 ST-LINK 上的 3.3V 供电线，只使用电池供电即可。
4. 请使用配套的或者其他专业的锂电池平衡充进行充电（必须插平衡插头的充电器）。请勿使用其他种类的充电器充电，请使用 LIPO 专用的充电器（建议最大充电电流 1C，比如 1500MAH，最大就用 1.5A 电流充电），**请勿在无人的时候充电。**
5. 请在充电和使用前先检查电池电压是否正常，检查正常之后再充电或者使用。
6. **请勿过充**（每片电压不超过 4.25V。）请勿在无人的情况下充电。
7. 如在使用过程中电池有发热、鼓包等现象，请停止使用。电池不要短路、刺穿或者碰撞，有可能导致损坏甚至爆炸。
8. 请将电池放在儿童够不到的地方，请勿私自拆装电池，容易造成短路等危险情况。
9. **电池避免长期放置不用。**（长期不用，应该断开电池与主控板的连接，并每月对电池检测电压，存放时，单片电池电压应保持在 3.8-3.9V 之间，不能满电存放。）

充电器使用注意事项：

10. 请不要在无人的时候，或者睡觉的时候充电。
11. 充电的时候充电器会发热，周围不要有易燃，易爆物品。
12. 请选择符合电池类型的模式充电，不要使用电源适配器直接对电池充电。
13. 充电过程中电池发热，鼓包，有异味，请停止充电（这个电池就报废了）。
14. 充电完成之后，请测试电池电压，确认电池是充满的。

★郑重声明：您已阅读锂电池及充电器安全事项（包括但不限于以上几条），并且同意承担由于自行操作不当所产生的后果。

9.2 Safe Operation Guide | 安全操作指引

用户在使用 AutoRobo A 无人车的过程中，需要遵循安全操作指引进行操作，否则可能会导致财产损失和人身伤害。

1. 用户需要具有基本的动手能力以及安全常识，并且小心地使用产品。
2. 由于 AutoRobo A 无人车含有较小的配件，用户必须将无人车放置在儿童、宠物接触不到的地方，防止出现误食、窒息以及其他伤害。
3. 用户在使用无人车之前，需要确认无人车各处螺丝安装牢固，避免无人车在剧烈运动过程中因为螺丝松动导致组件脱落以及运动异常。
4. 用户使用无人车之前，需要确认所有传感器接线都牢固地连接到了主控板上，所有部件都正常工作。
5. 用户应该尽量避免在人员较多的场所使用无人车，防止无人车对人员造成伤害。禁止在道路等车辆可能会经过的地方和其他可能容易引起危险的场所使用无人车。

6. AutoRobo A 无人车的防水防尘等级较低，用户需要避免在有水的地面使用无人车。使用过程中，需要避免水滴泼溅以及细小金属等导电物体接触无人车主控板等电子元件防止短路。
7. 用户在使用无人车过程中，需要随时注意高速移动的无人车、高速旋转的麦克纳姆轮以及其他车体结构件，避免对自身或他人的人身财产安全造成危害。
8. 电池的使用和充电注意事项可以参考上一节的电池使用注意事项，电池废弃后，需要遵循当地电池回收、废置的法律法规来进行处置。

10 FAQ|常见问题解答

本文档的 FAQ 主要针对 AutoRobo A 无人车的使用给出建议，关于 AOA、LTS 和 TOFSense 的详细 FAQ 可以参考官网下载的对应产品的用户手册。

Q1. 室外可以使用吗？与在室内功能有什么区别？

AOA 和 LinkTrack 模块与室内使用方式、效果等无明显区别，但是如果自然光较为强烈，可能会对 TOFSense 测距避障功能产生一定的影响，如果使用到了避障功能，用户可以自行评估室外应用能否满足需求。

Q2. 通过 NAssistant 无法识别 AOA、LTS 和 TOFSense 产品？

- 先检查 NAssistant 菜单栏  能否找到串口，若没有串口则检查数据线是否存在问题，是否安装了对应的 USB 转串口驱动（官方标配 CP2102 的 USB 转 TTL 模块，可以前往 <https://www.nooploop.com/download/> 下载）。
- 若有串口，请点击  检查是否存在多个串口，选择产品对应的串口然后点击  连接按钮。
- ID 重复、配置错误导致干扰原因。其他所有在工作的模块断电以后，重新给待识别的模块上电并进行识别。

Q3. 一定要在终端运行 NAssistant 系统才能正常工作吗？

不需要。所有组网、定位解算均在模块中完成，NAssistant 主要负责监测、显示、配置功能。

Q4. 主控板上引出的接口线序是什么，接口电源引脚电压是多少？

线序和电源引脚电压可以参考主控板 PCB 上的丝印以及原理图。

Q5. 主控板上使用的 AOA、TOFSense 等模块的接口端子型号是什么？

主控板上使用的是 GH1.25 的端子。如果需要使用主控板上的串口扩展连接其它传感器，可以自行购买 GH1.25 转其他端子的转接线。线序、供电电压等请参考原理图和 PCB 丝印。

Q6. 想使用其它的 IDE 来进行开发怎么办？

例程默认使用的是 STM32CubeIDE 来进行开发。如果用户希望使用其它类型的 IDE 来进行学习开发，可以参考网上相关教程，借助例程里的 STM32CubeMX 工程文件来生成其它 IDE 的工程文件和 HAL 库驱动代码，并移植相关用户代码。

Q7. 为什么在连接 ST-LINK 进行调试的时候蜂鸣器会响？

当电池和 ST-LINK 同时给主控板供电的时候，蜂鸣器可能会响，解决方法为拔掉 ST-LINK 上的 3.3V 供电线，只使用电池给主控板供电。

Q8. 默认的 PS2 遥控距离较短不够用怎么办？

主控板上预留了 S_BUS 接口，用户可以使用支持 S_BUS 的遥控器并且参考网上相关接收机的驱动例程代码自行编写驱动进行扩展。

Q9. PS2 遥控控制不了无人车怎么办？

首先确认用户有没有更改例程相关的程序代码，如果更改了可以先重新编译和下载官网例程到主控板。

然后确认无人车的底部 RGB 灯光效果为绿灯依次点亮模式，接收机完全且方向正确地插入了主控板上的接收机插槽。

然后确认遥控与无人车处于有效范围内，遥控正确安装了 2 节 7 号电池，遥控的电源开关已经打开，按下模式切换按键，若此时拨动左摇杆还是不能控制无人车，按下 START 按键退出休眠模式，再按下模式切换按键进入红灯模式一般即可操控无人车。

Q10. 跟随模式中，当 AOA 标签和 AOA 基站不在同一水平面时角度跟随有一定的稳态误差？

当 AOA 标签和 AOA 基站不在同一水平面时，AOA 测量的是标签和基站之间的空间角，与平面角有一定的偏差，此外为了减小电机抖动，AOA 角度跟随设置了死区，所以可能会导致一定的稳态误差，一般来说不会太影响跟随效果。

Q11. 定位模式中的 LTS 套装可以使用其它 Nooploop 的定位套装例如 LTP 套装来替代吗？

可以。但是要注意 LTP 的参数需要按照手册中定位模式章节的注意事项中的参数来进行配置，LTP 由于要安装天线可以安装在无人车顶板上靠后的安装位置。

Q12. 为什么编译例程时出现“...No rule to make target...”的报错？

例程所在的文件目录中不能出现中文，如果存在中文，需要去掉中文或者把例程文件夹复制到不包含中文的路径下。

Q13. 如果有一些功能希望 Nooploop 空循环团队在以后的固件中开发出来，如何反馈给研发团队？

请向“dev@nooploop.com”发送邮件。

11 Abbreviation and Acronyms | 简写与首字母缩略

表 2: 简写与首字母缩略

Abbreviation	Full Title	中文
UWB	Ultra Wideband	超宽带
AOA	Angle of Arrive	到达角度
TOF	Time of Flight	飞行时间
IDE	Integrated Development Environment	集成开发环境
SWD	Serial Wire Debug	串行总线调试
RGB	Red,Green,Blue	红绿蓝
IMU	Inertial Measurement Unit	惯性测量单元
LP	Local Positioning	局部定位
PID	Proportion,Integration,Differentiation	比例积分微分
HAL	Hardware Abstraction Layer	硬件抽象层
CSDN	Chinese Software Developer Network	中国软件开发者社区
ADC	Analog to Digital Converter	模拟数字转换器
DMA	Direct Memory Access	直接存储器访问
PWM	Pulse Width Modulation	脉冲宽度调制
CPU	Central Processing Unit	中央处理器

12 Reference|参考

- [1] LinkTrack 数据手册
- [2] LinkTrack 用户手册
- [3] NLink 通信协议手册
- [4] LinkTrack AOA 数据手册
- [5] LinkTrack AOA 用户手册
- [6] TOFSense 数据手册
- [7] TOFSense 用户手册

13 Update Log|更新日志

表 3: 更新日志

Version	Date	Description
1.0	20201127	● 发布初版手册。

14 Further Information|更多信息

公司：深圳空循环科技有限公司

地址：深圳市南山区粤海街道科技园社区科慧路 1 号沛鸿大厦 A2-207

邮箱：marketing@nooploop.com

官网：www.nooploop.com