



华南理工大学
South China University of Technology

课程设计报告书

题目：基于物联网的无人机智能配送系统

学 院 电子与信息学院

专 业 信息工程

姓名学号 黄泽豪 201830251086

李仲源 201830251352

李承睿 201830251192

指导教师 青春美

课程编号 035100691

课程学分 2.0

起始日期 2021 年 3 月

教师评语	<p>教师签名： 日期：</p>
成绩评定	
备注	

目录

一、 引言.....	4
1.1 选题背景和研究意义.....	4
1.2 无人机配送现状.....	5
1.3 系统创新之处.....	6
二、 系统实现的理论分析.....	8
2.1 MQTT 通信协议.....	8
2.2 弹射系统机械结构分析.....	9
2.3 NRF24L01 无线射频通信模块.....	10
2.4 LBP 特征提取.....	10
三、 总体设计.....	12
3.1 系统整体设计.....	12
3.1.1 飞机移动端整体架构.....	12
3.1.2 模拟 5G 基站端整体架构.....	13
3.1.3 配送控制端整体架构.....	13
3.1.4 信息通路整体架构.....	14
3.2 系统功能模块方案选择.....	15
3.2.1 主控芯片方案.....	15
3.2.2 终端设备无线传输方案.....	16
3.2.3 空中货物投递方案.....	16
3.2.4 人脸采集与计算方案.....	18
四、 详细设计.....	19
4.1 智能配送系统硬件电路设计.....	19
4.1.1 模拟基站端硬件电路设计.....	19
4.1.2 模拟基站端硬件电路设计.....	20
4.1.3 飞机移动端硬件电路设计.....	21
4.2 智能配送系统软件设计.....	23
4.2.1 系统软件整体介绍.....	23
4.2.2 用户端软件设计.....	24
4.2.3 云端服务器软件设计.....	25
4.2.4 地面基站端软件设计.....	27
4.2.5 飞机配送端软件设计.....	27
4.2.6 飞行控制端软件设计.....	28
五、 作品效果分析.....	29
六、 结论与展望.....	35
七、 课程设计心得与收获.....	36
八、 附录.....	38
8.1 组内成员分工.....	38
8.2 经费使用情况.....	38

一、引言

1.1 选题背景和研究意义

我国快递业务近十年来迅猛发展，总体业务量直线式上升。近年来，我国传统快递行业在以下几个方面逐渐显现出其弊端。

1、涉山涉水、陆路交通不便的广大偏远地区的快递配送困难，效率很低。很多物流公司出于成本考量没有在这类地区提供物流服务。

2、医疗冷链、应急配送等新型物流配送业务的出现，对快递服务的时效性要求越来越高。而与之相对应的是城市交通拥堵问题愈发严重、订单数量暴涨导致末端配送业务压力越来越大。传统物流在面对此类特殊场景业务时往往显得力不从心。

3、由于订单数的增多和劳动力成本的上升，快递服务从配送到户演变为配送到楼、配送到菜鸟驿站等服务点。配送终端与用户的距离越来越远，快递服务质量受到较大影响。

4、疫情的到来对快递业务带来较大打击，“无接触配送”这一新的配送要求被人们提出。

2010 年以来，无人机产业高速发展，在 2020 年的今天，无人机的技术已趋向成熟，惠及人们日常生活的方方面面，无人机配送货物的应用就是其中之一。早在 2013 年 6 月，美国 Matternet 公司就在海地和多米加共和国测试了无人机配送网络的构建，该网络中单个无人机能够携载 2 公斤物体飞行 9.7 公里。该公司希望建立一个庞大的国际无人机运输网络与无人机相关配件全球供应系统。同时，该公司还进一步计划建立对应数量的无人机充电基站，使得无人机在配送过程中可以沿途降落充电，进一步提高无人机的续航能力。在之后的几年，世界各国多家公司也纷纷推出了无人机配送服务，例如美国亚马逊(Amazon)、沃尔玛(WalMart)、联邦快递(FedEx)；国内京东、超级物种等众多互联网公司。基于无人机的速度快，受空间限制较小的优势，小质量的货物可以在短时间内精准地送达用户手中，最大程度上提高用户的购物体验，切实感受到科技对于日常生活改变的力量。随着 5G 网络的广泛普及以及北斗系统的全面部署，依托于我国成熟发展的网络购物体系，无人机组网配送货物是未来物流的一大趋势。

通过无人机只能配送系统，可以切实减轻医护人员的工作压力，保证其能够健康地奋战于抗疫一线。同时作为 5G 应用背景下无人机智能配送的全新尝试，对于传统物流行业的革新具有重大意义。

基于以上分析，本项目着眼于以下的目的：

- 1、解决各种特殊场景（特色经济、医疗冷链、应急配送、特种物流等）下物流运输的末端配送问题。
- 2、为涉山涉水、陆路交通不便的广大偏远地区提供高质量的物流配送服务。
- 3、节约人工成本、提高配送效率。
- 4、减少汽车和卡车运送货物的次数，更加环保，缓解交通拥堵状况。

1.2 无人机配送现状

目前，无人机送货的应用主要由物流公司以及互联网零售公司进行研发，主要有 Amazon, DHL, 顺丰速运, 法国邮政, UPS, Google, Matternet, BIZB Ysky, Flytrex Sky, Flirtey, 京东等各国公司。其研发方向均以多轴飞行器为主，少有固定翼飞机的研发和应用。主要机型为 X 型、十字型、#型等，可承载重量从 1KG 到 10KG 不等，飞行时间从十几分钟到几十分钟不等。大多数公司研发无人机主要是为了开拓偏远地区的物流配送服务，这些地区一般没有很大的货物需求量，所以使用无人机的成本相比使用汽车等交通工具更节省人力物力，节约相关配送成本，并且这些地方有足够的区域可提供给无人机降落，所以目前无人机送货的研发方向往往是朝向更大的载重以及更长的飞行距离发展，对于体积大小、智能化、网络密度等要求不高。因此，目前无人机配送服务所需要交换的信息量比较小，主要是与卫星进行定位的通信以及与控制端通过较低频率的信号进行控制通信。



图 1.1 亚马逊公司配送无人机

以亚马逊公司的送货无人机为例，该用途的机型往往以巨大的体型和多轴来提升其载荷和飞行的距离。货物的装载方式均为固定于无人机正下方，这也是出于提高无人机的载荷与飞行距离同时保持飞行当中的稳定性考虑。派送的流程一般为：将货物固定至无人机下方，起飞，飞抵目的地，降落，将货物卸

下，再次起飞，返回出发地。该种无人机配送方式的特点是过程简单，任务单一，对目的地有降落场地的要求，并且无人机总体数量较少，无法产生巨大的数据量以对于商业行为分析提供数据支撑，没有构成无人机网络的必要性。该种机型适合于美国的实际配送应用场景，数量较多的庭院式住宅区可以保证无人机的有效降落，但货物的投递方式过于单一，并不适合我国目前小区住宅高楼林立的实际国情，与此同时我国高度成熟的物流配送体系对于大体积的无人机航路分配也存在矛盾冲突，该配送方式灵活性较差，难以应用于我国实际配送场景。

1.3 系统创新之处

在 1.2 的现状介绍中，我们可以看到，在以往的无人机送货的应用中，主要是面向偏远地区的物资交换，往往实现降落投放货物的功能，对投递的精准度要求较小。同时无人机配送用户较少，实际投入使用的无人机较少，没有组网的必要性，整体系统传递的信息量较小。但我们认为仅仅目前这种形式的应用，并不能有效发挥出使用无人机配送的全部优势。

从空间上来说，当前的应用仅使用到无人机运输横向距离上低成本性特点，但是未使用到无人机在空间中的纵向优势，实际上在较小占地面积中多维立体空间分配可以充分保证无人机对于空间最大程度的应用。同时，对于多轴飞行器来说，稳定性也是其自身重要优势之一，航拍无人机可以拍摄出高质量长曝光照片正是多轴飞行器在空中复杂情况下自身稳定特性的充分体现。综合以上分析，多轴飞行器有许多优势没有被充分开发，本系统在我国当前城市建设背景下对于多轴飞行器各项优良特性进一步发掘，使其在我国城市物流配送的应用背景下进一步体现无人机配送的智能性与便捷性，配合 5G 全面普及的时代背景，切实改变人民群众物流配送体验，进一步减小现有物流配送系统对于各项资源的消耗，响应国家节能减排的号召，将绿色生活的宏观概念落于实处。

1. 在城市当中，居民楼建设较为密集，用户一般居住于居民楼的某层当中，以往的送货方式在城市中难以找到合适的降落点，距离用户的距离较近且空旷无人的地方在城市中很难找到。因此，依托于无人机在高度和稳定性上的优势，本系统可以实现在空中与家中的用户直接进行物资交接，使用户足不出户便可获得配送货物，安全性、稳定性均有保障。

2. 在我国城市中，物流配送用户基数较大，需要有足够数量的无人机投入工作才能满足用户的需求。这些分散在城市各个角落的无人机可以建立起相互的通信，进而形成无人机配送网络，可以有效地收集各项数据，使无人机群形成一个整体，有利于加强无人机网络统一协调性，利用云端算法进行路线优化，

使得无人机网络以最小的能量消耗完成配送任务。

3. 在我国城市中，通信信号资源非常丰富，第五代通信技术简称 5G (5th generation mobile networks) 也开始大规模应用。5G 网络的主要优势在于其数据传输速率远远高于以前的蜂窝网络，最高可达 10Gbit/s，比当前的有线互联网连接的信息传输速率快，比先前的 4G LTE 蜂窝网络快 100 倍。另一个优点在于较低的网络延迟（更快的响应时间），正常情况下低于 1 毫秒，而 4G 网络为 30–70 毫秒。由于无人机在空中移动速度较快，如果无人机配送网络无法通过一种较为快速的方式通信，或者无法在短时间内接收到控制主机发送来的协调控制信号，事故发生的可能性会大大增加。同时，无人机飞行当中接收到各种传感器信息，以及飞行时获取的画面在无人机网络当中汇集成庞大的信息流，也需要存在一个支持大流量的信息通路。所以 5G 正是无人机组网的一个重要先决条件。在此背景下，控制系统也可以同时协调数以千计的无人机，从而满足正常的物流配送需求。同时在城市当中电磁干扰较大，而控制信号通过 5G 蜂窝网络传输至无人机，可以大大提高控制信号传输的抗干扰能力。

4. 无人机在飞行中所消耗的能量是无人机配送作的主要成本，为了降低该成本，拓宽系统本身实际应用价值，在无人机上挂载多种传感器如温度、湿度、气体、火焰、烟雾传感器等；同时无人机上的摄像头也可以实时传输无人机航拍视角所采集的画面，在一定数量的无人机组成的网络下，所采集的庞大数据存在巨大的价值，在当前信息时代中庞大商业数据量背后有着巨大的研究、分析价值。

5. 本系统将人脸识别装置系统搭载于无人机终端之上，进一步增加配送系统的智能程度，在进行配送的过程中，通过实时人脸检测与识别，将识别到的结果上传至云端服务器，与目标用户进行比对，当比对判断正确之后，交易行为发生，无人机将物品弹出给用户，使整个过程依托于稳定快速的信息通路进而最大程度上保证用户的实际使用体验。

二、系统实现的理论分析

2.1 MQTT 通信协议

MQTT 协议全称为消息队列遥测传输协议，是 ISO 标准(ISO/IEC PRF 20922)下基于发布/订阅范式的消息协议。MQTT 工作在 TCP/IP 协议族上，是为硬件性能低下的远程设备以及网络状况糟糕的情况下而设计的发布/订阅型消息协议。

TCP/IP 参考模型可以分为四层：应用层、传输层、网络层、链路层。TCP 和 UDP 位于传输层，应用层常见的协议有 HTTP、FTP、SSH 等。MQTT 协议运行于 TCP 之上，属于应用层协议。

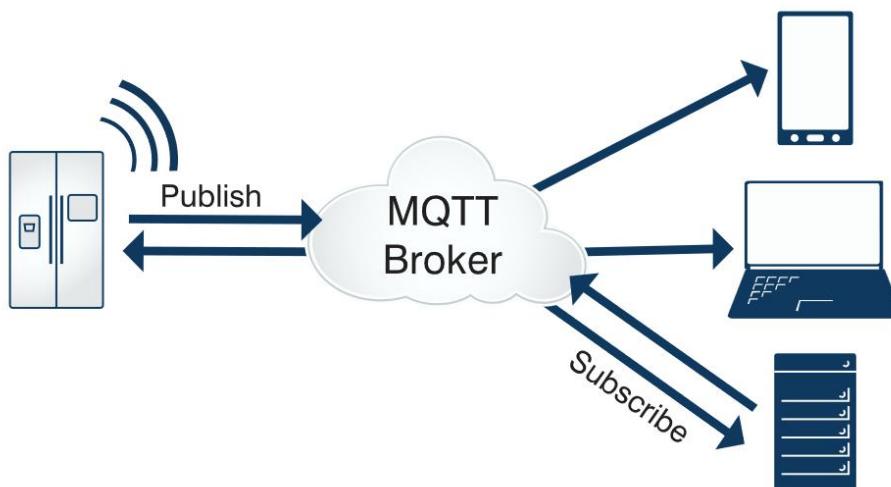


图 2.1 基本 MQTT 通信方式

MQTT 为发布/订阅信息传输模式，如图 2.1 所示为 MQTT 基本通信方式，在整体架构中有发布者 (Publish)、服务器 (Broker)、订阅者 (Subscribe) 三种担任不同功能的角色，在本系统中选择阿里云服务器作为云端 MQTT 信息传输的中间服务器。

MQTT 协议有如下特性：

- (1) 使用发布/订阅消息模式，提供一对多的消息发布，解除应用程序耦合
- (2) 对负载内容屏蔽的消息传输
- (3) 使用 TCP/IP 提供网络连接
- (4) 小型传输，开销很小（固定长度的头部是 2 字节），协议交换最小化，以降低网络流量
- (5) 使用 LastWill 和 Testament 特性通知有关各方客户端异常中断的机制

2.2 弹射系统机械结构分析

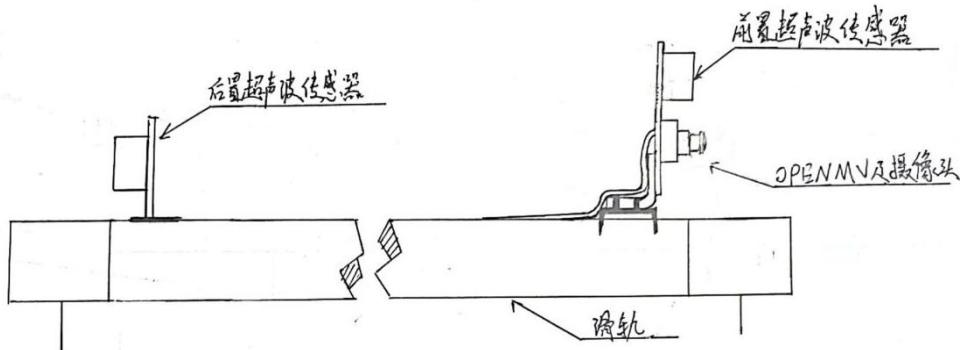


图 2.2 机械结构总体设计

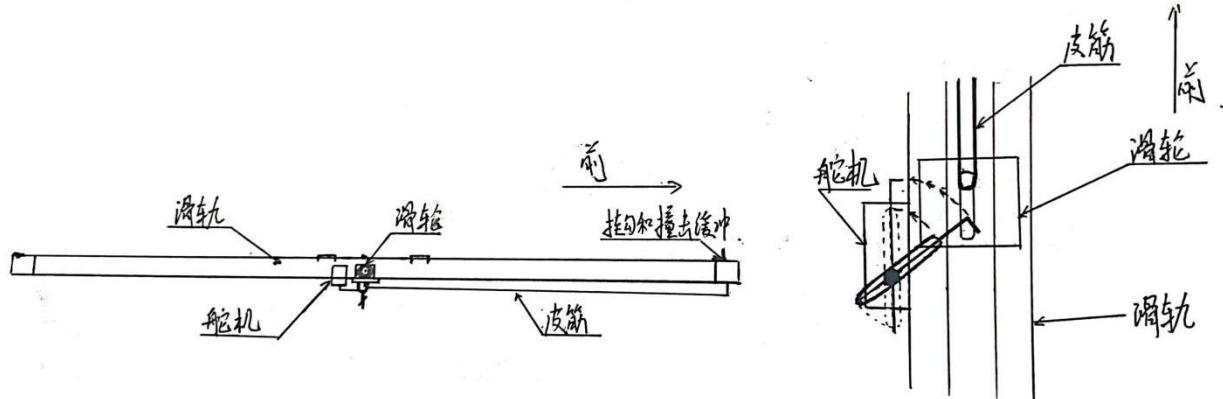


图 2.3 机械结构细节设计

以上为货物投递系统模型示意图。滑轨长 64cm，由于滑轨不可伸缩，为了保持平衡，所以将滑轨中心与四轴飞行器的几何中心对齐，在该模型中货物指向一端弹射，但应用时可拓展为向两端弹射。

如图 2.3 所示，图中该投递系统处于待发射状态，将滑轮接在皮筋的一端，皮筋的另一端固定在滑轨前端的挂钩上。滑轮达到飞机正下方的位置（图中位置）被带有钩子的舵机勾住，舵机受 MCU 控制，当需要发射时，舵机臂旋转达到虚线位置，滑轮在少了舵机对它的拉力以后被皮筋的拉力牵动，快速地运动到滑轨前端。滑轨前端的装有撞击缓冲以停止滑轮。杆子的中心对齐四轴飞行器的几何中心，由于滑轨不可伸缩，为了保持平衡，所以将滑轨延伸至后端。在飞行器取货时，工作人员将药品夹在滑轮的夹子上，同时将滑轮拉至舵机处使舵机勾住滑轮，当飞抵目的地后，MCU 控制舵机脱钩，释放滑轮，滑轮撞击并固定于撞击缓冲处，待用户取药。

2.3 NRF24L01 无线射频通信模块

该模块内置 NRF24L01 射频芯片，NRF24L01 是一颗工作在 2.4GHz ISM 频段，专为低功耗无线场合设计，集成嵌入式 ARQ 基带协议引擎的无线收发器芯片。工作频率范围为 2400MHz–2525MHz，共有 126 个带宽为 1MHz 的信道，配合上 6 个字节组成的地址，理论上可以实现上亿个终端间的数据收发。

NRF24L01 采用 GFSK/FSK 数字调制与解调技术。数据传输速率与 PA 输出功率都可以调节，支持 2Mbps, 1Mbps, 250Kbps 三种数据速率。高的数据速率可以在更短的时间完成同样的数据收发，因此可以具有更低的功耗。

ARQ 基带协议：连续重发请求 ARQ 方案是指发送方可以连续发送一系列信息帧，即不用等前一帧被确认便可继续发送下一帧，效率大大提高。但在这种重发请求方案中，需要在发送方设置一个较大的缓冲存储空间（称作重发表），用以存放若干待确认的以及待发送信息帧。当发送方收到对某信息帧的确认帧后，便可从重发表中将该信息帧删除。所以，连续重发请求 ARQ 方案的链路传输效率大大提高，但相应地需要更大的缓冲存储空间。在这一协议中，当发送站点发送完一个数据帧后，不是停下来等待应答帧，而是可以连续再发送若干个数据帧。如果在此过程中又收到了接收端发来的应答帧，那么还可以接着发送数据帧。由于减少了等待时间，整个通信的吞吐量就提高了。

2.4 LBP 特征提取

LBP 指局部二值模式，英文全称：Local Binary Pattern，是一种用来描述图像局部特征的算子，LBP 特征具有灰度不变性和旋转不变性等显著优点。它是由 T. Ojala, M. Pietikäinen, 和 D. Harwood 在 1994 年提出，由于 LBP 特征计算简单且实际应用时效果较好，因此 LBP 特征在计算机视觉的许多领域都得到了广泛的应用，LBP 特征比较较为广泛应用于人脸识别和目标检测领域中。

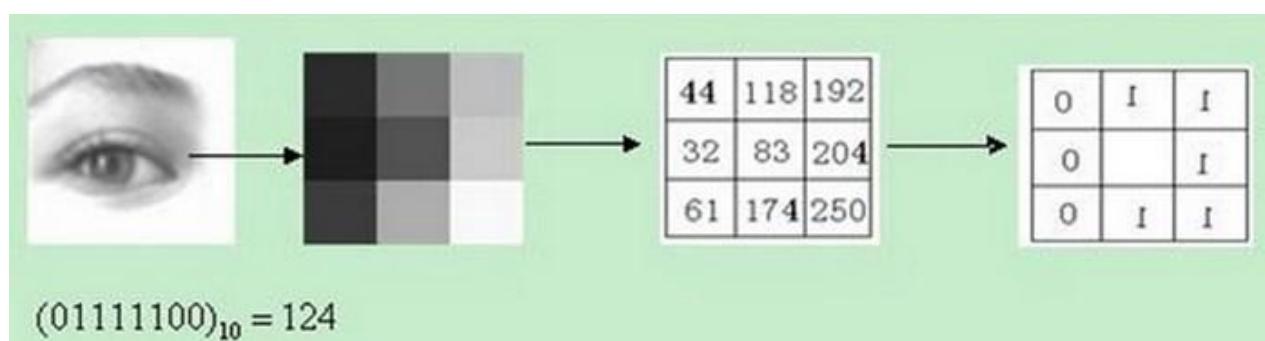


图 2.4 原始 LBP 计算方法

如图 2.4 所示, 为 LBP 特征值的原始计算方法: LBP 算子定义在像素 3×3 的邻域内, 以邻域中心像素为阈值, 相邻的 8 个像素的灰度值与邻域中心的像素值进行比较, 若周围像素大于中心像素值, 则该像素点的位置被标记为 1, 否则为 0。这样, 3×3 邻域内的 8 个点经过比较可产生 8 位二进制数, 将这 8 位二进制数依次排列形成一个二进制数字, 这个二进制数字就是中心像素的 LBP 值, 因此中心像素的 LBP 值共有 $2^8 = 256$ 种不同数值, 中心像素的 LBP 值反映了该像素周围区域的纹理信息。



(a) 原始图像 (b) LBP图谱

图 2.5 人脸的 LBP 图谱

如图 2.5 所示, 对于检测到的人脸图像进行 LBP 特征值计算即可得到关于该人脸图像的 LBP 特征值图谱, 该图谱描述了该人脸五官纹理等相关特征信息。该人脸 LBP 图谱与人脸在图像中的位置息息相关, 进行判别分析时为避免因人脸位置不同导致误判率的上升, 因此对于人脸 LBP 图谱进行分块操作, 对于每个子区域的像素点进行 LBP 特征值计算, 从而得到该人脸各个子区域的 LBP 特征统计直方图, 图片中的人脸相关信息即可用一系列统计直方图来直接描述, 随后在进行人脸比对的过程中对于 LBP 特征统计直方图进行相关相似度度量, 即可对于人脸进行比对与识别。

在本系统中使用该算法进行人脸的检测与比对计算, 该算法计算量相对较小, 可以一定程度上减轻终端设备的计算压力, 在实际应用过程中终端设备进行人脸识别时速度较快, 识别率也可以满足正常使用需求, 可以一定程度上保证用户体验, 保证该系统的实际应用价值。

三、 总体设计

3.1 系统整体设计

3.1.1 飞机移动端整体架构

如图 3.1 所示，飞机移动端包括主控芯片 STM32F103、超声波测距模块、openmv 摄像头模块、NRF24L01 射频模块、弹射模块、NEO-M8 GPS 模块、照明模块与语音播报模块。其中语音播报模块后级由功放电路驱动喇叭发声，以保证在无人机螺旋桨的噪音之下用户仍然可以听清语音模块的播报内容。为在复杂情况下均能够对于用户人脸进行检测，飞行器前端接大功率灯珠，因此继电器模块与灯珠照明模块由 12v 电源驱动。

飞机移动端作为本系统的终端设备，具有采集计算用户人脸信息、测量当前飞机位置信息、设置移动航拍视角、弹射发送货物、探测火焰信息等功能，作为整个系统的信息采集装置，在终端为用户提供服务，实现该系统最终实际应用价值。

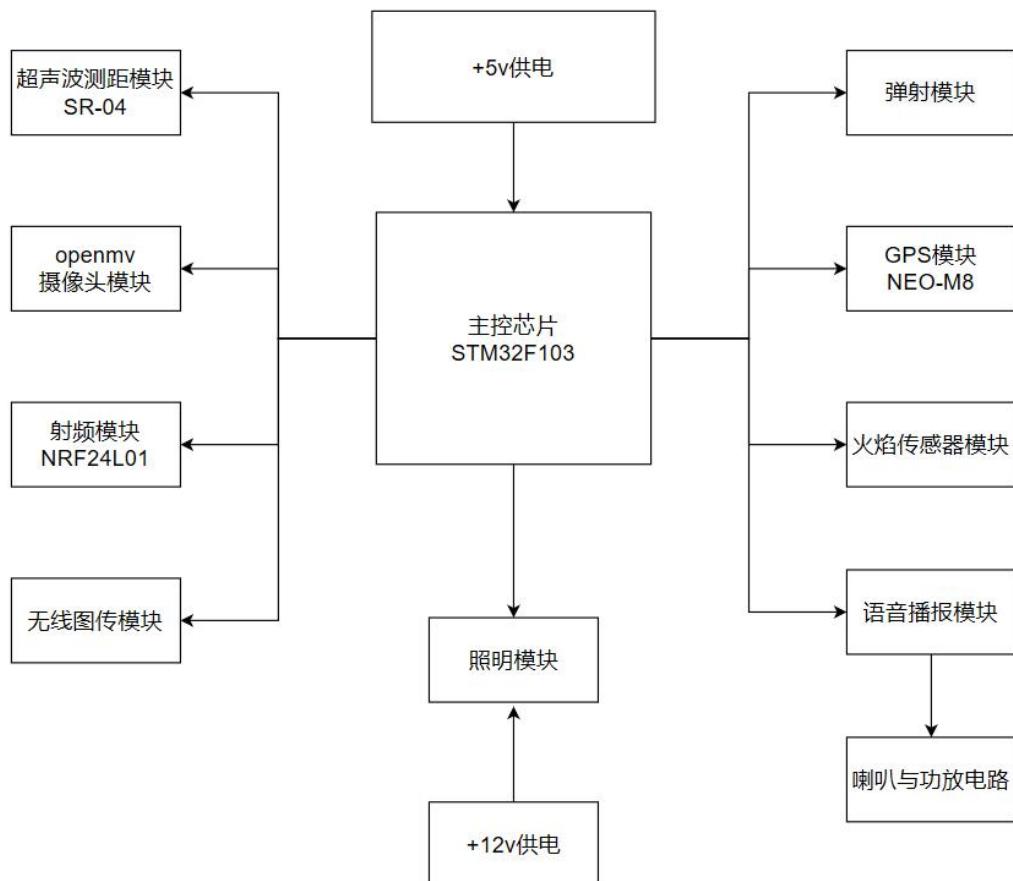


图 3.1 飞机移动端整体架构

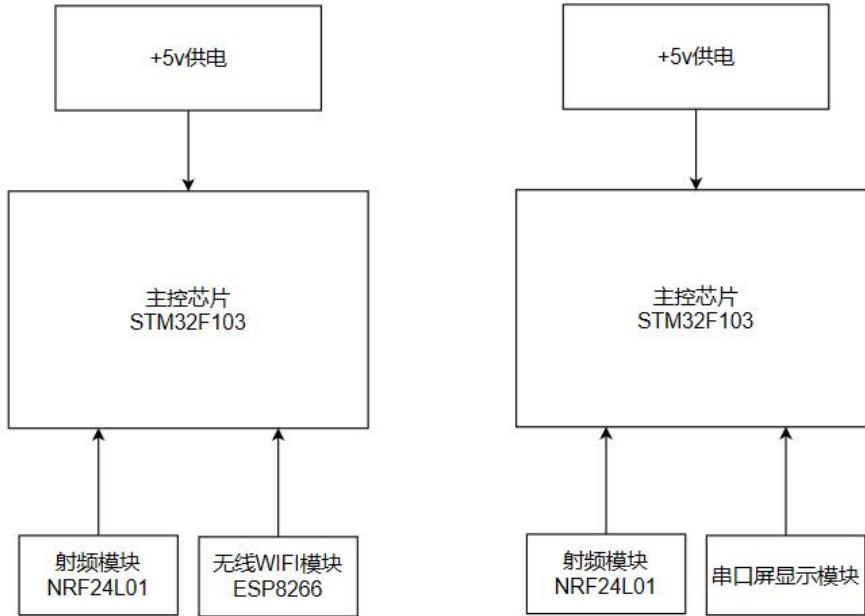


图 3.2 模拟 5G 基站端整体架构

图 3.3 配送控制端整体架构

3.1.2 模拟 5G 基站端整体架构

如图 3.2 所示, 模拟 5G 基站端由主控芯片 STM32F103、NRF24L01 射频模块、ESP8266 无线 WIFI 模块构成。

模拟 5G 基站端的电路结构构成较为简单, 其在本系统中起到较为关键的作用, 是终端设备与云端服务器信息流转的中介, 是消息通路中较为核心的节点, 模拟 5G 应用场景下 5G 基站的功能, 充分体现本系统在未来 5G 大范围覆盖时的实际应用价值。

3.1.3 配送控制端整体架构

如图 3.3 所示, 配送控制端由主控芯片 STM32F103、NRF24L01 射频模块、串口屏显示模块构成。

配送控制端作为终端设备, 使得四旋翼飞行器所采集的飞行信息能够实时传输至配送员终端, 显示当前飞机的位置信息、四周避障信息、火焰预警信息, 配合无线图传模块的实时图像传输, 能够从更多角度给予配送员当前飞行器飞行相关信息, 保证配送的总体安全性。

在 5G 大范围应用时, 配送控制端将从终端设备转变为云端设备, 在无人配送的背景下四旋翼飞行器可实现自动配送或远程操控, 操控人员在远程通过配送控制端实时监控飞行器的飞行状态, 5G 低时延的优秀特性使得这一设想成为可能。因此配送控制端是在未来场景中创造性、拓展性最高的终端。

3.1.4 信息通路整体架构

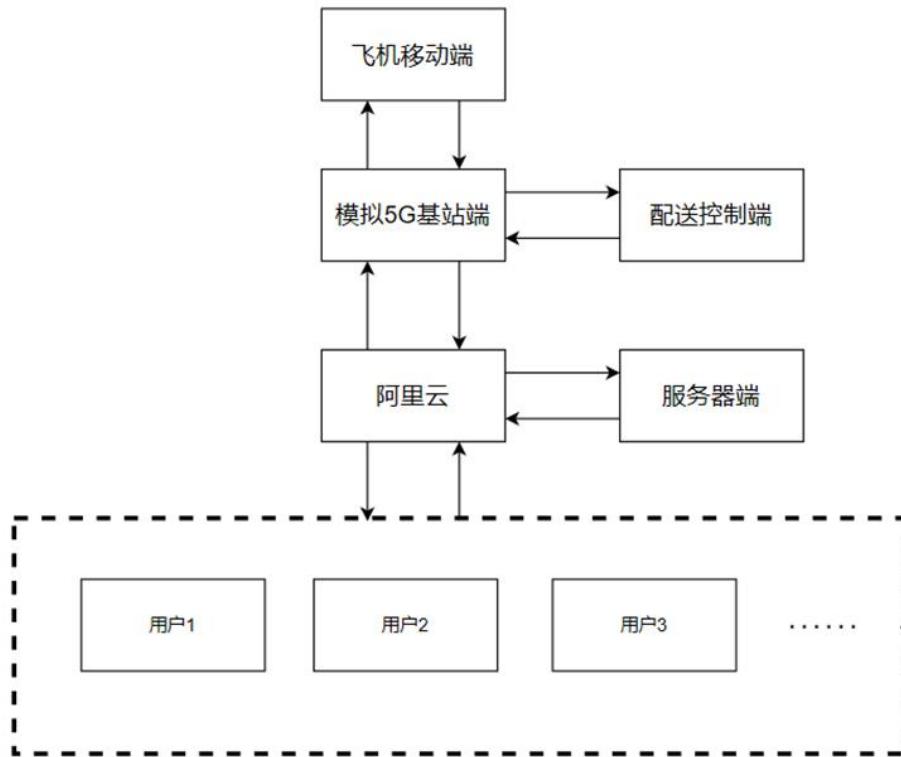


图 3.4 信息通路整体架构

如图 3.4 所示为信息通路整体架构，其中模拟 5G 基站端作为终端设备的信息通路核心节点，阿里云作为终端设备与云端设备的信息通路核心节点。

对于终端设备模块，飞机移动端与配送控制端的消息收发均由模拟 5G 基站端进行，双向信息通路使得在实际配送过程中飞机移动端与配送控制端能够实时互相收发信息通信，不会因为飞行器与配送控制端相距较远而导致通信受阻，通信稳定程度与准确程度较高，进而保证配送整体过程的智能性与安全性。

对于云端设备模块，阿里云作为用户与服务器端通信的中间节点，包括用户向服务器提出请求与服务器向用户发送相关指令，除此之外服务器端将用户的请求转化为对应的指令通过阿里云发送至终端设备，构成终端设备与云端设备的信息通路。阿里云作为云端信息转发终端可靠性较高，信息传递速度较快，可以保证整体系统信息通路的畅通性，保证用户体验的流畅性。

3.2 系统功能模块方案选择

3.2.1 主控芯片方案

方案一：C51 单片机

51 单片机具有 8 位 CPU, 128B 程序存储器，外部数据存储器寻址空间为 64KB，外部程序存储器存储空间为 64KB，逻辑操作具有位寻址功能，双列直插 40PinDIP 封装；四个八位并行 I/O 口既可用于输入与又可用于输出，同时部分 I/O 口具有第三功能可用于定时器、中断、串口等功能。内部具有两个定时计数器，既可工作于定时模式也能工作于计数模式；一路全双工串口，实现 51 单片机与外部单片机之间的串行通信；片内振荡器和时钟产生电路需要外接石英晶体与微调电容，最佳工作频率在 6M 与 12M 之间。

方案二：STM32F103ZET6 单片机

STM32F103 系列微处理器是首款基于 ARMv7-M 体系结构的 32 位标准 RISC 处理器，具有较高的代码效率，通常在 8 位和 16 位系统的存储空间上发挥了 ARM 内核的高性能，该系列微处理器工作频率为 72MHz，内置高达 128K 字节的 Flash 存储器和 20K 字节的 SRAM，具有丰富的通用 I/O 口资源。

该处理器具有 51 个快速 I/O 口，所有 I/O 口均可以映像到 16 个外部中断，均可以由软件配置各 I/O 口工作模式；灵活的 7 路通用 DMA 可以管理存储器到存储器、设备到存储器和存储器到设备的数据传输，无须 CPU 进行任何干预。通过 DMA 可以使数据快速地移动，这就大大节省 CPU 的资源来进行其他操作；具有多达 7 路内部定时器，定时器资源较为丰富，可灵活应用于各项功能的具体实现。

方案选择

综合比较方案一与方案二，在本系统中最终使用 STM32F103ZET6 单片机作为核心处理器。相比于 51 单片机，STM32 的 I/O 口资源、定时器资源、内部存储资源更加丰富，内部晶体振荡器振荡频率更高，处理外部传感器信息的速度较快。优秀的计算性能与较低的功耗十分适合飞行移动端的应用，可以在很短的时间内处理大量信息流的流入流出，多路定时器中断的灵活运用保证了多项功能实现的准确性，更大的内部存储器也可以保证大量数据的暂存与实时处理。综上所述，在本系统中使用 STM32F103ZET6 可以更好地提升自身的实际应用意义，保证各项功能实现的稳定性与准确性。

3.2.2 终端设备无线传输方案

方案一：蓝牙传输方案

蓝牙工作频段：2.4GHz 的工科医（ISM）频段，无需申请许可证。大多数国家使用 79 个频点，载频为 $(2402+k)$ MHz ($k=0, 1, 2 \dots 78$)，载频间隔 1MHz，采用 TDD 时分双工方式；传输速率：1MB/S；有效通信距离为 10m。

蓝牙模块传输数据量较小，功耗较低，可以工作于一发多收工作模式，有效通信距离较短，信息传输安全性与可靠性较高。

方案二：NRF24L01 射频传输方案

NRF24L01 射频模块工作频率范围为 2.4GHz-2.52GHz；应用 SPI 通信协议与单片机通信，通信速率最高可达 8Mbps；工作时具有较低的电流消耗，最大工作电流在 10mA 左右；具有 126 个通讯通道，6 个数据通道，可以保证大信息量多点通信的现实需求；模块体积较小，接天线后有效通信距离可达 200m。

方案选择

在本系统中终端设备之间，即飞行移动端与模拟基站端、模拟基站端与配送控制端的相互通信需要保证具有足够的有效通信距离，信息通路可以吞吐相对较大的数据量，且在飞行移动端配置的通信模块需要具有低功耗的性能特点。综合以上各个方案与本系统实际应用情况的具体分析，最终采用方案二，即 NRF24L01 无线射频模块进行终端设备之间的无线信息传输方案，其体积小、低功耗、较高通信距离的优良特点可以很好地应用于飞行移动端的实际配送场景，提高飞行器的续航能力与信息通信的可靠程度，进而保证系统的实际应用价值与飞行端飞行过程的安全可靠性。

3.2.3 空中货物投递方案

要求：无人机在空中通过窗户与用户进行物资的交接

方案一：机械臂投递

在无人机下方悬挂机械臂，采用舵机配合可折叠的结构实现，机械臂末端带有夹子夹取货物。在无人机飞行期间，机械臂折叠，使货物位于无人机的正下方，在无人机飞抵目的地接近窗户后，舵机产生力将折叠的机械臂结构伸展开来，送出末端被夹子夹住的货物递给用户，用户从夹子上取下药品，从而完

成无人机递出货物动作。

方案二：弹射装置投递

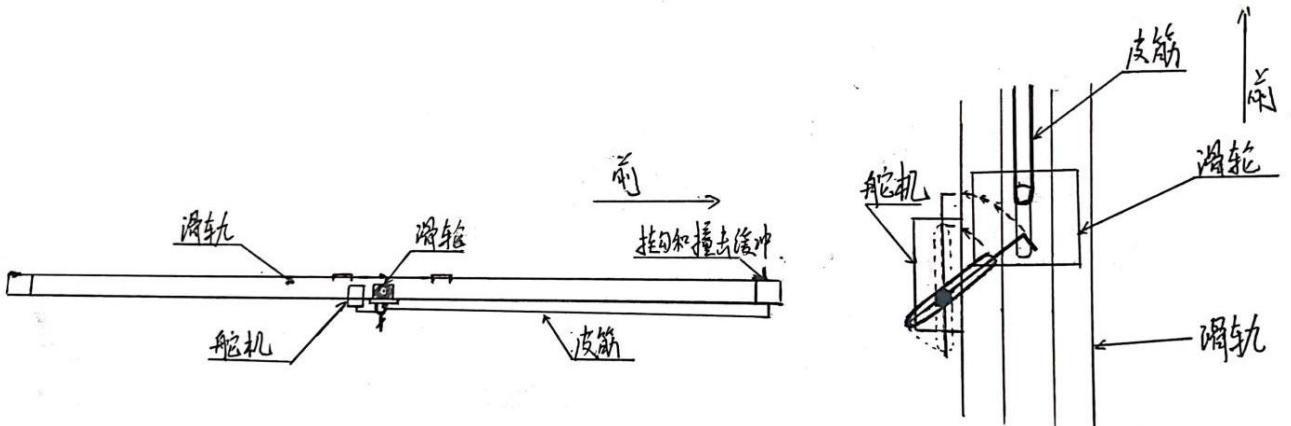


图 3.5 弹射装置物理结构

如图 3.5 所示，在无人机下方悬挂弹射机构，由弹力装置，滑轮，滑轨，释放机构构成。弹力装置一端连接滑轨的末端，另一端连接装在滑轨上的滑轮。滑轮下方安有夹子，方便夹取货物。在无人机起飞之前，先用滑轮下方的夹子夹住货物，并且将滑轮牵引弹簧拉到无人机正下方，通过释放机构固定，从而使货物在飞行期间处于无人机正下方，当到达窗户旁时，释放机构释放滑轮，滑轮在弹簧的牵引下带动药物达到滑轨的末端，用户从夹子上取下药品，从而完成无人机递出药品动作。

方案论证：

两种方案均可实现从无人机的一侧递出药品，并且在飞行过程中药品均可以保持在无人机正下方，这对于无人机飞行的姿态和机动性都非常重要。对于方案一，机械臂可折叠，减小其整体的长度，有益于无人机在空中飞行的灵活性，但是，折叠的机构复杂，用料较多，整体质量较大，对无人机的载重要求高，并且无人机能量消耗较快，实际应用性价比较低。对于方案二，采用的是简易不可伸缩的导轨，导轨方向指向前后，使得无人机的机长变大，会造成无人机俯仰力矩变大，减小无人机的灵活性，但是，因为结构简单，如果使用特殊材料制成滑轨，其质量可以大大减小，灵活性的问题也可以得到改善。

综上，本项目选择方案二作为空中货物投递方案。

3.2.4 人脸采集与计算方案

方案一：终端采集云端计算

在该方案中，无人机搭载摄像头实时采集当前画面，并将当前画面通过模拟基站传输至云端，另一端云上服务器接收无人机实时传输画面，同时运行计算机视觉程序对于实时传回的画面进行人脸检测与识别。

该方案优势在于在云端服务器运行的计算机视觉程序人脸检测准确性较高，与云端人脸数据库对比速度较快，最终人脸识别功能实现较好，同时可以根据用户上传的数据集进行提前训练使得用户在使用的过程中内置模型可以更好地适用于系统当前用户的人脸检测与识别，用户体验度较好。

该方案问题在于实时传输拍摄图像的数据量较大，现有模块难以支撑如此庞大的数据流，从而只能使得图像分辨率降低，向图像分辨率妥协的必然结果就是人脸识别的准确度下降，除此之外在长时间大数据流的吞吐之下各个模块的工作状态也会受到影响，系统稳定度较低，不确定性较大。同时该方案并不符合 5G 应用背景下“边缘计算”的概念，将大量的计算置于云端会大大增加云端服务器的工作量以及信息传输通路的数据量，可以说与“边缘计算”的理念背道而驰，没有充分利用 5G 低时延的优良特点。

方案二：终端识别计算

在该方案中，图像的采集与计算都置于终端，终端摄像头对于视野范围内的人脸进行检测，并与自身内置数据库的相关人脸信息进行对比比较，完成人脸检测与识别的功能，信息通路只传输较少的特征信息。

该方案的优势在于大大解放了云端服务器与信息通路设备的生产力，将云端更多的能力置于信息的实时传输上，而几乎所有计算都置于终端进行，这与“边缘计算”的理念较为契合，充分利用第五代通信技术的各个层面的优势，具有 5G 应用背景下大规模推广的巨大潜力。

该方案的问题在于终端设备信息存储量较小，计算能力无法与云端服务器设备相提并论，因此导致人脸识别时间较长，精度相比于云端识别较差，但是通过一定程度上的算法优化与改进可以使得最终识别的时间与准确度满足实际应用要求。

方案论证：

综合以上对于两个方案的具体分析，最终选择方案二作为本系统最终识别计算方案，相比于方案一，方案二对于信息通路设备的要求更低，最终识别效果也可以满足正常需求，最为重要的一点在于方案二符合 5G 背景下对于终端设备的定义，很好地体现出本系统 5G 背景下的实际应用价值。

四、 详细设计

4.1 智能配送系统硬件电路设计

4.1.1 模拟基站端硬件电路设计

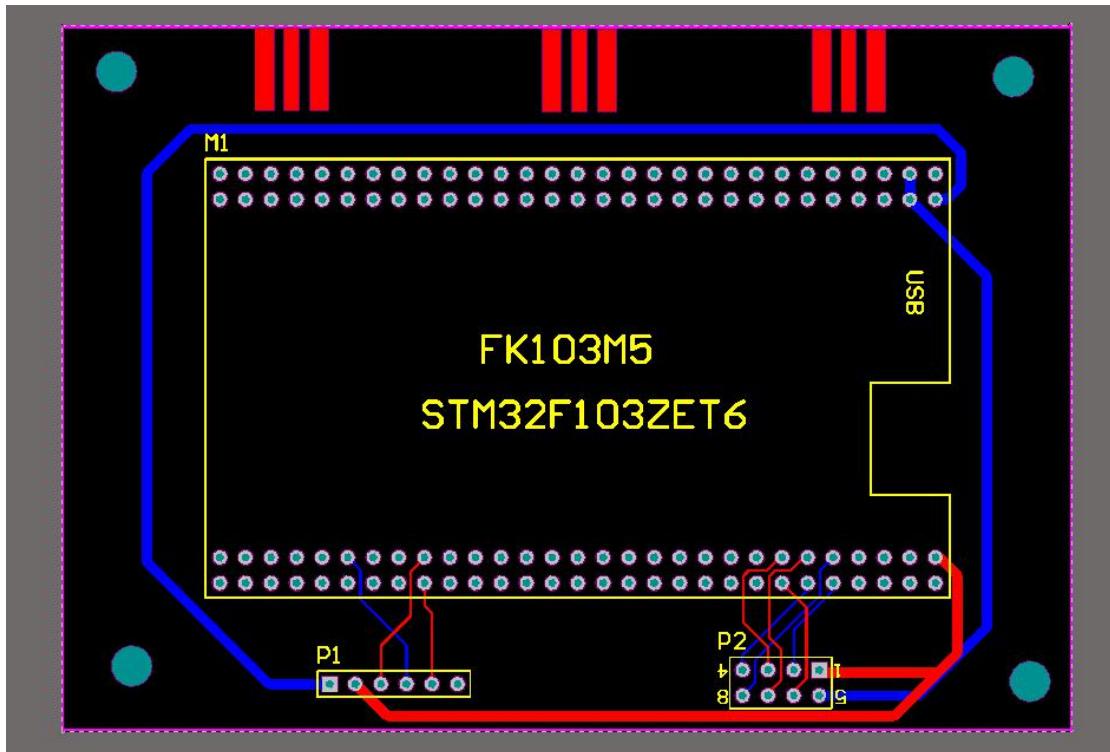


图 3.6 模拟基站端硬件电路

如图 3.6 所示为模拟基站端硬件 PCB 电路板设计，整体电路板大小为 10cm*7cm，整体电路较为小巧，该端元器件也较少，由主控芯片 STM32F103ZET6、射频模块 NRF24L01、无线 WIFI 模块 ESP8266、三路天线构成。

各模块放置位置都经过充分考量，尽力避免出现插入模块时各个模块出现物理位置冲突的情况，且各个模块分布位置较为均匀，同时该端还接有三路 SMA 端子，接入 SMA 天线后使得其外观与实际基站更为相似。PCB 板四周还设置有螺孔，实际安装时接入铜柱固定于亚克力板之上，保证该端子正常工作的稳定性以及整体外观的美观性。

对于信号线与电源线的线宽设置也有所考量，信号线线宽设置为 20mil，电源线线宽设置为 40mil 以保证在实际工作时板间大电流的正常通过，以维持整体供电的稳定性，保证模拟基站端信息收发功能的稳定正确实现。

模拟基站端供电由充电宝接 STM32，再由 STM32 分压得到 3.3v 与 5v 供给电路各个元件，由于该电路中元器件数量较少，且多为低功耗器件，因此在实际工作时不会产生大电流以及高功率消耗，普通充电宝可以满足该电路的供电需求，且充电宝供电较为方便快捷，为最终电路供电选择。

4.1.2 模拟基站端硬件电路设计

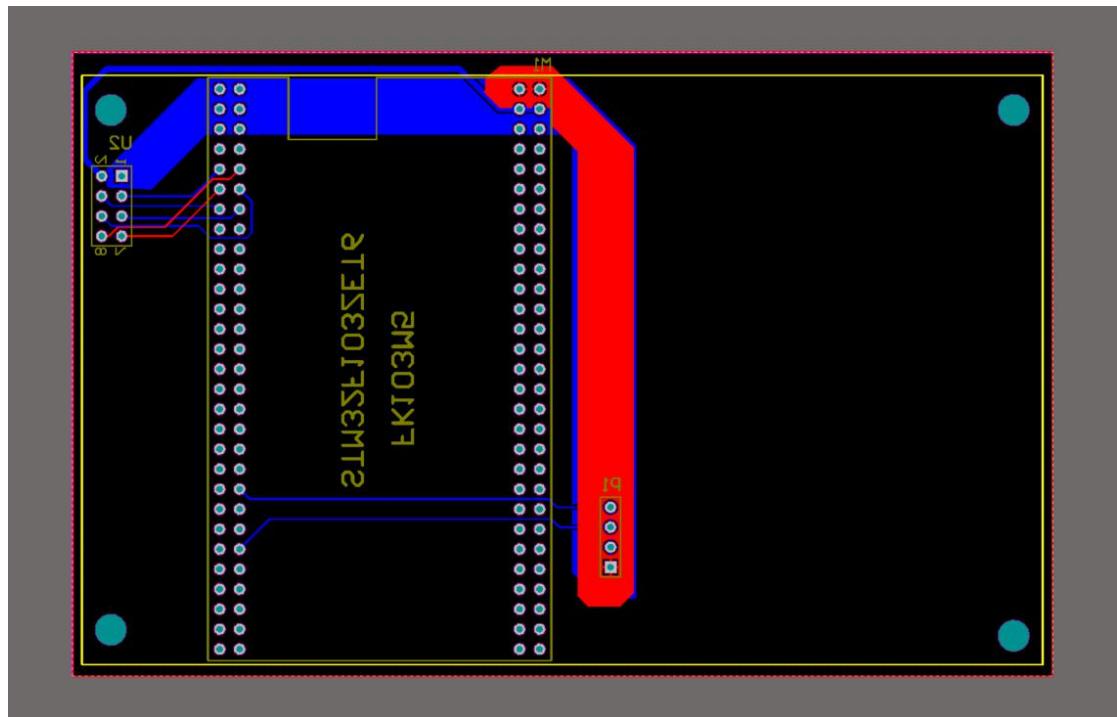


图 3.7 配送控制端硬件电路

如图 3.7 所示为配送控制端硬件电路，整体电路板大小为 12.5cm*7.9cm，整体电路大小与屏幕大小相同，电路板背面放置 STM32F103ZET6 主控芯片与 NRF24L01 模块用以信息收发，在电路版正面放置串口端子与串口屏幕通信。在电路板背面右侧留有一半的空余面积以放置串口屏的中继模块以及 12v 转 5v 稳压模块，而电路板正面由铜柱与屏幕相连，这样就可以最大程度上利用电路板的空间，各个电路模块合理布局，整体电路外观精美、体积较小，可以很好地置于配送员无人机遥控器上，方便配送员实时监控飞机当前各项信息，电路布局的深思熟虑大大增加该电路的实际应用价值。

在电源布线方面，串口屏为 5v 供电且正常工作时流经电流较大，因此 5v 端在 PCB 顶层一定范围内铺铜，可以保证在串口屏正常工作时电流输入在 300mA 以上，同时在 PCB 底层为地线铺铜，大面积的地线铺铜可以保证电路工作的稳定性。

配送控制端由 12v 航模电池实际供电，串口屏实际供电需要 5v 以上的电压输入，普通充电宝供电电压难以达到 5v 以上，因此串口屏由 12v 单独供电而单片机数字系统需要添加降压模块降至 5v 保证数字系统的正常供电，因此 12v 航模电池作为该电路最终的供电选择。

4.1.3 飞机移动端硬件电路设计

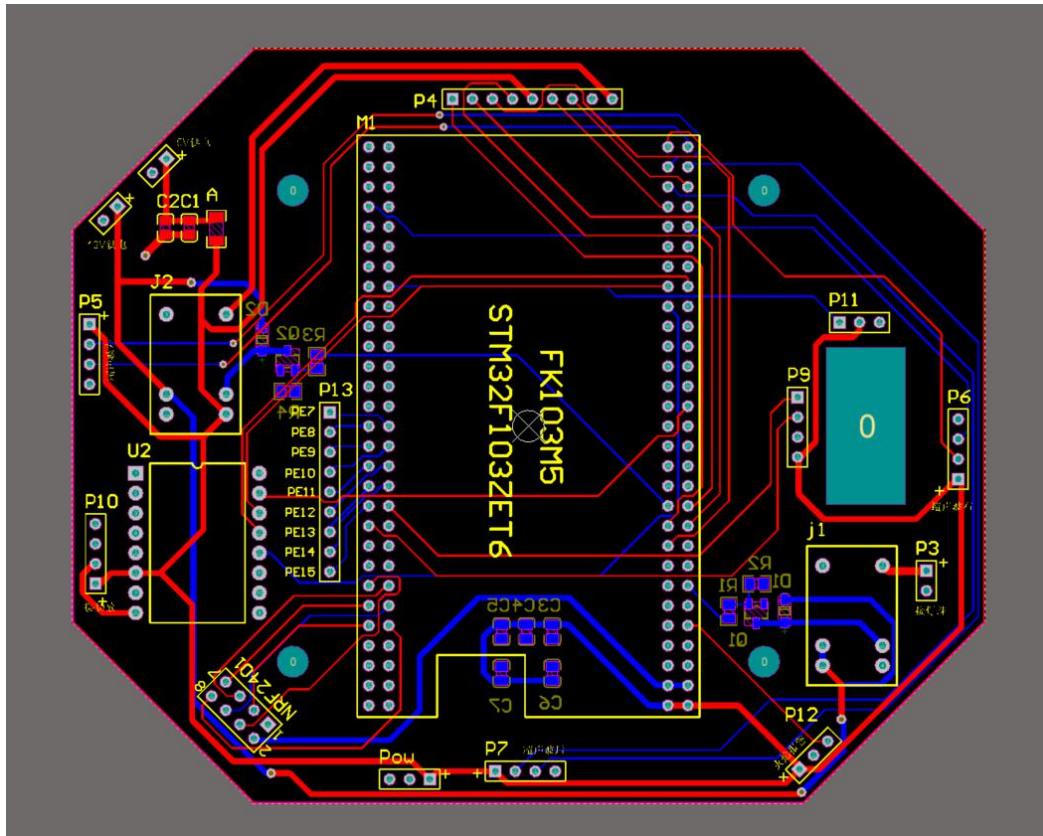


图 3.8 飞机移动端硬件电路

如图 3.8 所示为飞机移动端硬件电路，整体电路结构为六边形，尺寸与四旋翼飞行器顶层盖板尺寸完全相同，因此可以通过铜柱与螺母直接固定在飞机上，与飞机机械结构融为一体，不需额外粘贴至顶层碳板之上，大大增加了该电路模块加入飞行器之后整体的美观性，且凌空的连接设计可以保证电路焊点不会因为与碳板接触导电而导致电路整体烧毁。

该电路模块负责连接飞行器之上所有的传感器，其中飞行器前端超声波传感器与人脸识别计算模块通过定制 80cm 飞线连接至飞机端 P4 端口，保证信号在 80cm 飞线传输过程中的稳定性。同时 PCB 电路中有一块镂空区域为 GPS 天线留出位置，使得 GPS 天线底座固定于下层碳板之上，天线另一端通过该镂空区域伸向电路板上方接收卫星发来的定位信号。

除此之外在飞机飞行端引出 PE7 至 PE15 空余引脚，以便于后来对于相关功能进行拓展时可以灵活应用，极大地增加了该电路板的功能拓展性以保证后期在原有功能之外存在更多选择。在飞机飞行端还有两路继电器电路，分别对于前端摄像头传感器以及照明灯珠的供电进行控制，为节约电路板面积，均选择

贴片元件进行电路设计且两路电路分别置于电路板的正面与反面，最大程度上对于电路板原有空间进行运用，使得最终电路板的模块排布紧凑而不拥挤，所有元件空间分布不会产生冲突，使得飞机移动端最终功能能够稳定顺利实现。

对于电源布线方面，为合理分配各模块空间，电源与地线的线宽设置为30mil，可以保证大电流顺利流过的同时为电路复杂布线留出空间，普通信号线为10mil，线宽均小于模拟基站端与配送控制端对应的电源线和信号线线宽，一定程度上源于飞机移动端走线较为复杂，减小线宽可以保证整体电路布线冲突较小，各层面布线都可以顺利进行。

电源供电方面由无人机自身分电板分出12v与5v接入电路当中，12v用以驱动继电器模块与灯珠照明模块，5v用以驱动STM32单片机及其外围数字系统，在电路底层地线铺铜，保证在相对复杂的数字系统中各个模块的数字地能够充分连接，保证数字系统正常实现对应功能。

考虑到无人机在飞行过程中螺旋桨噪声过大，飞机端搭载的语音播报模块喇叭声音较小，因此语音播报模块与外界喇叭之间接入功率放大模块，通过运算放大器对于音频范围内的语音播报内容进行功率放大，使得最终语音播报内容信息能在大噪声的背景环境下能够被用户有效获取，在不同情况之下给予用户不同的提示内容，作为配送端唯一的人机交互装置，设置功率放大器的目的在于最大程度上保证用户的实际体验效果，有效向用户传达系统功能信息。

前后左右四个超声波模块的放置可以使得飞机实时获取飞行位置信息，飞机控制端对于目光无法达到的地方可以借由超声波模块进行测距，在距离超过危险范围内时对于飞机控制端发出报警，保证配送过程中飞机飞行安全。对于未来在5G大范围普及后，无人机实现自动配送或远程遥控的过程中，四周的测距模块可以为自动避障与自动飞行提供信息保障，在未来该模块的运用有着巨大的功能拓展性，也体现出本系统在5G背景下的发展潜力。

飞机飞行端作为整个系统中最为复杂的电路系统，在整体电路设计中充分体现出对于细节的考量，从而使得最终电路在各个方面都有着实际应用意义，理论与实践有效结合，基本避免在实际应用中出现理论层面无法预料的问题。电源线与信号线飞线的连接也较为稳定，不会因为较长距离传输而导致信号触发与读取存在问题，四路超声波模块的配置也可以保证飞行器终端在配送的过程中自身安全与用户安全，进一步体现本系统在实际应用场景中的稳定性与可靠性，最大程度上保证系统各项功能的顺利实现。

4.2 智能配送系统软件设计

4.2.1 系统软件整体介绍

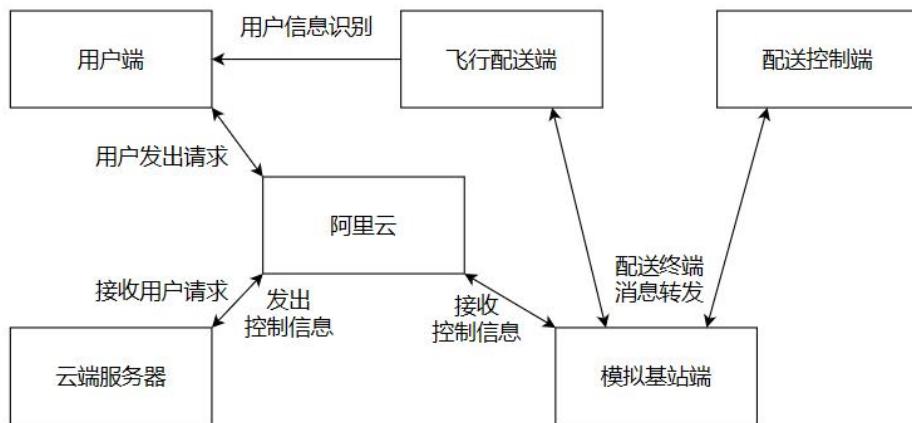


图 3.9 系统软件信息流图

如图 3.9 所示为系统整体软件信息流图，总体系统软件可分为两大部分，即用户端与云端服务器组成的“云端软件系统”以及飞行配送端、配送控制端、模拟基站端组成的“终端嵌入式软件系统”，两个部分软件的通过阿里云作为信息转发的中转，使得终端设备与云端设备可以相互通信，完成硬件电路系统物联网的过程。阿里云与各端使用 mqtt 协议相互通信，其云端技术相对成熟，可以保证设备之间的消息转发顺利进行，是本系统功能稳定实现的重要保障。

用户端与云端服务器采用 qt 软件编写，为可视化窗口电脑端软件，在客户端用户可以登录自己的账户并发出送货请求，当云端服务器接收到送货请求后将消息转发至终端设备，于此同时弹出人脸比对窗口，比对用户人脸与实时检测到的用户人脸，与此同时在云端服务器还可以实时显示当前飞行器所采集到的各项信息，实现远程监控的功能。

飞行配送端、配送控制端与模拟基站端均为 STM32 嵌入式软件编写，灵活使用定时器、外部中断、串口、硬件 SPI 等 STM32 自身资源进行传感器信息采集与信息发送与接收，配合硬件电路设计实现终端系统相关功能。

整个软件系统信息收发构成闭环，逻辑清晰，各部分职能划分明朗，保证整体信息流在软件系统中正确流动，保证整体系统的实际应用价值。以下分析将对于用户端、云端服务器、模拟基站端、飞行配送端、配送控制端五个不同程序进行独立分析，充分体现本系统软件设计逻辑。

4.2.2 用户端软件设计



图 3.10 用户端登录界面
面

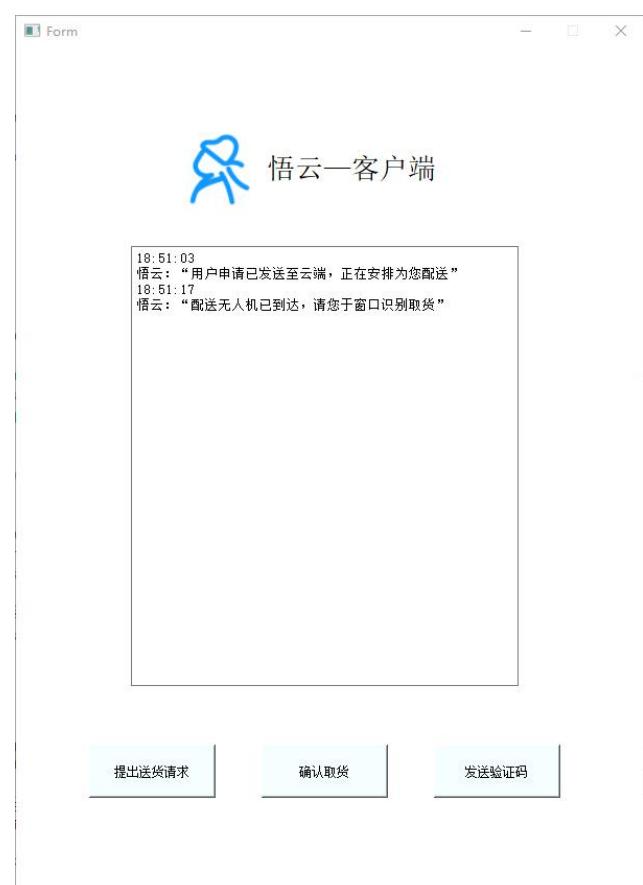


图 3.11 用户端实际使用界



图 3.12 验证码发送界面
图

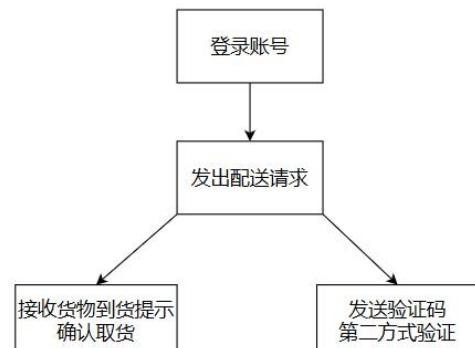


图 3.13 用户端软件流程

如图 3.11 所示为客户端软件流程图，在图 3.10 所示的用户端登录界面中用户输入对应的用户名与密码登录自己的账号，在登陆后进入到图 3.10 所示的实际使用界面。点击“提出送货请求”按钮后，用户端会将用户的信息以及相关请求发送至云端服务器处理，同时软件的 ui 界面会显示“请求发送成功，系统正在安排配送”的提示信息，使得用户在使用过程中感受到自身请求得到响应的过程，保证用户的使用体验。当配送终端到达用户附近准备配送时，云端服务器会向用户端发送提示信息，提示用户准备识别并取件，用户端此时会响起“叮咚”的提示音，并且 ui 显示界面也会显示“配送无人机已到达，请您于窗口取货”的提示信息，在声音与界面两个角度提示用户快速到达窗口取件，尽可能减小无人机因在空中等待而导致的能量消耗。

总体来说用户端的软件设计逻辑较为简单，是用户实际使用的简化，但是在本系统中依然可以完整地模拟从用户发出送货请求到货物配送到达的完整过程，体现出本系统在实际使用过程中的功能完整性。

4.2.3 云端服务器软件设计



图 3.14 云端服务器软件主界面

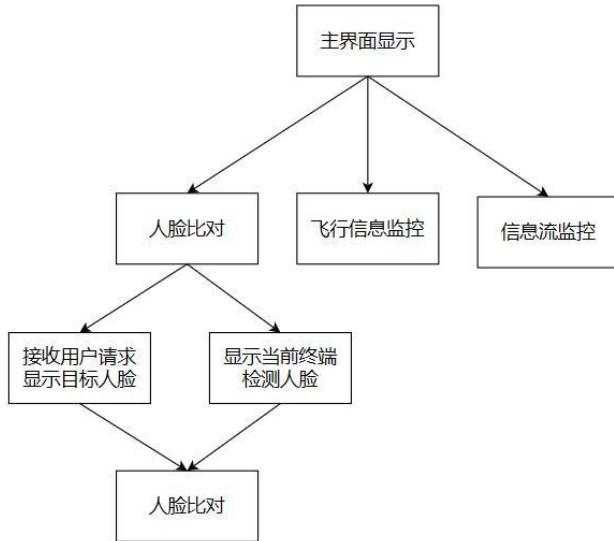


图 3.14 云端服务器软件流程图

如图 3.14 所示为云端服务器端软件流程图，云端服务器有两项主要功能，其一是将用户的请求以及配送终端的状态相互转发，其二是实时接收配送终端的飞行数据，监控配送飞行器的飞行状态。

作为 5G 应用背景下的云服务器，本系统将主要的计算置于终端设备中，因此云服务器端的计算压力相对较小，主要用于处理用户请求以及监控配送终端实时状态，作为用户与配送终端信息收发的中转。在实际应用场景下，有效地降低云服务器端的计算压力可以保证该端可以有效处理多用户多终端场景下的数据流监控以及数据收发，从而在未来进一步拓展运用中将富裕的计算压力置于路线规划与商业数据分析，甚至于实现自动配送与飞行器远程操控的拓展功能。

因此云服务器端的软件结构整体设计可以保证在未来多用户多终端的应用场景下作为本系统的“信息中枢”发挥功能。在当前应用场景下，各功能实现简明高效，人机界面简洁美观，可以实时监控终端发向云端的数据流内容，方便快速排查在信息通路中出现的问题，借助于阿里云稳定地实现其自身功能，保证终端设备与用户沟通的顺利进行。

4.2.4 地面基站端软件设计

地面基站端以 stm32f103zet6 为主控芯片，由实现数据上云的 WiFi 芯片 ESP8266 以及与无人机控制端和无人机配送端通信的 2.4G 射频模块 NRF24L01 组成。整体主要功能是实现数据的接收和转发。

系统上电后，ESP8266 模块会识别并连接附近的 WIFI，连接 WIFI 后，便订阅阿里云服务器上的消息收发主题，开启与云端的消息透传模式。基站识别接收到的消息中的地址帧并将消息转发到对应的终端。

为了提升系统的稳定性，系统设置了自动重发机制。当将消息转发至一个终端后，终端需要给基站回复接收确认消息。若在消息发出后的一段时间内基站未收到接收确认信息，则会将消息重新发送，同时记录重发次数，将消息存入 Flash 中供系统维护时查看。

4.2.5 飞机配送端软件设计

飞机配送端由 GPS 模块、超声波测距距离预警模块、摄像头人脸识别模块、语音播报模块以及货物弹射的舵机控制部分，并通过 stm32 作为主控芯片实现整体流程的控制。在无人机飞行的过程中，stm32 实时接收到 GPS 接收到的位置、高度和速度信息并将其打包成数据包后通过基站传送给飞机控制端和后台云服务器控制端。

在无人机的前后左右四个方向各有一个超声波模块，当某一方向的距离小于预警值（50cm，可视环境的不同改变安全距离），飞机控制端的屏幕上将会显示出相应的预警信息，此时飞手便可根据预警信息对飞机的飞行状态做出相应的调整。此外，stm32 会收集无人机上 GPS 模块实时传回的经纬度、海拔、速度等信息，并将这些信息传送至飞机控制端和后台云服务器，以供后台实时监控飞机的位置信息。飞机导轨前端的摄像头用于人脸信息的采集和以及人脸特征矩阵的提取。在用户取件之前，摄像头会采集用户的人脸信息，提取出其特征值，并将信息传送给 stm32，stm32 将特征矩阵发送到后台云服务器，后台云服务器此时便将接收到的特征矩阵与目标用户的人脸数据进行比对，传回比对结果。飞机端 stm32 接收到比对结果后便会做出相应的反应。若人脸匹配，stm32

控制舵机弹出货物；若人脸不匹配，此时语音模块会播报一段 6 位验证码，并将验证码传回云端。用户接收到了验证码后需要登陆客户端输入该验证码。之后飞机端会接收到来自后台云服务器的验证码验证结果。若验证码匹配则弹出货物，否则货物不弹出。

整个无人机货物配送端的货物配送逻辑清晰合理，在保证配送安全可靠的情况下尽可能减少用户对该系统的学习成本。同时配备相应的语音播报提示，即使是一个初次使用本系统接收货物的用户也可以在语音的指引下成功取走货物。此外，飞机上的多种传感器实时将飞机状态信息传送至地面，让飞手和后台可以实时了解无人机的飞行状态。通过对一段时间内飞行数据的分析，后台工作人员可以及时发现系统可能存在的漏洞和不足，及时对系统做出优化。这也对未来实现无人机自动配送中的无人机自动飞行、配送调度、错误预警等功能提供了丰富的接口，使系统具备较大的可拓展性。

4.2.6 飞行控制端软件设计

飞机控制端面向的用户是无人机飞手，因此该部分的功能设计也紧紧围绕着这个方向展开。

控制端的通过一个无线射频模块与基站通信，从而间接地接收来自各个终端的信息。在无人机飞行的过程中，控制端会不断接收到无人机飞行的状态信息，如经纬度、海拔、速度以及距离预警等，并将这类信息显示至一块屏幕上。通过对这些信息的查看，飞手可以实时了解无人机的飞行状态并对无人机的飞行做出相应的调整。

当系统后台接收到来自用户的订单请求时，会向飞手发送订单信息，此时控制端屏幕上会通过弹窗的方式显示新的订单的订单号和配送地址。飞手接到订单后，操控无人机将货物配送至指定位置并按下屏幕上的“飞机已到达按钮”。之后飞手只需原地等待直至控制端屏幕上出现包裹已取走弹窗后将操控无人机飞离并前往下一目的地。

五、作品效果分析

本项目作为包含各个端口的无人机配送系统，最终实现了轻量级物品配送需求下的无人机配送功能。同时，本系统具有操作逻辑简单友好，人机交互直观清晰的特点，使得第一次使用本系统的用户可以快速上手，同时系统管理人员也可以很方便地操控和维护本系统。

系统包括无人机配送端、基站、飞机操控端、后台管理端以及用户端。其中：

无人机配送端主要用于运载和送出货物，人脸识别验证用户身份以及在人脸识别失败后播报验证码。同时，无人机上搭载了超声波传感器、GPS 模块等多种模块，通过 NRF 无线通信模块将传感器信息传至地面。



图 5.1 无人机

基站接收并转发来自无人机、飞机操控端和云端服务器的配送消息。

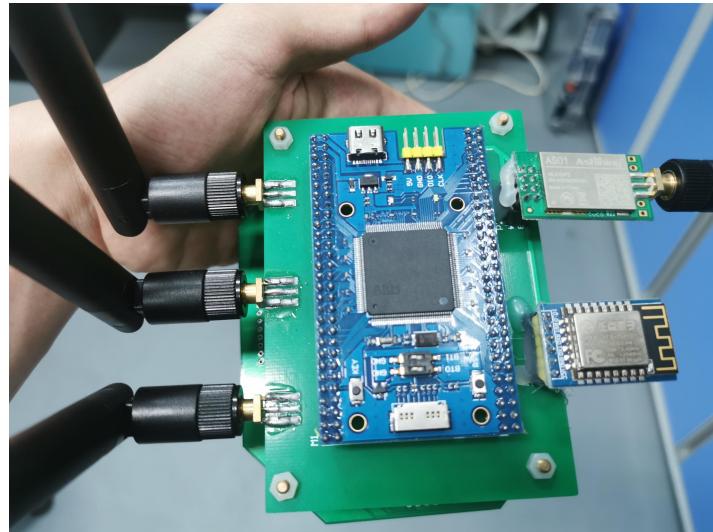


图 5.2 基站

飞机操控端用于飞手操控无人机、显示当前派送的订单信息以及完成飞手派送物品过程中的相关操作。操控端界面如图 5.3 所示，屏幕上会实时显示当前无人机的经度、维度、高度和速度信息。同时，当无人机在前后左右的某个方向出现障碍物时，屏幕对应的方向上会出现闪烁的圆弧，提示飞手注意躲避。

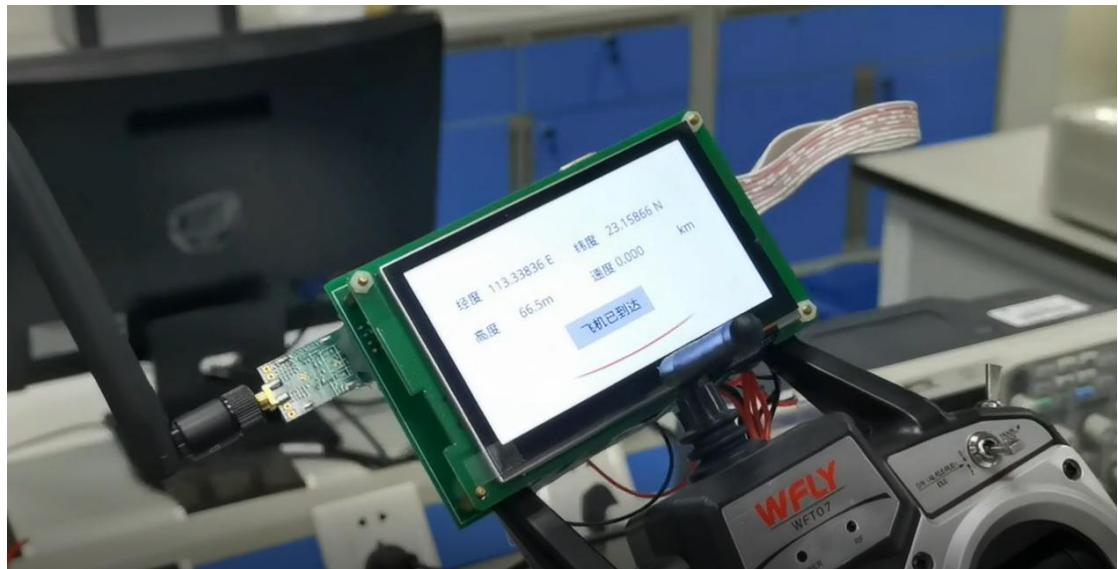


图 5.3 无人机操控端界面

后台管理端用于维护管理信息和数据，并实时监控当前所有订单信息、各个订单的配送状态和无人机的飞行数据。



图 5.4 后台管理端主菜单

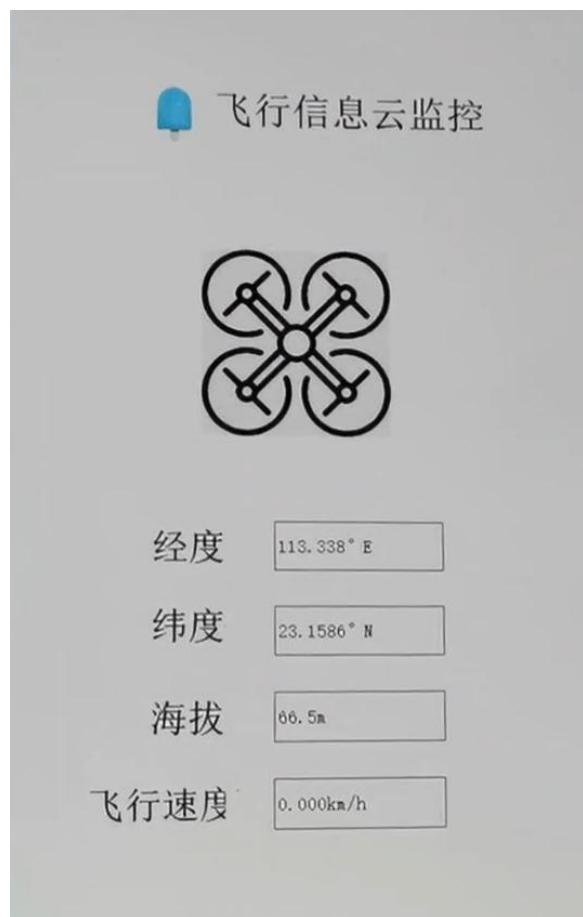


图 5.5 飞行信息监控界面

用户端登陆界面如图 5.6 所示，此时用户输入用户名和密码，即可登陆账户，进入如图 4.7 所示主菜单。用户点击相应按钮可完成提出订单、用户查看配送状态和完成收件操作。



图 5.6 用户端登陆界面

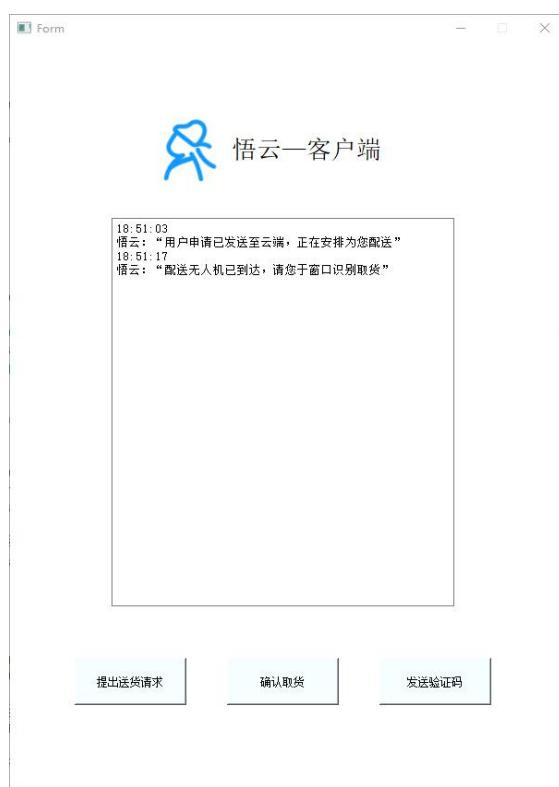


图 5.7 用户端消息界面

本系统的一个典型且完整的配送过程包含以下几个步骤：

- 1)、用户在用户端上提出订单请求并确认配送信息，并将配送信息传输至后台管理系统；

- 2)、后台管理端接收订单信息，将该订单分配至该无人机控制员；
- 3)、无人机控制员获取待配送物品信息和配送地址，无人机控制员从物流仓库中将物品装载到无人机上并启动无人机进行配送；

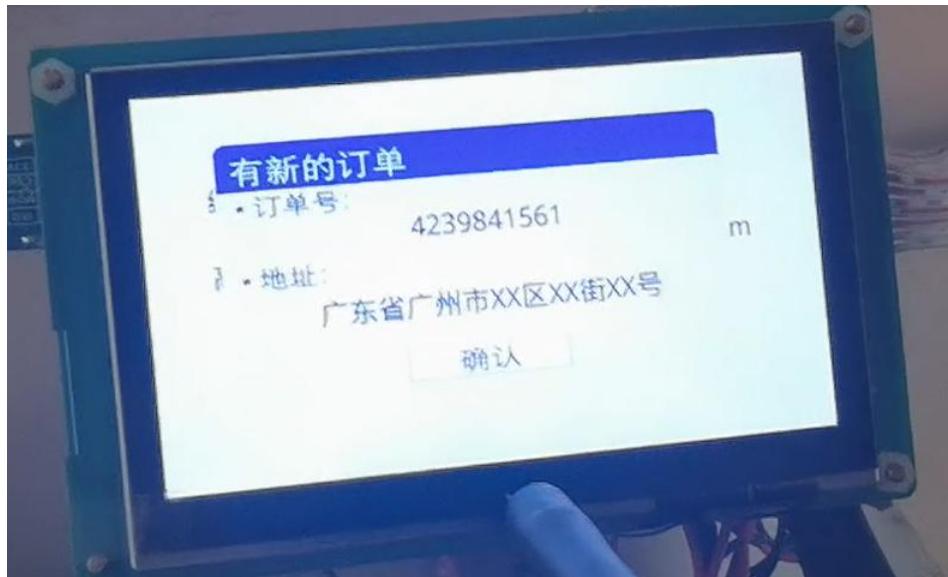


图 5.8 无人机控制端订单显示

- 4)、无人机到达目标用户配送地址后，飞机操控端将到达消息发送至后台管理端和用户端，同时将用户人脸信息发送至无人机；
- 5)、用户端接收到无人机到达的消息后，向用户发出物品到达目的地的消息，并配以铃声提示，提醒便用户到达无人机前准备取件；
- 6)、用户取件时，无人机补光灯打开，摄像头识别用户人脸并与本订单目标人脸进行匹配；若人脸匹配成功，无人机控制物品传送装置传送包裹；若人脸匹配失败，无人机发送错误信息至后台管理端，后台管理端生成取件识别码，将取件识别码发送至无人机端，无人机会播报一随机取件识别码。用户在用户端点击“发送取件码”按钮，输入无人机播报的取件识别码。后台管理端接收到正确取件识别码后向无人机取件指令，无人机接收到取件指令后控制物品传送装置传送包裹；



图 5.9 无人机开始识别人脸

9)、用户取走货物导轨前端被传送出的包裹，无人机向飞机操控端和后台管理端发送包裹取走信息；



图 5.10 用户取走物品

10)、飞手操控无人机飞回物流仓库。

本系统很好地解决了传统物流配送中速度慢、效率低、易受地面交通影响等诸多弊端，尤其适应当下疫情期间的无接触配送需求。通过使用本系统，药物能够以最快速度送达患者手中。尤其对于急性症状病人，使用本系统避免了长时间等待药物而导致的病情加重。同时，对于可能具备感染性的病人，如疫情期间居家隔离的病人，采用本系统也最大程度上保障了药物配送人员自身的

安全。

通过导轨弹射货物，让用户可以从窗口取件，以及人脸识别的用户身份验证方式是本项目的创新点所在。这使得配送过程更加简洁方便。

六、 结论与展望

本项目模拟 5g 通信方式构建了无人机智能配送系统，从用户发出请求开始到用户接收货物结束，单一流程下实现以模拟 5g 基站为核心，飞行配送端、飞行控制端、云服务器端、用户端的相互通信；经度纬度、海拔高度、飞行速度、障碍预警等信息的采集；语音播报、用户端声音提示、控制端消息框提示等 UI 设计。信息通路整体逻辑严谨，功能实现与系统时序紧密结合，数据重发与筛选机制保障了在复杂信息通路中各个终端收发信息的可靠性，飞行配送端机械结构的相关设计也使得用户实际使用中的人身安全得以保证，综合而言本系统有着较大的实际应用价值，有广泛推广的潜力。

在未来，本系统将从以下几点进行的优化：

- 1：使用 5g 模块与实际 5g 基站连接，实现无人机的远程控制，逐步减少无人机对于飞行控制端的依赖，进一步落实智能飞行的理念。
- 2：优化人脸识别相关算法，使得人脸识别的准确性与速度进一步提升，使其相关性能进一步满足实际使用需求。
- 3：进一步优化机械结构设计，减轻机身总体重量，提高飞行配送端的续航能力。
- 4：引入多架无人机进一步完成系统的概念，保障整体信息通路在较大数据量的使用场景下的并发性与收发的正确性。
- 5：在无人机上增加语音识别模组，配合高效率的 DSP 算法对环境噪声（如螺旋桨噪声）的学习和滤除，实现配送时无人机与用户在较远距离下的功能交互，进一步提高系统人机交互的友好性。
- 6：在 5G 应用背景下运用超宽带定位技术(UWB)，完成无人机的室内定位功能，定位精度可达到厘米级别，配合现有的避障功能，使得无人机大楼内部精确定位及货物配送。

七、课程设计心得与收获

李承睿：

在本次电子系统课程设计中，我所在的小组完成了“基于物联网的无人机智能配送系统”的设计与制作，应对新形势下的疫情防控背景，提出了我们自己的智能化无接触式配送的解决方案。在整个课程设计的过程中，最令我印象深刻的就是立项过程中的思维碰撞，问题根本在于如何利用现有的技术和经验基础去实现一个具有实际应用价值的创新性方案，在总目标确立之后，实现最终目标的技术路线与思路又是迥乎不同，如何在提出的各种方案中选择一种最贴切实际应用场景的实施方案，又是一段激烈的权衡与考量。在这个过程中，我体会到顶层设计的艰难，在完成一个实际的项目中，需要面临的问题既是抽象的又是细微具体的，经过大量资料的查询与讨论之后，最后确立的方案在兼顾实际应用价值的同时又具有创新意义，整个设计的过程是使我受益最多的。

在项目实施的过程中，是对动手能力的考察，更是对解决问题能力的锻炼，在不断遇到问题、解决问题、避免问题的过程中锻炼了我思维的严谨性，这些能力的培养为我在以后的科研工作中打下了坚实的基础，良好的科研品质来源于平时一点一滴的项目锻炼中。总之，这门课程使我受益颇丰。

李仲源：

本次课程设计开放性较强，给了我们自主选择方向的机会以及很大的创新空间，同时再加上资金的支持，让我们可以放开手去做。

本次课设也让我们从头到尾体验了工程项目从选题立意到开题到结题的全过程，这让我真实地体会到一个项目不仅要考虑方案，也要考虑更多方面的条件如：成本控制，可行性，市场前景等。让我对工程项目的规划有了更加宏观的认识。

同时，不同于以往的课设，本次的项目难度较大，主要体现在工程量较大，周期长，设计知识面广。对我和同组的成员来说是一个不小的挑战。需要详细规划时间安排，并且时时确认进度。

在本次的项目中我也收获了成功的喜悦，以及看到自己的只是能够充分地得到应用而获得成就感，我相信这次的项目经验对于毕业之后所要从事的工作有这巨大帮助。

黄泽豪：

在本次课程设计中，我们组完成了一个相对完整的电子系统。在整个课程

设计的过程中，我得到了很多的收获。

首先是课题的选择。我们组三个人在这一阶段花了非常多的功夫。在初步将系统选定在无人机配送上之后，我们查阅了大量的资料，了解了现阶段无人机配送方面的主要进展和技术限制，在保证系统完整性和创新性的前提下进行了大量的讨论，提出了很多的想法。同时，出于对我们各自能力的判断，项目时间的规划了经费的限制，我们否决了很多看似可行实际上却难以实现的想法。我们严格划定了我们系统的功能和边界，详细地讨论了各个部分的实现方案。可以说，正是前期所花费的大量的功夫保证了我们的项目可以按计划有条不紊地进行。

由于本系统设计到了很多方面的知识，如 MQTT 协议的通信流程、WIFI 的通信流程、阿里云服务器的搭建、连接和配置等。这要求我通过查找资料迅速了解一个全新的领域或者迅速学会使用一项全新的工具。一方面，这锻炼了我查找资料、解决问题的能力。另一方面，这个过程也启示了我要“不求甚解”，不能太过于纠结一项技术各个方面的细节。

例如在使用 MQTT 协议的过程中，我花了大量的时间研究 MQTT 协议的状态机、不同报文的格式和用法、不同版本的区别。虽然从学习的角度，研究 MQTT 协议的过程给我留下了很多宝贵的经验；但是从项目的角度上，很多的内容如一些很少用到的报文类型、编码的方法等并不会影响我在项目中的使用使用该协议，而对细枝末节的关注却会拖慢我在项目中的进度，是不可取的。

此外，系统联调的过程让我积累了很多经验，也给我带来了很多启发。

在最终联调时，无人机上的传感器控制系统偶尔会卡住而不再往基站发送数据。我们考虑了各种的情况、如通信过程中未收到某个信号而始终保持在状态机的某一状态、电源供电不稳、无人机飞行控制信号与 NRF 射频模块信号之间产生干扰等。经过长时间的调试，最终发现原因是无人机端超声波测距模块没有收到超声波回波信号而导致程序阻塞。在写这部分程序时我出于方便考虑直接将程序写成了阻塞方式。而正是这个小小的细节导致了系统意想不到的 bug。此外、我们联调时还遇到有时语音模块无法正常播报提示、或者货物提前弹出等情况。我们使用示波器抓取系统运行过程中各个环节、板子上各个部分的信号波形，最终判断是因为无人机飞行过程中电压波动导致。队友在板子上加焊去耦电容后问题得到解决。

若是在简单的小项目中，以上的疏漏都很可能不会带来任何问题。但是当项目规模较大时，问题便暴露了出来。在系统联调时，由于涉及到了众多模块，调试排错将会花费大量的时间和精力，定位和排除错误的难度也将大大地提升。这次课设让我明白了在平时模块设计过程中要足够严谨，应养成良好的习惯，

注重设计的规范性。另外，调试排错的过程也让我明白了程序设计时预留各种调试信息和调试接口的重要性。我编写代码时加入了部分代码，让串口输出的 WIFI 的连接状态、当前通信的状态以及接收和发送每条报文。这些信息对我最终的调试的过程提供了很大的帮助。

最后，这次课程设计也是对我们团队协作能力很大的考验。项目的正常推进要求我们组员之间能够各司其职并及时沟通。课程设计的整个过程中我们组三个人都花费了大量的精力，大家互相讨论相互合作。当一方面面临困难时其他的组员能够及时提供帮助，一方出现问题时大家也能互相鼓励而不加以指责。我们项目的顺利完成很大程度上也要归功于此。

八、附录

8.1 组内成员分工

黄泽豪：

1. 设计和搭建系统通信网络
2. 编写无人机端、基站端、无人机控制端各个模块驱动和互连相关代码

李承睿：

1. 用户端和后台的网页客户端代码的编写
2. 人脸识别算法的设计
3. 搭建云端服务器

李仲源：

1. 搭建无人机
2. 货物搭载和配送的机械结构设计
3. 绘制 PCB 电路板

8.2 经费使用情况

项目	金额（元）
相关书籍（5 本）	254.5
无人机维修工具	89
无人机锂电池	144
合计	487.5