

室内蓝牙定位系统

逝者如斯夫队 ； 黎彦成； 李佳宇； 王清源； 指导老师 龙晓薇

摘要

本项目开发了一套基于 STM32WB55RG 开发板和蓝牙模块的蓝牙三角定位系统，旨在实现高精度的室内定位服务。通过测量三个蓝牙信标的 RSSI 值（接收信号强度指示），利用三角定位算法，将这些信号强度值转换为相对坐标。系统集成硬件初始化与配置、蓝牙通信、RSSI 值处理、三角定位算法、数据传输与处理以及用户界面等多个模块，提供了一个稳定、实时、高效的室内定位解决方案。

系统架构与主要功能

1.硬件架构

STM32WB55RG 开发板：作为系统的主控制器，负责整体系统的协调与数据处理。

STM32F4 最小系统板：辅助开发板进行必要的硬件扩展。

蓝牙模块：用于与蓝牙信标通信，实时获取 RSSI 值。

蓝牙信标：放置在已知位置，用于发出蓝牙信号。

2.主要功能

硬件初始化与配置：

初始化 STM32WB55RG 开发板、蓝牙模块等硬件组件。

确保所有硬件在启动时正确配置，进入工作状态。

3.蓝牙通信：

通过蓝牙模块检测并连接三个蓝牙信标。

实时监测信标的 RSSI 值，为后续定位提供数据支持。

RSSI 值处理与距离估算：

收集和滤波 RSSI 值，减小噪声，提高测量精度。

利用 RSSI 值与距离的关系公式，准确估算蓝牙模块与信标之间的相对距离。

4.三角定位算法：

采用加权最小二乘法、卡尔曼滤波等优化算法，计算蓝牙模块的相对坐标。

保证定位结果的准确性和稳定性，提供可靠的定位数据。

5.数据传输与处理：

实现高速数据传输协议，将相对坐标数据发送至 STM32WB55RG 开发板。

开发板接收并解析数据，进行实时显示和进一步处理。

6.用户界面：

直接显示坐标位置，并根据算法判断是否在区域内，向主控制器发送通知并实时显示。

第一部分 作品概述

1.1 功能与特性

本项目使用 STM32WB55RG 开发板、STM32 最小系统板以及蓝牙模块，构建了一个蓝牙三角定位系统。该系统通过测量三个蓝牙信标的 RSSI 值，利用算法将这些值转换为相对坐标，最终在 STM32WB55RG 开发板上进行显示和处理。

收集从三个蓝牙信标获取的 RSSI 值。

对 RSSI 值进行滤波和校正，以提高测量精度。

将 RSSI 值转换为相对距离，作为后续三角定位的输入数据。

采用三角测量法，利用获取的相对距离数据，计算出蓝牙模块与各个蓝牙信标之间的相对坐标。

使用算法处理定位数据，确保定位结果的准确性和稳定性。

数据传输与处理：

将计算出的相对坐标数据通过通信接口发送至 STM32WB55RG 开发板。

在 STM32WB55RG 开发板上进行数据接收、解析和显示。

提供实时坐标显示功能，以及其他相关的数据处理和应用功能。

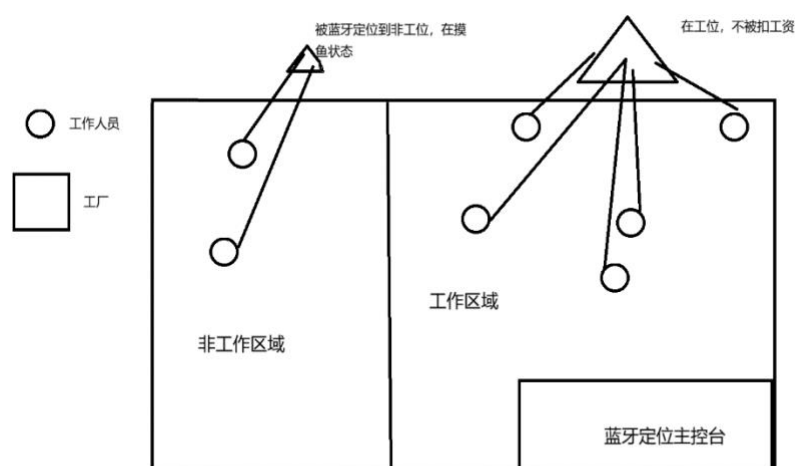


图 查询室内工作人员位置

1.2 应用领域

1.2.1 室内导航与定位：

在商场和购物中心，为顾客提供实时导航服务，帮助其快速找到所需商铺或服务设施。在博物馆和展览馆，为参观者提供位置导航和展品介绍，提升参观体验。在复杂多变的室内环境中，它如同指南针，指引人们迅速准确地找到目的地，无论是商店、办公室还是紧急出口。这不仅提高了个人和团队的效率，还极大地提升了用户体验，减少了因迷路带来的不便和焦虑。同时，对于建筑管理者而言，室内导航数据有助于优化空间布局，提升运营效率。通过收集和分析用户的导航数据，管理者可以深入了解建筑内部的人流分布和流动规律，从而优化空间布局、调整资源配置，进一步提升建筑的使用效率和舒适度。此外，室内导航系统还可以与建筑内的其他智能系统（如安防、消防等）进行联动，形成一体化的智能管理体系，为建筑的安全和稳定运行提供有力保障。在机场和车站，帮助旅客快速找到登机口、候车室、服务台等重要设施。

1.2.2 资产管理和追踪：

仓库和物流中心：对重要货物和设备进行定位和追踪，提升库存管理效率，防止货物丢失。

工厂和制造业：对生产设备和关键物料进行实时监控和定位，优化生产流程，提高生产效率。通过在贵重设备上安装定位装置，可以实时监控设备的位置和状态。一旦设备出现异常移动或离开预设的安全区域，系统会立即触发警报，通知管理人员或安全人员，从而迅速采取措施防止设备被盗或损坏。这种实时监控功能极大地提高了设备的安全性。对于高价值的设备，如艺术品、珠宝、精密仪器等，一旦丢失将给企业或个人带来巨大损失。通过定位技术，可以迅速定位设备的当前位置，有助于快速找回设备，减少损失。



图 查询并保护博物馆馆藏物品位置

1.2.3 人员定位和安全管理：

养老院和医院：实时监控老年人或病人的位置，确保其安全，并在紧急情况下快速定位和救援。人员定位系统可以帮助监测患者的位置和健康状况。对于患有慢性病或需要经常监测身体状况的病人，医生可以使用这项技术来确保他们按时服药或接受治疗，提高医疗服务的效率和质量。

学校和幼儿园：对学生和幼儿的位置进行监控，保障其安全。

大型活动和会展：对参展人员和重要嘉宾的位置进行实时追踪，提升活动的组织和安全管理水平。此外，人员定位系统可以实时获取人员的位置信息，并设置安全区域和禁止区域。一旦人员进入或离开指定区域，系统将自动发出告警，提醒相关人员注意，从而有效防止安全事故的发生。这对于在危险区域工作或独自工作的人员尤为重要，如工人、消防员、警察等。人员定位系统可以为消费者提供个性化服务。例如，在旅游景点或购物中心，基于位置的服务可以提供相关的信息和优惠，提升用户体验。

1.3 主要技术特点

RSSI 测量与处理：

距离估算：RSSI（Received Signal Strength Indication，接收的信号强度指示）是无线发送层的一个部分，用于判定链接质量以及是否增大广播发送强度。它通过接收到的信号强弱来测定信号点与接收点之间的距离，进而根据相应数据进行定位计算。根据 RSSI 值与距离的关

系，准确估算蓝牙模块与信标之间的相对距离。接收机测量电路接收到信号后，会进行一系列处理以获取信号的强度。在 RSSI 的具体实现中，通常在 104 微秒内进行基带 IQ 功率积分，得到 RSSI 的瞬时值（即 $RSSI(瞬时) = \sum(I^2 + Q^2)$ ）。然后，在约 1 秒内对 8192 个 RSSI 的瞬时值进行平均，得到 RSSI 的平均值（即 $RSSI(平均) = \sum(RSSI(瞬时))/8192$ ）。同时，还会给出 1 秒内 RSSI 瞬时值的最大值和 RSSI 瞬时值大于某一门限的比率。

三角定位算法：

多点定位：利用三角测量法，通过三个已知信标的位置和蓝牙模块测得的距离，计算出蓝牙模块的相对坐标。在室内环境中，由于 GPS 信号无法穿透建筑物，因此需要其他定位技术。三角定位算法可以与蓝牙等技术结合，通过测量信号强度或传输时间等参数来确定目标在室内空间中的位置。由于三角定位算法需要至少两个观测站才能确定目标的位置，且观测站之间的相对位置对定位精度有较大影响，当测量数据存在误差或观测站位置不准确时，定位结果可能会出现偏差，在复杂环境中，如多径效应严重的室内环境或信号遮挡严重的区域，三角定位算法的精度可能会受到影响。所以我们在其中对部分参数实时测试并调整参数。

算法优化：采用多种优化算法，提高定位精度和稳定性。

实时数据传输与处理：

高速通信接口：使用高效的数据传输协议，实现实时、可靠的数据传输。

实时处理与显示：STM32WB55RG 开发板实时接收并处理定位数据，提供快速的坐标更新和显示。使用 IIC 协议的 OLED 模块显示数据。IIC(Inter-Integrated Circuit)总线是一种两线式串行总线，用于连接微控制器以及其他外围设备。它是由数据线 SDA 和时钟 SCL 构成的串行总线，可发送和接收数据，在 CPU 与被控 IC 之间、IC 与 IC 之间进行双向传送。

模块化设计：

硬件模块化：蓝牙模块、STM32 最小系统板和 STM32WB55RG 开发板等组件模块化设计，方便维护和升级。

软件模块化：软件架构采用模块化设计，便于功能扩展和代码重用。

低功耗设计：

节能算法：采用低功耗算法和机制，延长设备的电池寿命。

硬件优化：选用低功耗蓝牙模块和 STM32 系列微控制器，降低整体功耗。

1.4 主要性能指标

RF-BM-BG22A3 蓝牙主机性能指标	工作电压： 2.2 V ~ 3.8 V	工作频段： 2402 MHz ~ 2480 MHz	最大发生功率+6dB	睡眠模式： 3.23 μ A。 (5V 供电)	连接模式： 100 ms 连接间隔电流 34.68 μ A
Stm32wb55rg	工作电压： 2.2 V ~ 3.8 V	工作频段： 2402 MHz ~ 2480 MHz	1.25DMIPS/ MHz	睡眠模式 46 μ A	运行模式 107 μ A

RF-B-SRI 信标	供电电压 1.71V~3.8V	平均功耗： 15.46μA	广播间隔 500ms		
-------------	--------------------	------------------	---------------	--	--

1.5 主要创新点

1.优化的三角定位算法：

使用多种优化算法，提升系统的定位精度和稳定性。
适应不同环境中的复杂情况，保证定位结果的可靠性。

2.实时数据传输与处理：

高速通信接口，实现数据的实时传输和处理。
快速的坐标更新机制，满足动态环境中的定位需求。

3.模块化设计：

硬件和软件的模块化设计，便于系统的维护、升级和功能扩展。
硬件模块化便于不同应用场景的配置，软件模块化便于代码重用和扩展。

4.低功耗设计：

采用低功耗硬件和节能算法，延长系统的电池寿命。
适合长时间运行的应用场景，降低功耗成本。

1.6 设计流程

1 系统架构设计

硬件架构：首先确定用于室内寻找，于是我们首选低功耗类型的芯片，在 ST 公司中无线产品 STM32WB 系列满足需求又符合大赛要求，于是成为了首选，NUCLEO-WB55RG 和 NUCLEO-WB15CC STM32WB Nucleo-64 板属于 Bluetooth®低功耗 (BLE) 无线超低功耗器件，内嵌有功能强大的符合 Bluetooth®低功耗 (BLE) SIG 5.2 规范的超低功耗无线电模块。确定使用的硬件组件，包括 STM32WB55RG 开发板、STM32 最小系统板、蓝牙模块和蓝牙信标。

软件架构：设计软件模块，包括硬件驱动、通信协议、数据处理和用户界面等。

2. 硬件选型与设计

组件选择：首先我们确定好主控为 STM32WB55RG，那么我们需要一个既便宜又符合大赛要求的最小系统板来作为从设备连接蓝牙模块和信标，之后在货比三家后选择有保障的蓝牙模块和信标，确保各组件的兼容性和性能满足需求。

硬件连接：设计硬件连接方案，确保各模块之间的稳定通信和数据传输。

3. 软件开发

硬件初始化与配置：编写代码初始化 STM32WB55RG 开发板、蓝牙模块等硬件组件。

蓝牙通信：实现蓝牙模块与信标的连接与通信，获取 RSSI 值。

RSSI 处理与距离估算：编写滤波算法和距离估算算法，提高测量精度。

三角定位算法：实现三角定位算法，计算蓝牙模块的相对坐标。

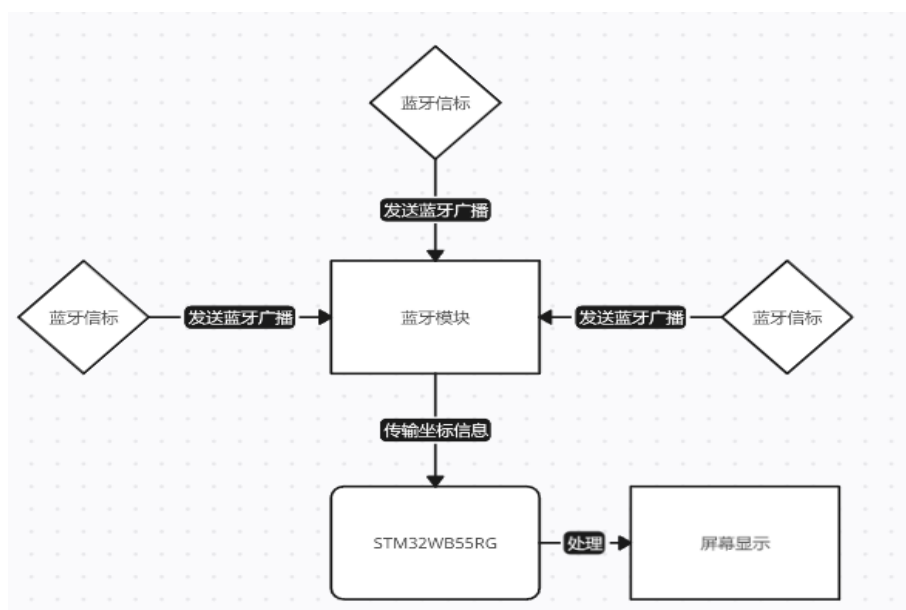
数据传输与处理：实现数据传输协议，接收并处理定位数据。

用户界面：设计用户界面，提供直观的坐标显示和操作界面。

第二部分 系统组成及功能说明

2.1 整体介绍

给出系统整体框图，各子模块标注清楚，并进行整体的文字说明，需要表达出各模块之间的关系。



蓝牙信标：发出稳定频率的广播信号

蓝牙模块：接收蓝牙信标的广播信号并计算出 rssi 数值处理后得出坐标的数值

主控板（stm32wb55rg）：处理坐标信息，驱动屏幕显示坐标相关信息

2.2 硬件系统介绍

2.2.1 硬件整体介绍；

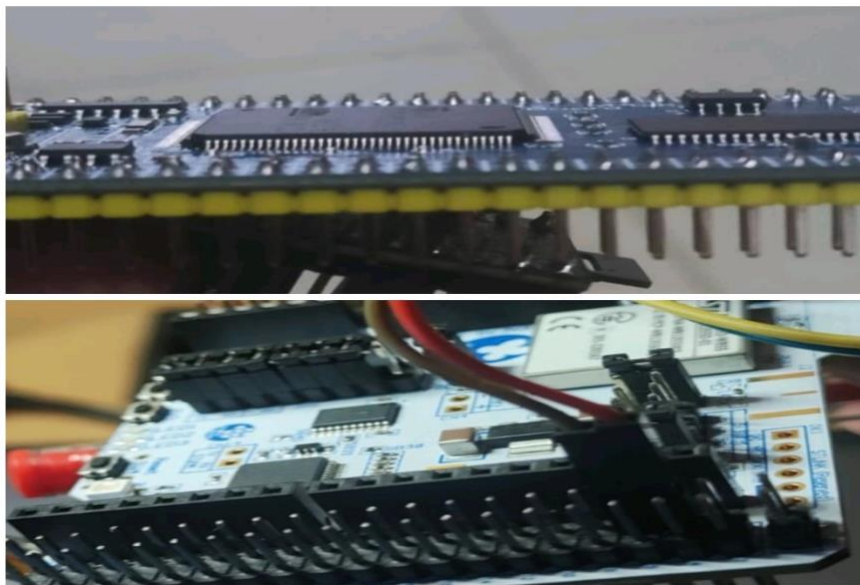


图 硬件总体布局

首先是蓝牙信标组网，形成一个三角形范围，对周围不断辐射数据，对周围的空间进行发射数据，为了避免密集情况，我们特别选出教室作为模拟场所，便于收发。蓝牙模块连接从设备 STM32F4，开始接收周围辐射的数据，并选择是否收发给其他设备。之后主设备 STM32WB55RG 上电，根据蓝牙协议栈向从设备 STM32F4 发送请求，开始接收数据，由现场测出的可接收范围划出工作区域，设定指标。

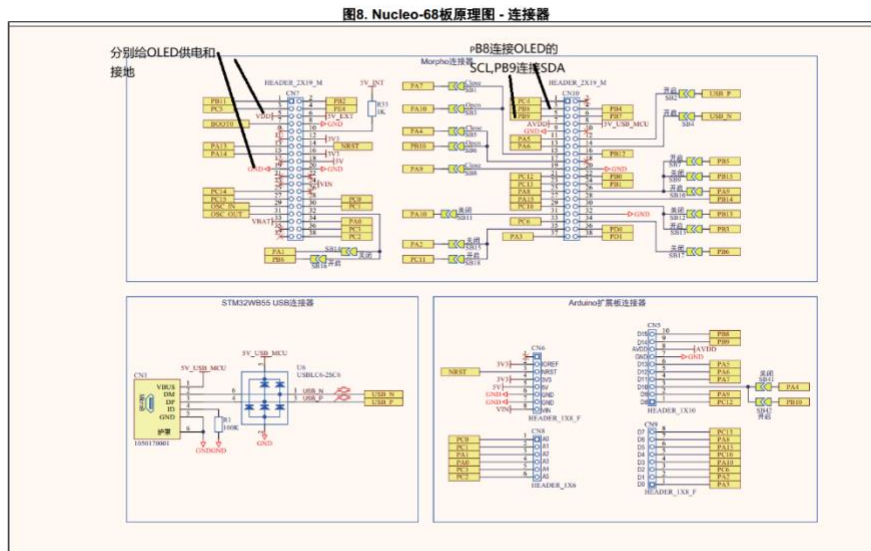
2.2.2 电路各模块介绍

主设备模块：STM32WB55RG 连接 OLED

STM32WB55RG:

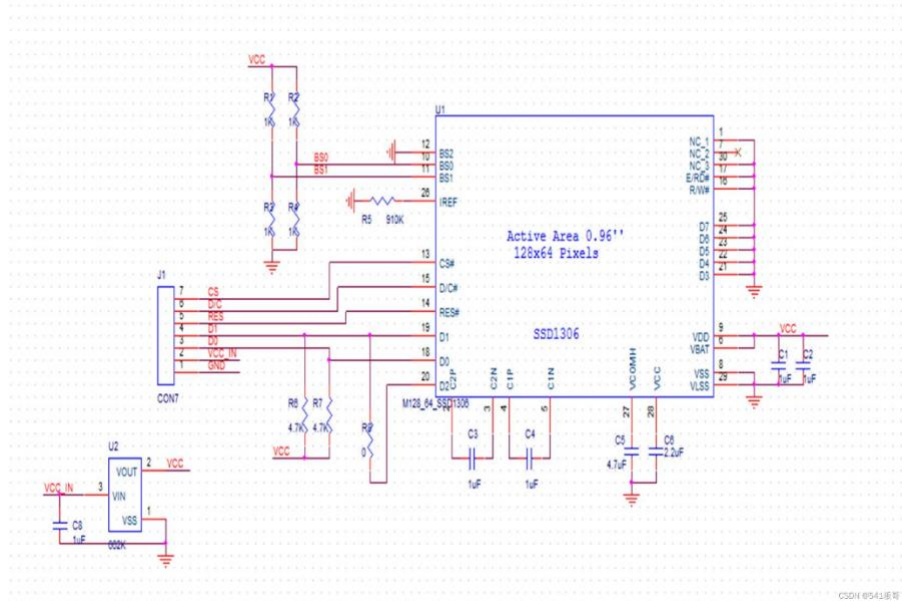
采用 VFQFP68 封装的 STM32WB 微控制器 1.2.4 GHz RF 收发器，支持 Bluetooth®规范 v5.0 和 IEEE 802.15.4-2011 PHY 与 MAC2.专用的 Arm® 32 位 Cortex® M0+ CPU 用于实时无线层 3.SMPS 显著降低了运行模式下的功耗 4.与 Arduino™共享的三个用户 LED5.四个按钮 6.32.768 KHz LSE 晶体振荡器 7.32 MHz 晶体振荡器配集成式微调电容器 8.板扩展连接器：Arduino™ Uno V3 和 ST Morpho9.灵活的板用电源：ST-LINK/V2-1 USB VBUS 和外部电源 10.具有 USB 重新枚举功能的板上 ST-LINK/V2-1 调试器/编程器：大容量存储器、虚拟 COM 端口和调试端口 11.

作为 STM32Cube 软件包的一部分，提供全面的免费软件库和示 12.提供了全面的免费软件库和例程，可从 STM32Cube 软件包获得 13.支持多种集成开发环境（IDE），包括 IAR™、Keil®、基于 GCC 的 IDE、Arm® Mbed™。



0.96 寸 OLED

OLED 采用有机材料涂层和玻璃基板，当有电流通过时有机材料就会发光，所以 OLED 具有自发光特性，不需要背光源。显示区域是 128X64 的点阵（分辨率 128*64），每个点都可以自己独立发光，所以不需要背光，可以显示汉字、ASCII 码、图案等，支持多种接口方式，OLED 裸屏接口包括：6800/8080 两种并行接口方式、3 线或 4 线的方式，我们用 IIC 接口方式（只需要 2 根线就可以控制 OLED）



从设备模块：STM32F4 连接 RF-BM-BG22A3

STM32F4 开发板便宜，且在 F 系列中比赛能用。这是 USB 串口同 APM32F407ZGT6 的串口 1 进行连接的接口，标号 RX 和 TX 是 USB 转串口的 2 个数据口（对 CH340 来说），而 PA9(TXD)和 PA10(RXD)则是 APM32 的串口 1 的两个数据口（复用功能下）。他们通过跳线帽对接，就可以连接在一起了，从而实现 APM32 的程序下载以及串口通信。

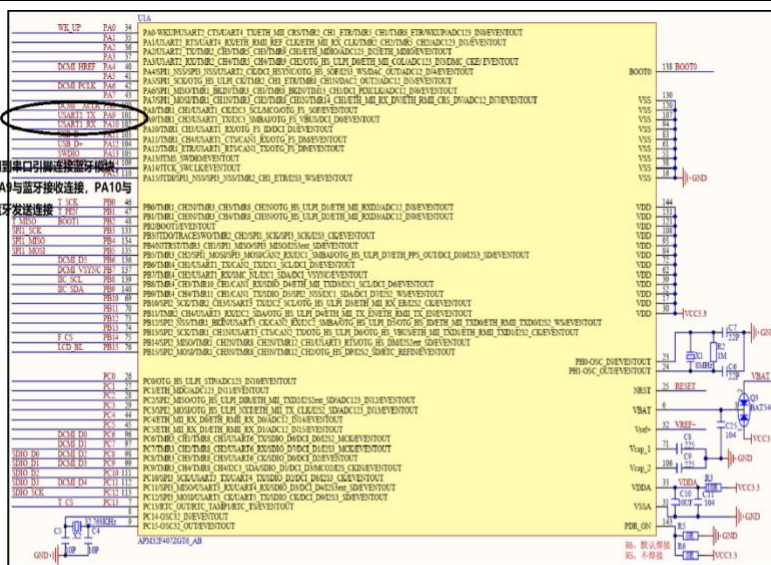
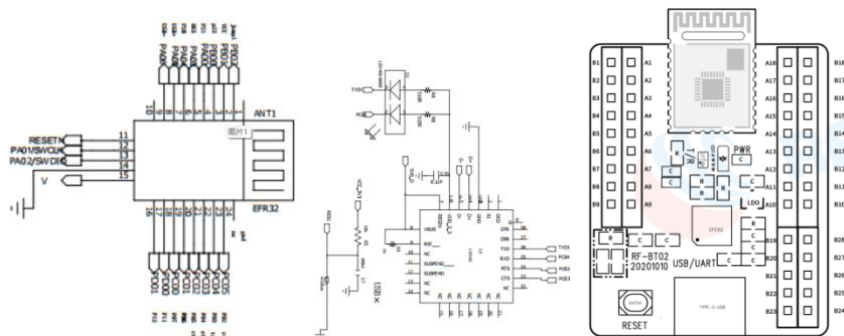


图 2.1.1.1-1 MCU 部分原理图 (A)

RF-BM-BG22A3:



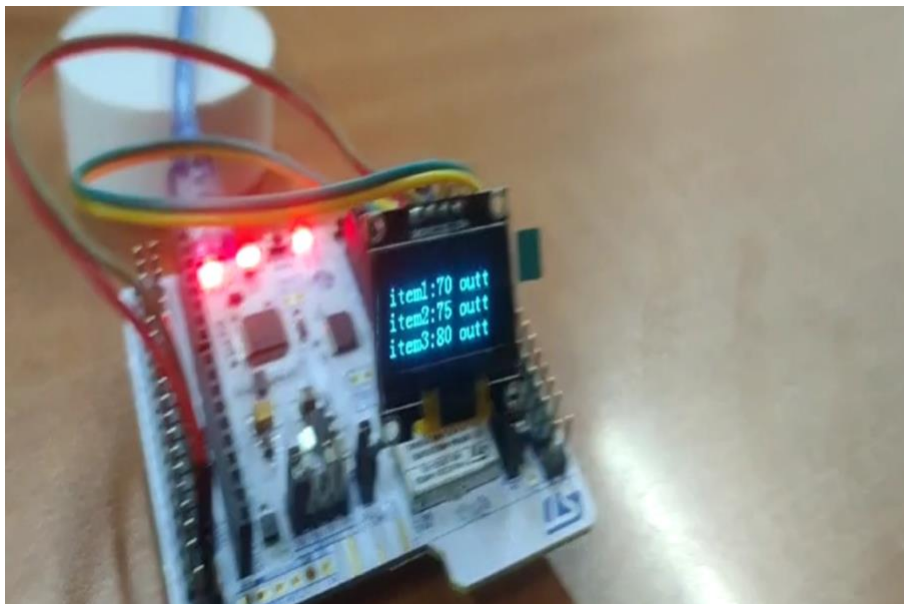
EFR32BG22 低功耗蓝牙模组是采用 SILICON LABS 芯片 EFR32BG22C224F512GM32-C 设计的远距离低功耗蓝牙模块，输出功率 Max 为 6 dBm，接收灵敏度 -106.7 dBm (125kbps GFSK)，该模块采用 SILICON LABS 稳定的参考设计而改进，支持 Bluetooth 5.2。模块采用 IPEX 1 代外接天线座模式。**EFR32BG22 低功耗蓝牙模组**具有优秀的超低功耗性能，4.1 mA 发射电流@0dbm 输出功率，3.6 mA 接收电流 (1Mbit/S GFSK)。使用购买的 RF-BM-BG22A3 模块串口与 mcu 相连接，主要引脚 A7 模块 TX 引脚，A8 模块 RX 引脚，A5 模块 reset 引脚。

2.3 软件系统介绍

2.3.1 软件整体介绍

项目采用 stm32f407 控制 RF-BM-BG22A3 获取 RSSi 值，结合 rssi 算法得到模糊定位，将数据通过蓝牙互传的方式发送给 stm32wb55rg，stm32wb55rg 通

过小屏幕显示 rssi 值，通过比较设置的阈值，得到定位信息做出标签是否存在的判断。



2.3.2 软件各模块介绍

蓝牙主机模块：采用 RF-BM-BG22A3 和 stm32f407 作为蓝牙信标（蓝牙主机）。RF-BM-BG22A3 串口和 stm32f407 串口相连接，stm32f407 通过发送 AT 指令让 RF-BM-BG22A3 模块完成：获取 rssi→打开自定义 UUID→连接从设备→发送坐标数据的功能。

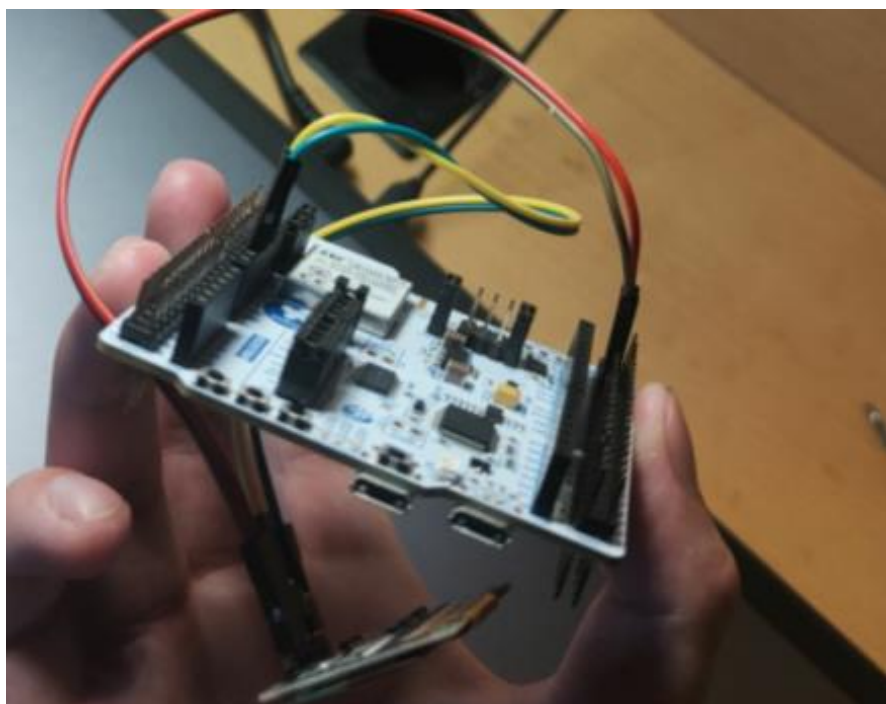
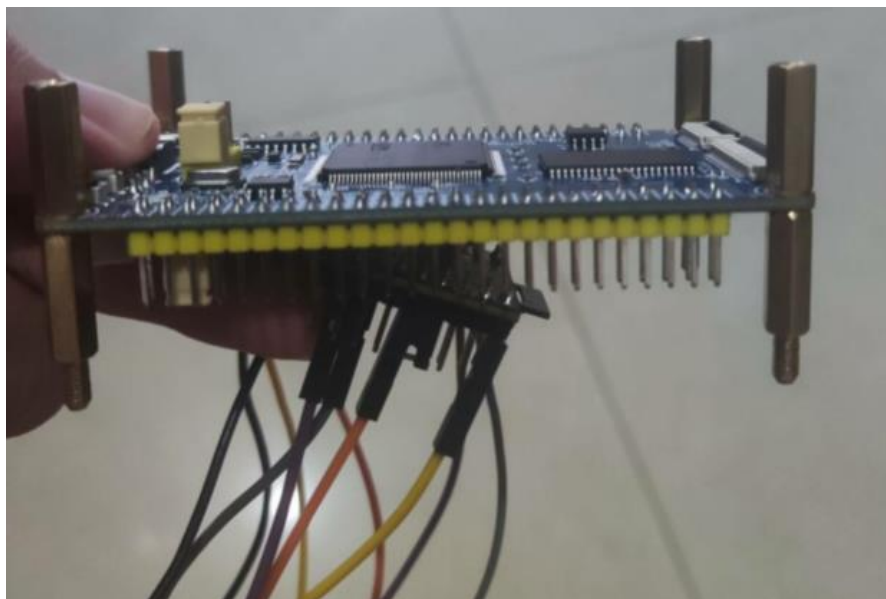
蓝牙从机模块：采用 stm32wb55rg 当蓝牙从机接收蓝牙主机发送的数据，根据得到的数据，计算出蓝牙主机存在性定位，并作出判断。

第三部分 完成情况及性能参数

阐述最终实现的成果

3.1 整体介绍

整体任务是 stm32wb55rg 组成的主控板接收 stm32f407 控制的 RF-BM-BG22A3 模块发送的 rssi 值来检测信标是否在规定范围内



3.2 工程成果（分硬件实物、软件界面等设计结果）

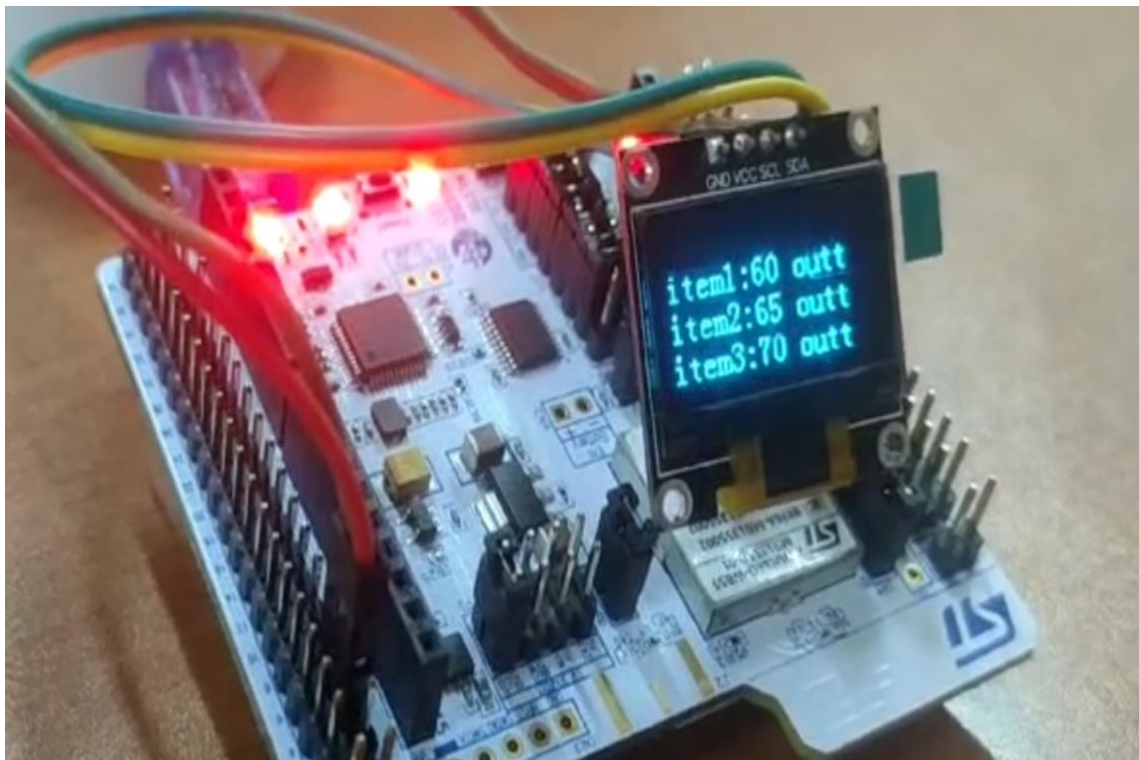
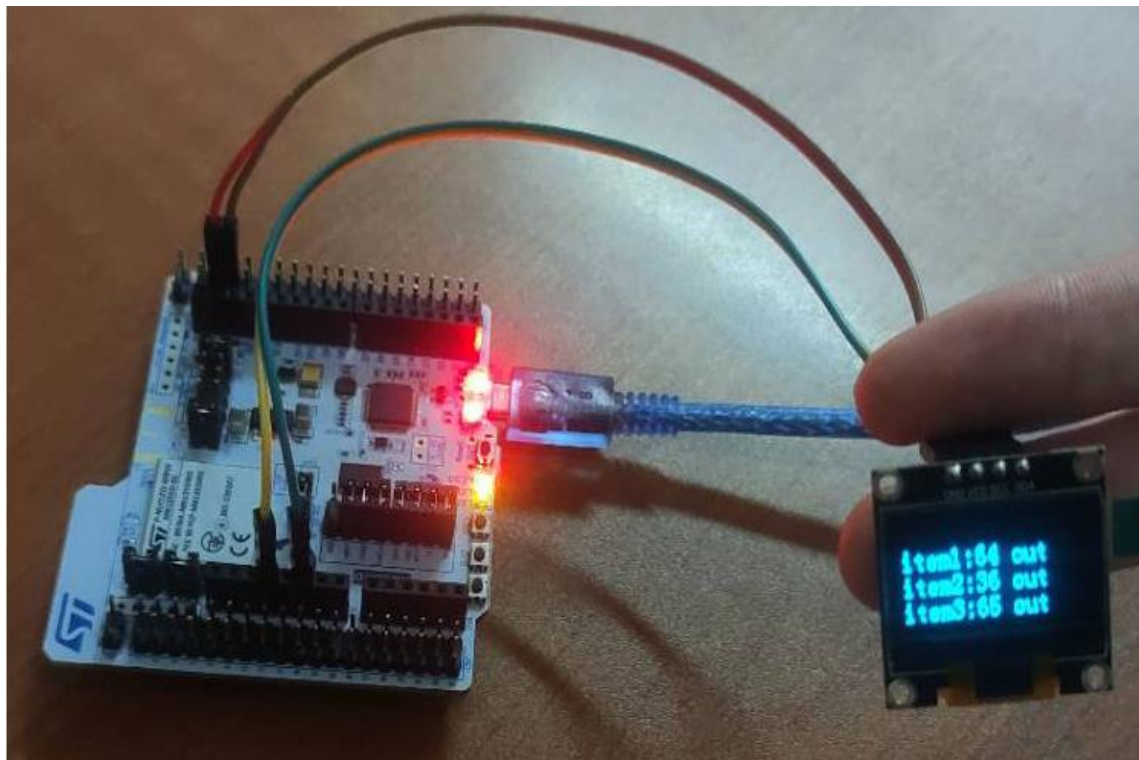
3.2.1 机械成果；无。

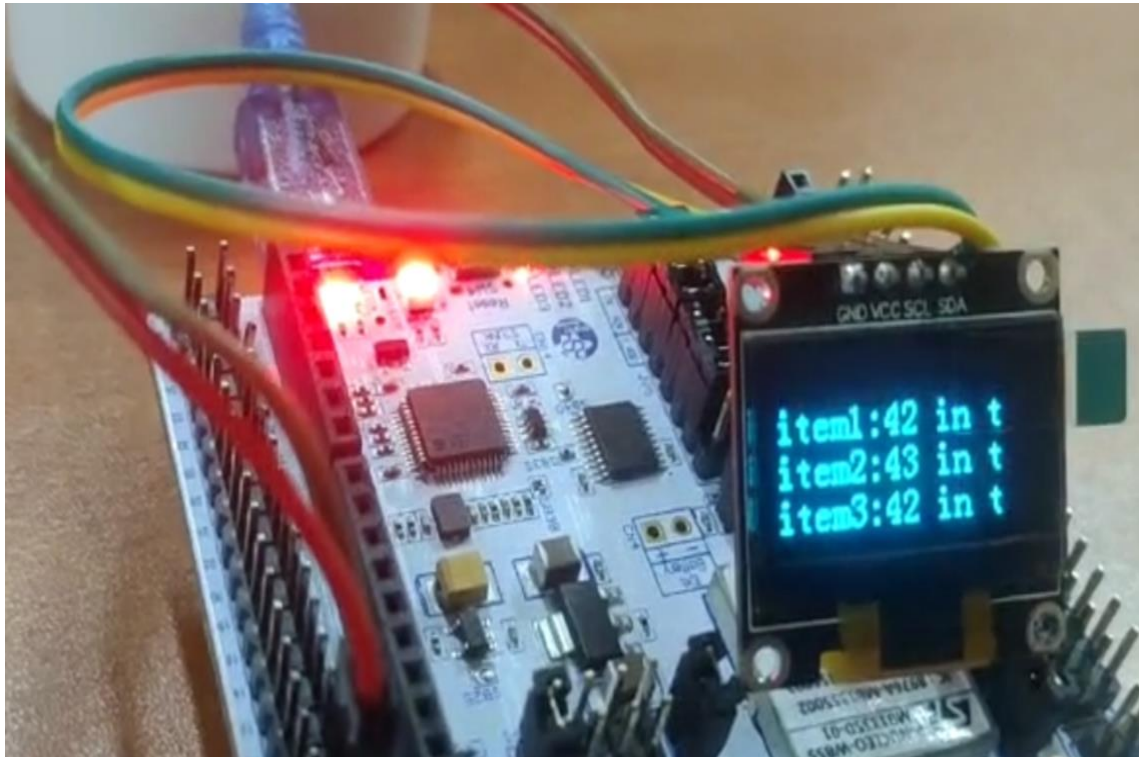
3.2.2 电路成果；无。

3.2.3 软件成果；

模拟场景：当前工作人员不在工厂工位，工厂老板通过蓝牙定位发现摸鱼员工，于是空过蓝牙定位提醒不在工位的员工，于是员工从距离工位（3个蓝牙信标）很远的地方，数值（70，75，80）；跑到距离工位一半工厂大的地点，发现蓝牙定位仍不在工位范围内，数值（60，65，70）；于是继续跑步，到工位很近的地方，但仍然不在工位范围内，数值（64，36，65）；直到他跑到工位，数值（42，43，42），于是放弃摸鱼，只好继续工作。以下为检测到的数据。







3.3 特性成果（逐个展示功能、性能参数等量化指标）

比较是否在工厂工位上的指标

```

item1=(recv_data[0]-'0')*10+recv_data[1]-'0';
item2=(recv_data[2]-'0')*10+recv_data[3]-'0';
item3=(recv_data[4]-'0')*10+recv_data[5]-'0';
if(item1<45) sprintf(temp,"item1:%d in ",item1);
else sprintf(temp,"item1:%d out",item1);
OLED_ShowString(3,2,temp,16,0);
if(item1<45) sprintf(temp,"item2:%d in ",item2);
else sprintf(temp,"item2:%d out",item2);
OLED_ShowString(3,4,temp,16,0);
if(item1<45) sprintf(temp,"item3:%d in ",item3);
else sprintf(temp,"item3:%d out",item3);
    
```

比较是否接收了蓝牙信号的指标

/使用方法;将接受到的 RSSI 值计算成半径后存入 ref_d[3]中，设置三角定位三个信标的 X, Y 坐标 ps[3]

//不用去管 RSSI_Point () 的内容,使用一个结构体指针接收 RSSI_Point () 的返回值,解引用即可;

//步骤一：设置三个信标坐标，对应结构体数组值 ps[3]

//步骤二：使用蓝牙传入 RSSI 值到 double RSSItrans_distance(double rssi, double rssi0, double n)函数，返回值为距离，用 ref_d[3]接收

//步骤三：

//换算公式 $RSSI = RSSI_0 - 10 \times n \times \log_{10}(distance)$

//RSSI0 是距离一米时 RSSI 值

//n 为信号衰减指数，常取值为 2~4（可调）

// **RSSItrans_distance((double)RSSI1, 48.0, 3.0);**

// 计算出的三组 $(d[i]^2 - d[j]^2 - x[i]^2 + y[j]^2 + x[j]^2 - y[i]^2) / (2 * (x[j] - x[i]))$

double dxyx[3];

// 计算出的三组 $(d[i]^2 - d[j]^2 - x[i]^2 + y[j]^2 + x[j]^2 - y[i]^2) / (2 * (y[j] - y[i]))$

double dxyy[3];

// 计算出的三组 $(x[i] - x[j]) / (y[i] - y[j])$

double x_divide_y[3];

// 计算出的三组 $(y[i] - y[j]) / (x[i] - x[j])$

double y_divide_x[3];

// 计算出的三组 x y 坐标

double temp_x[3], temp_y[3];

// 平均 x y 坐标

/*double x = 0, y = 0;*/

// 移除最大值和最小值

removeMaxMin(arr1, 10, newArr1);

```
removeMaxMin(arr2, 10, newArr2);

removeMaxMin(arr3, 10, newArr3);

// 计算剩余三个数的平均值

rssi_average1 = calculateAverage(newArr1, 8);

rssi_average2 = calculateAverage(newArr2, 8);

rssi_average3 = calculateAverage(newArr3, 8);

RSSItrans_distance(rssi_average1, 48.0, 3.0);

RSSItrans_distance(rssi_average2, 48.0, 3.0);

RSSItrans_distance(rssi_average3, 48.0, 3.0);
```

第四部分 总结

4.1 可扩展之处

(1) 硬件扩展

增加蓝牙信标数量：可以增加更多的蓝牙信标，以提高定位精度和覆盖范围。

电源管理模块：替换其他类型的电池模块，提高系统的续航能力。

增加更高性能处理器利用 AI 分析其位置和偏好，提高奖惩机制。

(2) 软件扩展

多算法支持：可集成多种定位算法（如质心算法、粒子滤波算法等），以适应不同的应用场景。

多平台设计：开发安卓平台，使用手机参与定位环节

4.2 心得体会

在项目初期，充分的需求分析和规划至关重要。明确项目的目标、应用场景和性能指标，有助于后续工作的顺利开展。通过详细分析用户需求和市场需求，确定系统的功能和性能参数，确保项目的实际应用价值。清晰的需求定义和合理的规划有效避免了后续开发中的返工和修

在软件开发过程中，我们遵循模块化设计原则，将不同模块分开来设计，确保每个模块独立运行、相互协调。采用敏捷开发方法，分阶段进行开发和测试，及时发现和解决问题，提高开发效率和质量。模块化设计使得软件开发更加灵活。

在定位算法的开发中，优化算法和数据处理流程是提升系统精度和稳定性的关键。通过使用加权乘法等算法，我们有效提高了定位精度。同时，我们定期对算法和系统性能进行测试和优化，确保系统在不同环境中的可靠性。优化算法和数据处理流程需要不断的实验和调整，积累经验至关重要，持续的性能优化和测试是保证系统稳定性和可靠性的必要环节。

进行全面、细致的系统测试，包括功能测试、性能测试和稳定性测试，确保系统在各种环境下都能稳定运行。模拟不同的应用场景进行测试，发现并解决潜在的问题，提升系统的可靠性。充分的测试工作能够有效避免系统在实际应用中的故障和问题，测试过程中的问题解决和经验积累，为后续项目的开发提供了宝贵的参考。

团队合作与项目管理

项目开发过程中，团队成员之间的密切合作和有效沟通是项目顺利进行的保障。定期召开项

目会议，分享进展和问题，及时调整工作计划。制定明确的项目计划和时间表，合理分配任务，确保项目按时完成。良好的团队合作和项目管理能够显著提高项目的开发效率和质量，及时的沟通和协调，有助于发现和解决问题，确保项目顺利推进。

第五部分 参考文献

- [1]胡斌斌, 倪晓军. 基于 RSSI 测距室内定位改进质心算法[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(9): 133-136+140.
- [2]张亚磊, 王坚, 韩厚增, 杨煜. 蓝牙室内测距模型研究与精度分析[J]. 测绘科学, 2021, 46(3): 1-7+66. <https://doi.org/10.16251/j.cnki.1009-2307.2021.03.001>
- [4] 吴之舟, 张玲华. 基于加权和 RSSI 测距的 DV-Hop 定位算法[J]. 数据采集与处理, 2021, 36(6): 1217-1225.
<https://doi.org/10.16337/j.1004-9037.2021.06.015>
- [5] 刘盼. 基于蓝牙 5.1 的室内定位系统的研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2021.
<https://doi.org/10.27466/d.cnki.gzzdu.2021.004859>
- [6]基于 RSSI 测距的改进加权质心定位算法 王振朝, 张琦, 张峰