

会签	档号		编号	
	保管期限		密级	
	归档日期		阶段标记	C
	无人机管控模块			
	总体设计方案			
	版本	V1.0		
	部门			
	编写	黄建刚		
	校对			
	审核			
	质量			
	标审			
	批准			
	成都大学			
数据通信与网络实验室				
二零一七年十一月制				

内容摘要:

根据 XXXX 子系统总体方案对 XX 单板的设计要求，对 XX 单板的硬件总体设计方案进行阐述。

主
题
词

更改记录

版本号	更改日期	更改人	更改情况	归档日期	签收人
V0.1	2017-5-15	黄建刚	文档初始稿，确定文档架构		

目 录

目 录.....	I
表.....	IV
图.....	V
1 引言.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 研制目的.....	1
1.3 研制依据.....	1
1.4 术语及缩略语.....	2
1.5 设计参考文档.....	3
2 功能描述和主要性能指标.....	4
2.1 要求来源说明.....	4
2.2 单板功能描述.....	4
2.3 指标要求.....	5
2.3.1 身份标识.....	5
2.3.2 通讯能力.....	5
2.3.3 导航能力.....	7
2.3.4 状态监视能力.....	7
2.3.5 飞行控制能力.....	8
2.3.6 加密能力.....	8
2.3.7 ADS-B OUT 能力.....	8
2.3.8 人机接口能力.....	8
2.4 功能要求.....	9
2.4.1 身份标识管理.....	9
2.4.2 通信管理.....	9
2.4.3 导航管理.....	9
2.4.4 状态监视管理.....	10
2.4.5 飞行控制管理.....	10

2.4.6	加密管理.....	10
2.4.7	ADS-B OUT 管理.....	10
2.4.8	服务器功能.....	10
2.4.9	人机接口功能.....	11
2.5	产品形态.....	11
2.5.1	微型.....	11
2.5.2	中型.....	12
2.5.3	增强型.....	12
2.6	外观设计要求.....	12
2.6.1	微型产品.....	13
2.6.2	中型和增强型产品.....	13
2.6.3	尺寸问题.....	14
3	概要设计.....	15
3.1	硬件架构.....	15
3.1.1	微型.....	15
3.1.2	中型和增强型.....	15
3.2	产品结构.....	16
3.2.1	微型.....	16
3.2.2	中型和增强型.....	17
3.3	模块划分.....	18
4	硬件总体方案.....	19
4.1	系统总体框图.....	19
4.2	数据流程说明.....	19
4.3	模块接口和通信协议.....	20
5	关键器件选型.....	21
5.1	对外接口规范.....	21
5.2	控制模块.....	21
5.3	移动通信模块.....	23
5.4	导航模块.....	25

5.1	ADS-B OUT 模块	26
5.2	大 S/铱星模块	27
5.3	PCB 布局	28

表

表 5-1 大 S 通信模块特性参数.....	27
表 5-2 关键器件尺寸及所占 PCB 面积积.....	28

图

图 2-1 不同产品形态间的差异.....	12
图 2-2 微型型号产品外观尺寸图.....	13
图 2-3 中型和增强型产品外观尺寸图.....	13
图 3-1 微型产品硬件架构.....	15
图 3-2 非微型产品硬件架构.....	16
图 3-3 微型产品结构框图.....	16
图 3-4 微型产品硬件布局图.....	17
图 3-5 非微型产品硬件布局图.....	17
图 4-1 系统总体框图.....	19
图 5-1 STM32 功能清单	22
图 5-2 EC20 特性指标	23
图 5-3 MTK6753 部分特性列表	24
图 5-4 MTK6753 系统功能框图	24
图 5-5 BMP280 特性指标	25
图 5-6 MPU-9250A 特性指标	26
图 5-7 铱星收发模块部分参数指标.....	28
图 5-8 PCB BOTTOM 层器件布局图	29
图 5-9 微型产品 PCB BOTTOM 层布局图.....	29

1 引言

1.1 任务来源

我国目前低空空域飞行安全问题尤其突出,无人机行业发展存在着无人机飞行空域与通航飞行器、航线运输飞机飞行空域都有交叉,驾驶员水平参差不齐,“黑飞”活动猖獗,违规飞行事件频发,未按流程申报飞行计划或私自改变飞行计划问题严重;除了在机场和其它禁飞区,在户外其他场所,无人机飞行时对其他飞行物和地面人员同样可能构成安全隐患,违规飞行危及地面人员生命财产安全的事件也时有发生。面临诸多问题,项目拟推出新一代无人机管控系统,有效解决上述问题,顺利推进我国低空域开放和促进其顺利发展。

1.2 研制目的

针对民用轻小微型无人机快速发展带来的安全隐患问题,对需要列入管控的轻小微型无人机,开发具备身份识别、飞行跟踪、航迹管理、飞行接管功能的机载管控模块,配合地面安全监控云系统,实现“监视、追踪、定位、接管、限制”的需求;配合无人机运行管理云系统,实现无人机厂家、客户、运营公司等对无人机进行“随时、随地”的实时或离线管理。

1.3 研制依据

参考无人机行标和国标。

1.4 术语及缩略语

术语/缩略语	定义	说明
--------	----	----

1.5 设计参考文档

列出该方案中所引用的文档，包括规范、立项时的产品需求规格、立项申请表、器件、结构件说明书等

2 功能描述和主要性能指标

2.1 要求来源说明

机载管控模块是实现项目研制目的的物质基础和前提，地面安全监控云系统是实现研制目的的软件平台。软件平台所需要的所有数据和操作均由机载管控模块提供和实施。

本文档详细描述机载管控模块的功能要求、性能要求以及实现方式。

2.2 单板功能描述

要实现“监视、追踪、定位、接管、限制”的需求，机载管控模块必须具备但不限于以下功能：

- 1、**唯一身份标识**，此标识与无人机绑定，实现一机一标识，并要求在安全监控云系统中注册，进行身份识别与验证；
- 2、**无人机定位**，可以实时定位无人机位置；
- 3、**飞行跟踪**，可以实时跟踪并记录无人机位置，从而显示其飞行航迹；
- 4、**航迹管理**，对于受管制的无人机，其飞行安排及其飞行航路需要得到管制单位的许可。本模块可以从地面安全监控云系统实时下载航迹规划，并在飞行过程中对许可的航迹与实际航迹进行实时比对，当出现航线偏离时及时发出告警。如果超过管制许可，将强制接管无人机，以接受管制中心的控制；
- 5、**电子围栏**，内置电子围栏数据，并由地面安全监控云系统实时更新；在飞行过程中，实时监视其飞行轨迹，在即将进入电子围栏时，本模块可强制接管无人机，以接受管制中心的控制；
- 6、**飞行控制**，对于受管制的无人机，当其实时飞行轨迹偏离所许可的规划航迹时，或即将进入禁飞区，或即将进入电子围栏时，本模块可强制接管无人机，实现对无人机的返航、悬停、迫降等控制，并接受管制中心的控制；

- 7、**状态监视**，实现对无人机各种运行状态的实时监视，并提供“黑盒子”功能，确保无人机无论是在线还是离线状态，在出现故障时都能获取到其飞行数据，实现地面安全监控云系统和无人机运行管理云系统；
- 8、**信息加密**，采用无人机标识和公钥系统，确保无人机与地面安全监控云系统和无人机运行管理云系统间交互信息的安全。
- 9、**人机接口**，提供本地或远程人机接口，支持本地或远程程序升级、数据下载与上载；

后继可以提供以下增值服务：

- 10、**气象服务**，与地面安全监控云系统实时交互，更新气象信息，并可根据气象情报为飞行提供及时的预警和安全保障；
- 11、**空情服务**，与地面安全监控云系统实时交互，更新飞行区域空情信息，并可根据空情信息实现防撞、航迹更新等功能，为飞行提供及时的预警和安全保障；
- 12、**数据链服务**，可以为多架次的无人机提供数据链服务，实现无人机间的无线自组网络，进行无人机与无人机、无人机与地面间的信息交互。

2.3 指标要求

根据所需要完成的功能，硬件指标要求如下：

2.3.1 身份标识

机载管控模块提供唯一身份标识，包括：

- 1) 全球唯一的 15 位数字的 IMEI 串号；
- 2) 生产时随机/规则化产生的全球唯一的 24 位机载管控模块串号，此串号固化到硬件中，不可更改；此串号可以作为 MAC 地址的一部分作为通讯时使用；

2.3.2 通讯能力

机载管控模块提供以下通讯能力：

- 1) 2G/3G/4G 移动通信：支持国内三大运营商 2G/3G/4G 的移动通信，可以充分利用运营商的移动通信网络，建立起可靠的通信服务；随着 5G 的发展，后继将支持 5G 的通信；具体空中及接口指标如下：

频段：

LTE FDD: B1/B3/B8

LTE TDD: B38/B39/B40/B41

TD-SCDMA: B34/B39

WCDMA: B1/B8

GSM: 900/1800MHz

数据：

LTE FDD: 最大 150Mbps (DL)/50Mbps (UL)

LTE TDD: 最大 130Mbps (DL)/35Mbps (UL)

UMTS DC-HSDPA: 最大 42Mbps (DL)

UMTS HSUPA: 最大 5.76Mbps (DL)

UMTS WCDMA: 最大 384Kbps (DL/UL)

TD-SCDMA: 最大 4.2Mbps (DL)/2.2Mbps (UL)

CDMA2000 EVDO: 最大 3.1Mbps (DL)/1.8Mbps (UL)

CDMA2000 1XAdvanced: 最大 307.2Mbps (DL)/(UL)

GSM EDGE: 最大 296Kbps (DL)/236.8Kbps (UL)

GPRS: 最大 107Kbps (DL)/85.6Kbps (UL)

音频：

编解码方式：HR/FR/EFR/AMR/AMR-WB

回声消除/噪声抑制

接口：

1 个 USB2.0 高速接口

1 个数字语音接口

- 2) 大 S 或铱星通信：在移动通信网络不畅通，或移动通信网络不能覆盖的地区，采用大 S 或铱星卫星通信，建立起可靠的通信服务。具体空中及接口指标如下：

制式：S 移动/BD B1

频段： S 波段上行:1980MHz-2010MHz

S 波段下行： 2170MHz-2200MHz

业务支持：语音： 1.2/2.4/4Kbps

数据业务： 1.2Kpbs-384Kbps

短消息：消息长度 140 字节

接口： 1 个 UART 接口， 1 组 PCM 信号， 1 组 USB 信号， 1 组 SDIO 信号， 1 组 USIM 信号， 1 组控制信号。

2.3.3 导航能力

机载管控模块提供以下导航能力：

- 1) 北斗导航功能：支持国内北斗导航系统；
- 2) GPS 导航功能：支持美国 GPS 导航系统；
- 3) 可选：支持俄罗斯 GLONASS 导航系统；

具体空中及接口指标如下：

GPS：

BD：

2.3.4 状态监视能力

机载管控模块提供以下状态监视能力：

- 1) 无人机实时高度；
- 2) 无人机实时速度、加速度；
- 3) 无人机飞行时的方向；
- 4) 无人机工作情况：通过对无人机接口状态以及无人机电源输出状态的监视获取无人机的工作情况；
- 5) 数据存储能力；

具体接口指标如下：

气压传感器：

9 轴传感器:

2.3.5 飞行控制能力

机载管控模块提供以下飞行控制能力:

- 1) 提供与无人机飞控系统的接口, 以标准的 UART 接口进行连接;
- 2) 提供标准的无人机飞行控制操作命令;

具体接口指标如下:

1 组 UART 信号;

速率:2400bps 至 115200bps, 可选

2.3.6 加密能力

实现硬件加密引擎, 提供强大的加密保护能力; (STM32 暂不支持)

2.3.7 ADS-B OUT 能力

通过 ADS-B OUT, 实现以下能力:

- 1) 支持 ADS-B OUT, 实现电子围栏管理;
- 2) 实现 ADS-B OUT 发信机;
- 3) 实现 ADS-B OUT 协议;

具体空中及接口指标如下:

1 组 UART 接口;

速率:2400bps 至 115200bps, 可选

2.3.8 人机接口能力

- 1) 对外提供标准的高速 USB 接口;
- 2) 此接口集成充电功能;

具体接口指标如下:

1 组 USB 2.0 信号；

2.4 功能要求

针对机载管控模块硬件，需要提供以下基本功能：

2.4.1 身份标识管理

硬件提供全球唯一的 IMEI 串号以及机载管控模块硬件序号，在地面安全监控云系统和无人机运行管理云系统中实现：

- 1) 注册时，IMEI 号、机载管控模块硬件串号、无人机硬件串号三号绑定；
- 2) 识别时，上述三号同步校验；
- 3) 通讯时，上述三号同时作为密钥种子；
- 4) 通讯时，机载管控模块硬件串号作为 MAC 地址的一部分使用。
- 5) 实现对无人机飞行的授权管理；

2.4.2 通信管理

硬件提供灵活的通信功能，支持 2G/3G/4G/(5G)、大 S 或者铱星卫星通信。对上述通信链路：

- 1) 随时监测各通信链路的通信质量；
- 2) 对各链路通信质量进行检测，并选择通信质量最佳的链路建立通信；
- 3) 可以在各链路间进行路由选择；
- 4) 支持多链路并发通信，以提供更高带宽，满足大数据量传送的需求；
- 5) 支持流量控制与负载均衡；

2.4.3 导航管理

- 1) 提供不同导航系统间的切换功能：BD/GPS/GL0；
- 2) 提供实时定位数据；

- 3) 飞行过程中提供实时导航数据;

2.4.4 状态监视管理

- 1) 实时获取无人机工作状态;
- 2) 实时获取无人机飞行状态;
- 3) 状态的按需发送;
- 4) 监视本模块工作状态, 包括电源监视和温度检测;
- 5) 状态的存储, 无论离线还是在线, 机载管控模块均提供“黑盒子”功能, 采用状态变化压缩算法, 确保在有限的存储空间中保存足够长时间的数据;

2.4.5 飞行控制管理

- 1) 对合作型无人机实现飞行控制管理功能, 包括悬停、返航、迫降等控制, 并可以接入管制中心进行实时在线控制;
- 2) 对飞行轨迹与规划航迹进行管理;
- 3) 对电子围栏数据进行管理;

2.4.6 加密管理

- 1) 实现三码绑定功能;
- 2) 实现基于三码的密钥管理;
- 3) 实现基于三码的硬件加密功能;

2.4.7 ADS-B OUT 管理

- 1) 实现 ADS-B OUT 协议;
- 2) 按协议要求进行实时数据广播;

2.4.8 服务器功能

- 1) 提供与地面安全监控云系统和无人机运行管理云系统的网络接口;

- 2) 实时提供地面安全监控云系统和无人机运行管理云系统所需要的数据；
- 3) 管理本地的数据库，包括状态信息、航迹规划信息、电子围栏信息、气象信息、空情信息等；
- 4) 管理本地的黑盒子数据；
- 5) 接受地面安全监控云系统和无人机运行管理云系统下达的指令并转交无人机飞控系统执行；
- 6) 对执行结果进行确认；

2.4.9 人机接口功能

- 1) 为降低硬件复杂程度、硬件成本，确保设计在所要求的尺寸、重量、功耗范围以内，硬件上仅提供 USB 接口；
- 2) 采用软件实现人机接口功能；
- 3) 在移动终端或云系统中，实现对机载管控模块的管理；
- 4) 通过 USB 接口，可以在电脑上实现对机载管控模块的管理；
- 5) 支持本地或远程程序升级；
- 6) 支持本地或远程数据更新(受管控的数据需要得到云系统的许可)；
- 7) 支持本地或远程黑盒子数据上载；

2.5 产品形态

根据无人机分类及管制需求，产品形态可分为以下三种：

2.5.1 微型

微型主要针对微型无人机，要求重量最轻，体积最小，功耗最低，主要实现对无人机的身份认证、通信管理（仅支持 2G/3G/4G 通信）、导航管理、状态监视、加密管理、服务器功能和人机接口功能；

2.5.2 中型

中型主要针对轻小型无人机，要求重量较轻，体积较小，功耗较低； 主要实现对无人机的身份认证、通信管理（仅支持 2G/3G/4G 通信，支持 ADS-B OUT）、导航管理、状态监视、飞行控制、加密管理、ADS-B OUT 管理、服务器功能和人机接口功能；

2.5.3 增强型

增强型主要针对中小型无人机，要求重量轻，体积小，功耗低； 主要实现对无人机的身份认证、通信管理（支持 2G/3G/4G 通信和大 S 通信，支持 ADS-B OUT）、导航管理、状态监视、飞行控制、加密管理、ADS-B OUT 管理、服务器功能和人机接口功能；

上述三种型号，其差异如下图 2-1 所示：

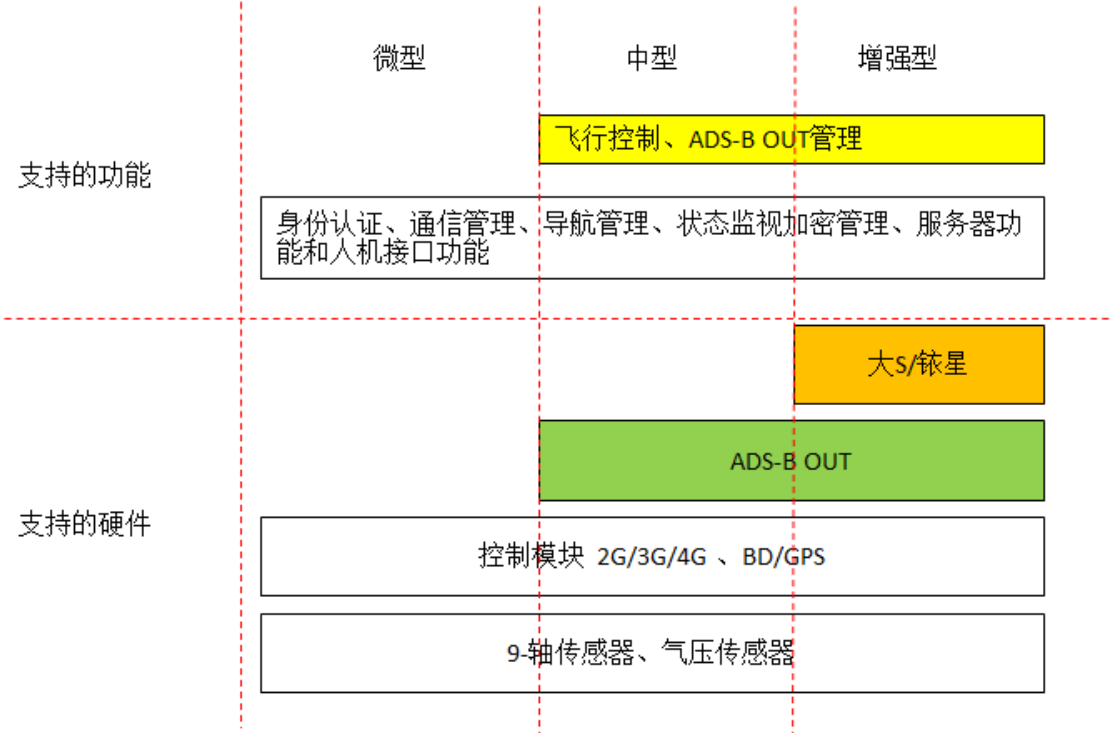


图 2-1 不同产品形态间的差异

2.6 外观设计要求

根据无人机飞行特点，产品需要防风、防雨、防震、高温运行。为满足运行

条件，采用全封闭的结构，对外的接口采用防水封闭设计。

为解决内置天线信号传播问题，外壳采用高强度塑料材料制作。外壳分为两层，层间采用胶垫密闭，两层通过上下对应的上卡扣进行紧密扣合。

2.6.1 微型产品

微型产品外观尺寸如下图 2-2 所示：

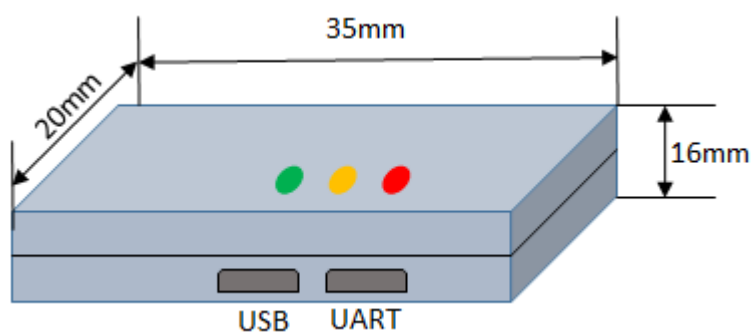


图 2-2 微型型号产品外观尺寸图

注意：上图仅为示意图，实际产品会与之有差异。产品外观采用圆角设计，LED灯显示处采用贴膜工艺以防雨水进入，分别显示电池状态，无线信号状态和工作状态（建议采用三色LED进行组合显示）。USB和UART采用防水设计，USB兼外部电源输入接口。

作为参考，U-BOX的尺寸是50*35*16mm、重约35克。

2.6.2 中型和增强型产品

中型和增强型产品外观尺寸如下图 2-3 所示：

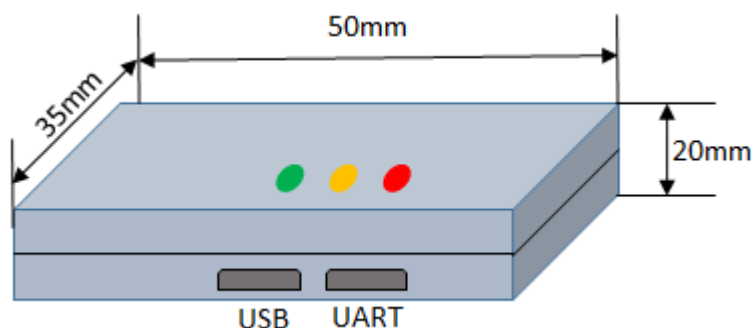


图 2-3 中型和增强型产品外观尺寸图

注意：上图仅为示意图，实际产品会与之有差异。产品外观采用圆角设计，LED

灯显示处采用贴膜工艺以防雨水进入，分别显示电池状态，无线信号状态和工作状态（建议采用三色 LED 进行组合显示）。USB 和 UART 采用防水设计，USB 兼外部电源输入接口。

2.6.3 尺寸问题

上面把不同形态的产品尺寸进行了说明。产品有两种不同尺寸。

从表面上看，小尺寸的可以降低成本，更好地满足于微型无人机的使用环境。但从产品研制和生产的角度来看，不同形态的产品，如果采用不同的尺寸，除了内部的 PCB 不能保持一致而外，部分模块也难以保持一致，比如通信模块，在小尺寸的产品上必须用小尺寸的通信模块，但在大尺寸的产品上可以用较大尺寸的通信模块；而最大问题是：外壳需要开两种完全不同的模，由此带来成本的大量增加，生产的复杂性增加，后期的维护成本增加等等问题。

因此，建议所有的产品形态均采用同一种尺寸较好。

3 概要设计

3.1 硬件架构

硬件平台拟采用超低功耗的 MCU 芯片作为核心 CPU，形成管理控制模块，负责接入其它的所有模块和传感器。

3.1.1 微型

微型产品与其它产品形态差异较大，需要单独设计。

微型产品其硬件架构如下所示：

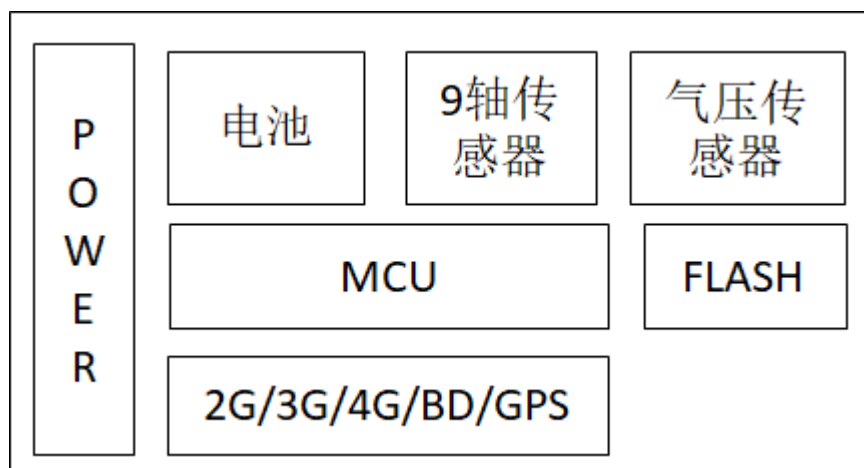


图 3-1 微型产品硬件架构

3.1.2 中型和增强型

中型和增强型产品采用统一的硬件架构，通过加载不同的模块实现产品的差异化。其硬件架构如下所示。

中型产品增加 ADS-B OUT，增强型产品增加大 ADS-B OUT 和 S/铱星。

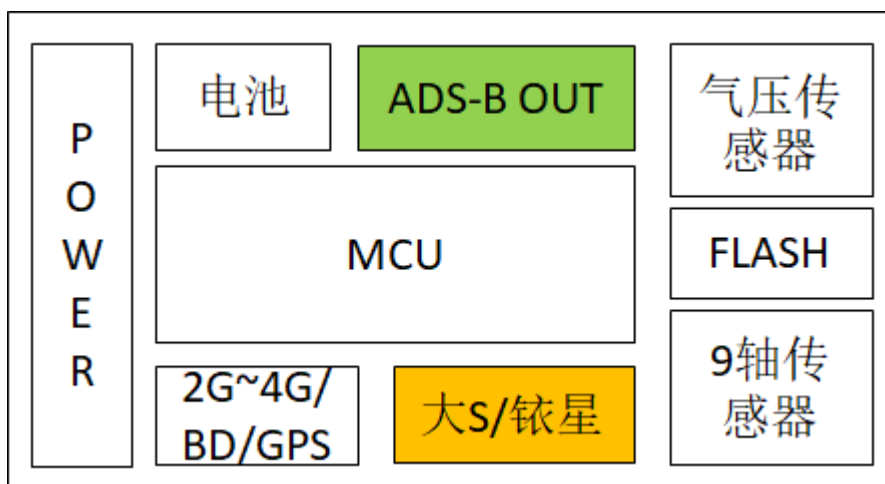


图 3-2 非微型产品硬件架构

3.2 产品结构

3.2.1 微型

微型产品的结构如下图 3-3 所示：



图 3-3 微型产品结构框图

产品由 4 层组成，分别是上层外壳，PCB，电池和底层外壳。电池的尺寸不大于 PCB 的尺寸，上层外壳和底层外壳通过卡扣扣合，层间缝隙由胶垫密封。

下图 3-4 是 PCB 的布局。PCB 上层是采用 MTK 或者 QUALCOMM 的 2G/3G/4G+BD/GPS 移动通信芯片，构成通信系统模块，通信系统的天线采用柔性 PCB 为材料的微带天线，粘贴在上层外壳内部，通过柔性 PCB 连接器连接到 PCB 上。

GPS/BD 的天线，建议采用柔性 PCB 为材料的微带天线，粘贴在底层外壳内部，通过柔性 PCB 连接器连接到 PCB 上。

PCB 的底层是 MCU 为核心的控制模块，包括外扩的 FLASH（作为黑盒子保存数据），电源，以及 9 轴传感器和气压传感器。

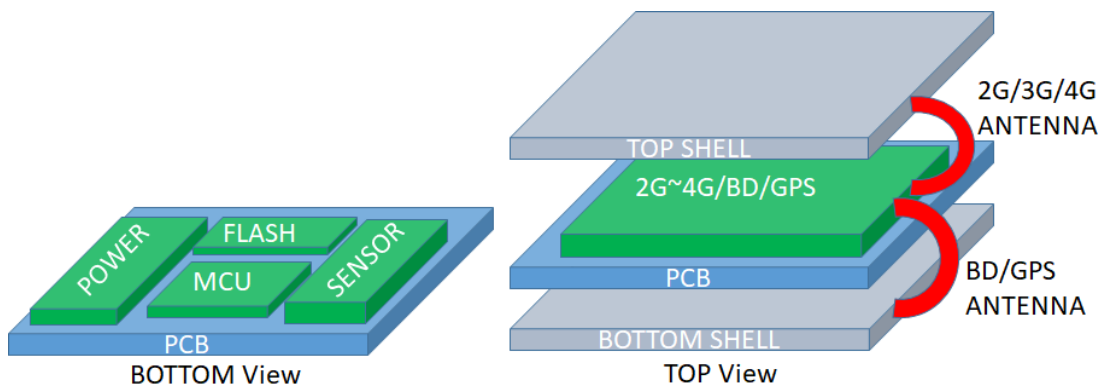


图 3-4 微型产品硬件布局图

3.2.2 中型和增强型

产品的结构与微型的一致，如图 3-3 所示，仍然由 4 层组成：底层外壳、电池、PCB 和上层外壳。

但硬件布局完全不同，产品尺寸大小也不一样，如下图 3-5 所示：

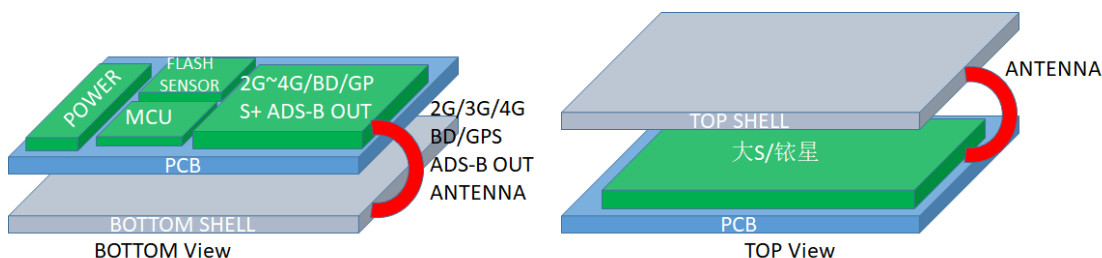


图 3-5 非微型产品硬件布局图

PCB 上层是大 S 或者铱星卫星通信模块，卫星通信系统的天线采用柔性 PCB 为材料的微带天线，粘贴在上层外壳内部，通过柔性 PCB 连接器连接到 PCB 上。

PCB 的底层是 MCU 为核心的控制模块和以 QUALCOM 模块或 MTK 模块为核心的移动通信系统。控制模块还包括外扩的 FLASH（作为黑盒子保存数据），电源，以及 9 轴传感器和气压传感器。

GPS/BD 的功能移动通信系统核心芯片提供，其天线，建议采用柔性 PCB 为材料的微带天线，与移动通信系统的天线一起，粘贴在底层外壳内部，通过柔性

PCB 连接器连接到 PCB 上。

ADS-B OUT 的功能，由自己开发的模块完成，其天线同样采用 PCB 为材料的微带天线，与移动通信系统和 BD/GPS 的天线一起，粘贴在底层外壳内部，通过柔性 PCB 连接器连接到 PCB 上。

3.3 模块划分

根据产品功能需求，硬件部分可以划分为以下几个主要功能模块：

控制模块：主要由低功耗微控制器为核心，提供整个系统的控制和数据交换中心，所有软件模块均运行于其上。

移动通信模块：主要由 MTK 或者 QUALCOMM 的通信芯片为核心构成，提供基本的通信功能。

导航模块：由于产品尺寸限制，并且 MTK 或者 QUALCOMM 的通信芯片均集成有 GPS/（BD）功能，因此，导航模块功能主要由 MTK 或者 QUALCOMM 的通信芯片完成。

大 S/铱星模块：在移动通信信号受限或没有信号，或通信不良的情况下，为确保机载管控模块与云系统间保持联系，采用卫星通信的方式建立起通信链路。卫星通信模块不自行开发，而是采用成熟的商业模块。

ADS-B OUT 模块：ADS-B OUT 模块自行开发，采用与 ADS-B 标准兼容的方式，通过通用的无线调制解调芯片，在 MCU 上运行的协议软件的控制下，实现 ADS-B OUT 的功能。

电源模块：包括供电电路、充电电路和电池，负责为整个机载管控模块提供电源。

4 硬件总体方案

4.1 系统总体框图

根据模块的划分，系统总体框图如下图 4-1 所示。

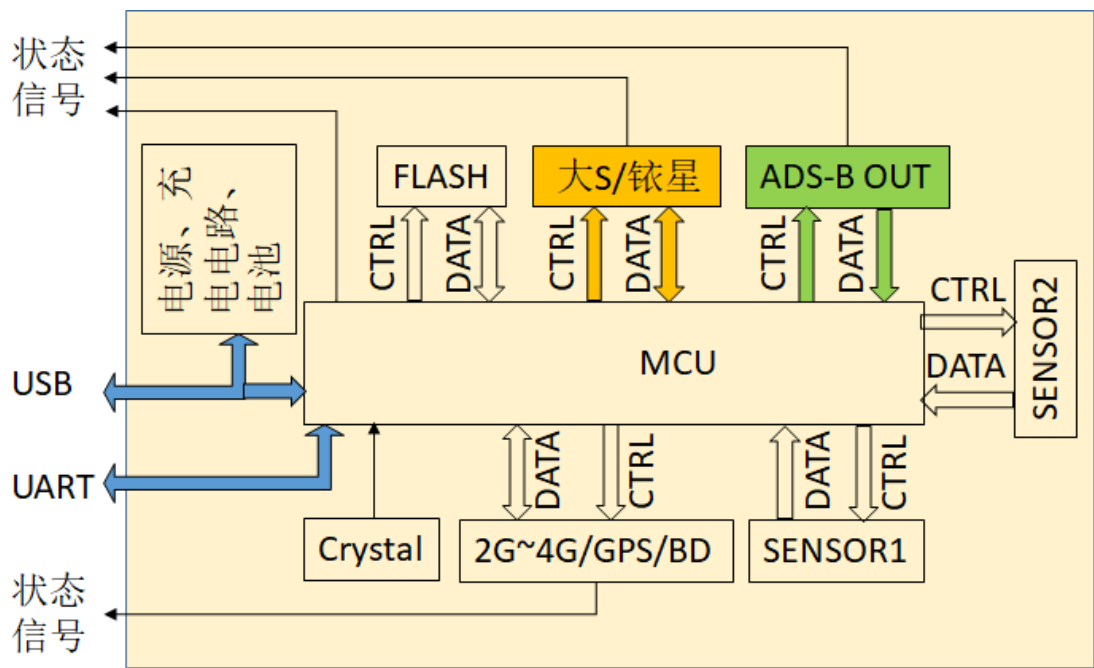


图 4-1 系统总体框图

整个系统以 MCU 为核心连接各个模块，实现各个模块间数据和控制信号的收发、处理、传递。各个模块与 MCU 之间分别以数据总线和控制总线相连接。

系统对外提供状态指示信号，USB（含电源接口）和 UART 接口（用于连接飞控系统）。

4.2 数据流程说明

系统启动过后，MCU 模块初始化自身，然后对各个模块进行初始化操作，并对各个模块工作状态进行检查，判断各个模块工作是否正常。判断时需要注意，由于各个模块的上电初始化时间（冷启动时间）不一致，因此需要按不同时长对模块进行状态检查。在完成上电过程后，MCU 和各模块进入待机状态以节约功耗。但守时电路和移动检测电路仍然处于工作状态。检测到移动时，将激活 MCU，由

MCU 对传感器数据进行采集，以判断无人机当前是处于静止状态还是处于运动状态，然后决定是否激活通信模块和导航模块。

工作时，数据流程说明如下：

SENSOR1 和 SENSOR2 检测到的速度、加速度、方向、高度等信息周期性地传送到 MCU 中，通信模块中的 GPS 信号周期性地传送到 MCU 中，MCU 将采集到的上述信息，包括本身内部检测到的温度信息一起打上时间戳，保存到 FLASH 当中。

当 ADS-B OUT 模块存在时，按 ADS-B 协议，周期性地把位置信息和当前状态信息通过 ADS-B OUT 模块发送出去。

当需要与云系统交换数据时，对移动通信模块和卫星通信模块各信道的质量进行检测，选择质量最好的信道建立起传输通路，然后将需要发送的数据进行加密，并传送到云系统中。

来自云系统的数据，将由移动通信模块和卫星通信模块接收，并转交给 MCU。MCU 对数据进行解密，并打上时间戳并保存到 FLASH 当中。然后对数据进行解析，执行云系统的指令。

4.3 模块接口和通信协议

各个模块与 MCU 间的接口和通信协议，拟采用标准的、通用的协议，除与飞行控制系统的接口外，其它接口尽量不做自定义操作。

在选择各模块型号及关键器件时，需要考虑到“尺寸小”，“重量轻”，“功耗低”的基本要求进行选择，对于一些高功耗的器件和接口尽量不选择。

由于 MCU 的内存容量一般很有限，因此，对接品和通信协议，操作起简单越好。因此，建议选择 UART、SPI、I2C、GPIO 直接控制等方式较佳。

由于各个模块可能有多个方案选择，因此，具体的各个模块的接口及通信协议，在专门对各个模块和关键器件的说明部分进行描述。

5 关键器件选型

对子系统 进行分解，按各功能板卡进行方案实施。

5.1 对外接口规范

机载管控模块对外的接口主要包括以下四个部分：

一是**电源接口**，提供外部电源的接入，给模块供电的同时，对电池进行充电；

二是**本地人机界面接口**，采用 USB 2.0 接口，通过 USB 与本地电脑进行链接。此接口与电源接口合二为一，以减少外部连接端口，降低成本，提高产品可靠性。

三是**标准的 UART 接口**，用于与无人机的飞控系统对接，获取飞控参数，并传送云系统下达的指令的数据。

四是**状态显示接口**，由三组三色 LED 灯组成，包括：

运行指示：绿色表示正常运行；黄色表示有模块故障；红色表示出错，需要修复；

电池指示：绿色表示电量充足，黄色表示电量仅有一半，红色表示电池电量太低，不能正常供电，需要充电；

无线信号指示：绿色表示信号强，黄色表示信号较强，红色表示信号很弱或没有信号。

由于指示灯均由三基色构成，因此在显示时，除可以显示三种基色外，还可以显示三种基色外的其它颜色，因此，通过不同的颜色可以显示更多的状态信息以供诊断使用。

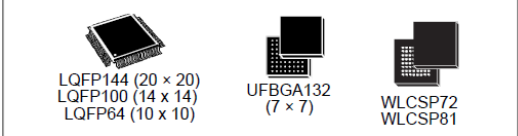
5.2 控制模块

控制模块以微控制器为核心，构建成一个完整的嵌入式 CPU 小系统，实现对所有其它外部模块的连接与控制 and 数据交换。

STM32L476 是 ST 公司推出的一款超低功耗的 MCU+FPV，其内核是 32-bit 的 ARM Cortex-M4，具有 100DMIPS 的运算能力。内部集成 1MB Flash，128KB SRAM，外部支持 UST OTG FS，LCD，UART，I2C，CAN 等多种总线接口，其主要功能如下

图 5-1 所示，具体描述可参考《DM00108832_ENV5_RM0351_STM32L4x6 DS. pdf》。

Features

- Ultra-low-power with FlexPowerControl
 - 1.71 V to 3.6 V power supply
 - -40 °C to 85/105/125 °C temperature range
 - 300 nA in V_{BAT} mode: supply for RTC and 32x32-bit backup registers
 - 30 nA Shutdown mode (5 wakeup pins)
 - 120 nA Standby mode (5 wakeup pins)
 - 420 nA Standby mode with RTC
 - 1.1 µA Stop 2 mode, 1.4 µA with RTC
 - 100 µA/MHz run mode (LDO Mode)
 - 39 µA/MHz run mode (@3.3 V SMPS Mode)
 - Batch acquisition mode (BAM)
 - 4 µs wakeup from Stop mode
 - Brown out reset (BOR)
 - Interconnect matrix
 - Core: ARM® 32-bit Cortex®-M4 CPU with FPU, Adaptive real-time accelerator (ART Accelerator™) allowing 0-wait-state execution from Flash memory, frequency up to 80 MHz, MPU, 100DMIPS and DSP instructions
 - Performance benchmark
 - 1.25 DMIPS/MHz (Drystone 2.1)
 - 273.55 CoreMark® (3.42 CoreMark/MHz @ 80 MHz)
 - Energy benchmark
 - 220 ULPBENCH® score
 - Clock Sources
 - 4 to 48 MHz crystal oscillator
 - 32 kHz crystal oscillator for RTC (LSE)
 - Internal 16 MHz factory-trimmed RC (±1%)
 - Internal low-power 32 kHz RC (±5%)
 - Internal multispeed 100 kHz to 48 MHz oscillator, auto-trimmed by LSE (better than ±0.25 % accuracy)
 - 3 PLLs for system clock, USB, audio, ADC
 - CAN (2.0B Active) and SDMMC interface
 - SWPMI single wire protocol master I/F
 - IRTIM (Infrared interface)
 - 14-channel DMA controller
- 

- Up to 114 fast I/Os, most 5 V-tolerant, up to 14 I/Os with independent supply down to 1.08 V
 - RTC with HW calendar, alarms and calibration
 - LCD 8× 40 or 4× 44 with step-up converter
 - Up to 24 capacitive sensing channels: support touchkey, linear and rotary touch sensors
 - 16x timers: 2x 16-bit advanced motor-control, 2x 32-bit and 5x 16-bit general purpose, 2x 16-bit basic, 2x low-power 16-bit timers (available in Stop mode), 2x watchdogs, SysTick timer
 - Memories
 - Up to 1 MB Flash, 2 banks read-while-write, proprietary code readout protection
 - Up to 128 KB of SRAM including 32 KB with hardware parity check
 - External memory interface for static memories supporting SRAM, PSRAM, NOR and NAND memories
 - Quad SPI memory interface
 - 4x digital filters for sigma delta modulator
 - Rich analog peripherals (independent supply)
 - 3× 12-bit ADC 5 Msps, up to 16-bit with hardware oversampling, 200 µA/Msps
 - 2x 12-bit DAC, low-power sample and hold
 - 2x operational amplifiers with built-in PGA
 - 2x ultra-low-power comparators
 - 20x communication interfaces
 - USB OTG 2.0 full-speed, LPM and BCD
 - 2x SAIs (serial audio interface)
 - 3x I2C FM+(1 Mbit/s), SMBus/PMBus
 - 5x USARTs (ISO 7816, LIN, IrDA, modem)
 - 1x LPUART (Stop 2 wake-up)
 - 3x SPIs (4x SPIs with the Quad SPI)
 - True random number generator
 - CRC calculation unit, 96-bit unique ID
 - Development support: serial wire debug (SWD), JTAG, Embedded Trace Macrocell™

Table 1. Device summary

Reference	Part numbers
STM32L476xx	STM32L476RG, STM32L476JG, STM32L476MG, STM32L476ME, STM32L476VG, STM32L476QG, STM32L476ZG, STM32L476RE, STM32L476JE, STM32L476VE, STM32L476QE, STM32L476ZE, STM32L476RC, STM32L476VC

图 5-1 STM32 功能清单

5.3 移动通信模块

移动通信模块主要完成基本的通信任务。机载管控模块通过移动通信模块，利用移动通信网络，完成与云系统间的数据交互。

能够提供移动通信解决方案的有多个厂家,使用最广泛的是 MTK 和 QUALCOMM 的产品。每个厂家支持 G4 的方案都有很多，需要与厂家联系，才能确定具体方案。下面仅对两家的方案各选一个作为参考。

基于 QUALCOMM 去年发布的 MDM9X07，已经有许多成熟的模块，QUECTEL EC20 即是其中之一，其支持的功能如下图 5-2 所示。更具体的描述可参考《Quectel_EC20 R2.0_LTE_datasheet V1.0.pdf》。

主要特征

频段	EC20-C R2.0	FDD LTE: B1/B3/B8 TDD LTE: B38/B39/B40/B41 TDSCDMA: B34/B39 WCDMA: B1/B8 GSM: 900/1800
	EC20-CE R2.0	FDD LTE: B1/B3/B8 TDD LTE: B38/B39/B40/B41 TDSCDMA: B34/B39 WCDMA: B1/B8 CDMA2000 1x/EVDO: BC0 GSM: 900/1800
LTE 版本	3GPP E-UTRA Release 10	
带宽	1.4/3/5/10/15/20MHz	
天线	DL MIMO, 支持 Rx-diversity	
供电电压	3.3V~ 4.3V, 典型值: 3.8V	
工作温度	-40°C ~ +85°C	
模块尺寸	32.0mm×29.0mm×2.4mm	
封装	LCC	
重量	约 4.6g	
AT命令控制	3GPP TS27.007 和 增强型AT命令	

规格参数

数据	LTE	LTE-FDD Max 150Mbps (DL) Max 50Mbps (UL) LTE-TDD Max 130Mbps (DL) Max 35Mbps (UL)	
	DC-HSPA+	Max 42Mbps (DL)	Max5.76Mbps (UL)
	UMTS	Max 384Kbps (DL)	Max 384Kbps (UL)
	TD-SCDMA	Max 4.2Mbps (DL)	Max 2.2Mbps (UL)
	CDMA	Max 3.1Mbps (DL)	Max 1.8Mbps (UL)
	EDGE	Max 236.8Kbps (DL)	Max 236.8Kbps (UL)
	GPRS	Max 85.6Kbps (DL)	Max 85.6Kbps (UL)
音频	语音编解码	HR, FR, EFR, AMR, AMR-WB	
	回音机制	回声消除 噪声抑制	
eCall *	车辆事故紧急服务		
VoLTE	数字语音和VoLTE (Voice over LTE) (可选)		
协议栈	TCP/UDP/PPP/FTP/*HTTP*/SMTP*/MMS*/NTP/ PING/DTMF*/FILE*/CMUX*/QMI		

接口

USB	USB 2.0高速接口, 480Mbps
PCM	1个数字语音接口 (可选: 仅支持车载版本)
USIM	1.8V/3V
NETLIGHT	×2, NET_STATUS and NET_MODE
UART	×1 UART
RESET	
PWRKEY	
Antenna	主天线, 分集天线和GNSS天线
ADC	×2

特殊特性

驱动	USB Serial	Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8/8.1, Windows CE5.0/6.0/7.0, Linux 2.6 或更新版本, Android 2.3/4.0/4.2/4.4/5.0
	RIL *	Android 4.0/4.2/4.4/5.0
	NIDS	Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8/8.1
	ECM*	Linux 2.6 或更新版本
	Gobinet	Linux 2.6 或更新版本
Linux qmi wwan	Linux 3.4 或更新版本	

DFOTA

软件空中升级系统

BT4.0/WiFi *

可选

GNSS

GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo and QZSS

电气参数

输出功率	Class 3 (23dBm±2dB) for LTE FDD Class 3 (23dBm±2dB) for LTE TDD Class 3 (24dBm +1/-3dB) for TD-SCDMA Class 3 (24dBm +1/-3dB) for UMTS Class E2 (27dBm ±3dB) for EDGE 850/900MHz Class E2 (26dBm +3/-4dB) for EDGE 1800/1900MHz Class 4 (33dBm ±2dB) for GSM 850/900MHz Class 1 (30dBm ±2dB) for GSM 1800/1900MHz
功耗	20uA @Power off 3mA @Sleep, 典型值
灵敏度	待定

* 表示正在研发中

图 5-2 EC20 特性指标

MTK 也有相应的芯片解决方案,其中 MTK6753 是 8 核 G4 芯片。下和是 MTK6753

的部分特性介绍和系统功能框图，详细说明参考《MTK6753_Technical_Brief.pdf》。

1.1 Highlighted Features Integrated in MT6753

- Octa-core ARM® Cortex-A53 MPCore™ operating at 1.3GHz
- LPDDR3 up to 3GB, 667MHz
- LTE Cat 4 (150Mbps)
- CDMA200 HEPD/ 1xEV-DO Revision o and A.
- Embedded connectivity system including WLAN/BT/FM/GPS
- Resolution up to FHD (1,920*1,080)
- OpenGL ES 3.0 3D graphic accelerator
- ISP supports 16MP@30fps.
- HEVC 1080p @ 30fps decoder
- H.264 1080p @ 30fps encoder
- Speech codec (FR, HR, EFR, AMR FR, AMR HR and Wide-Band AMR)

图 5-3 MTK6753 部分特性列表

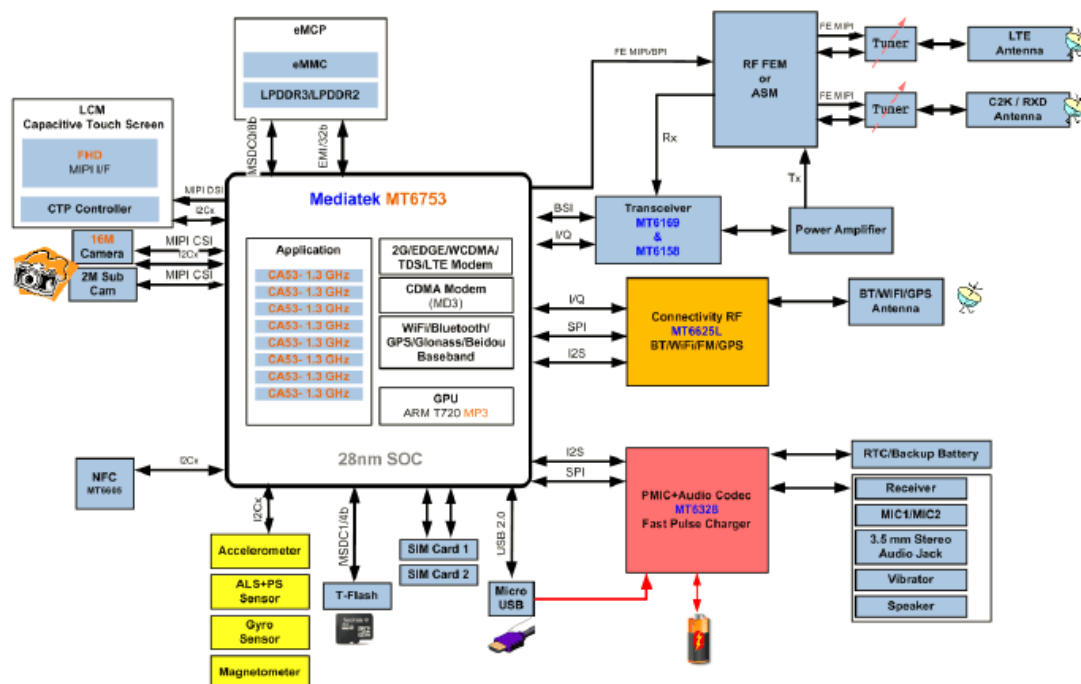


图 5-4 MTK6753 系统功能框图

5.4 导航模块

导航的主要功能集成在移动通信模块的集成芯片内部。辅助导航使用的速度、加速度、方向、高度等参数，由本导航模块的其它传感器提供。

高度传感器拟采用 BOSCH 的 BMP280，它可以测量气压得到高度，也可以测量上升下降速度。其简介及其特性指标如下图 5-5 所示。具体的描述可参考《BMP280_Productflyer_BST_20170110.pdf》。

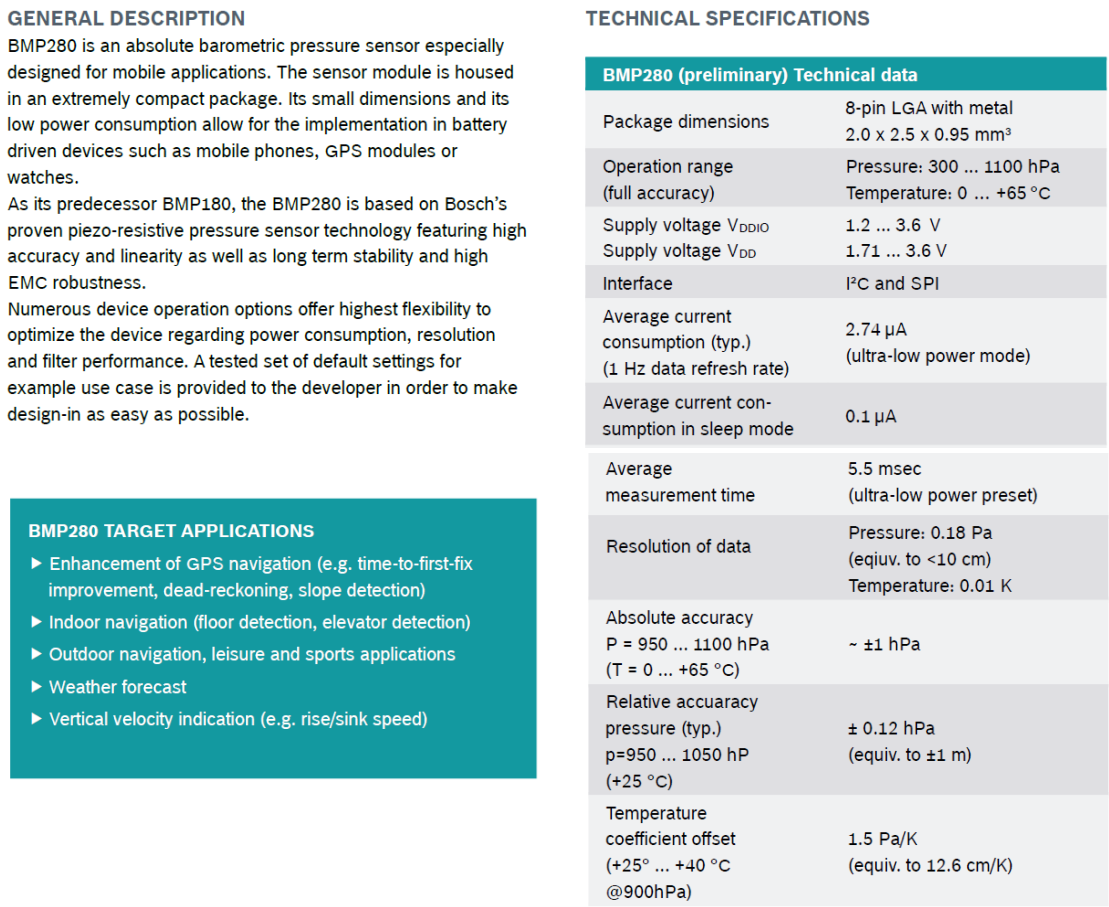


图 5-5 BMP280 特性指标

对于速度、加速度和方向的测量，拟采用 INVENSEN 的 MPU-9250,它集成了陀螺仪，加速度测量仪和磁场测量仪，能够测量速度、加速度和方向。其简介及其特性指标如下图 5-6 所示。具体的描述可参考《PS-MPU-9250A-01.pdf》。

2.1 Gyroscope Features

The triple-axis MEMS gyroscope in the MPU-9250 includes a wide range of features:

- Digital-output X-, Y-, and Z-Axis angular rate sensors (gyroscopes) with a user-programmable full-scale range of ±250, ±500, ±1000, and ±2000°/sec and integrated 16-bit ADCs
- Digitally-programmable low-pass filter
- Gyroscope operating current: 3.2mA
- Sleep mode current: 8µA
- Factory calibrated sensitivity scale factor
- Self-test

2.2 Accelerometer Features

The triple-axis MEMS accelerometer in MPU-9250 includes a wide range of features:

- Digital-output triple-axis accelerometer with a programmable full scale range of $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ and $\pm 16g$ and integrated 16-bit ADCs
- Accelerometer normal operating current: 450 μ A
- Low power accelerometer mode current: 8.4 μ A at 0.98Hz, 19.8 μ A at 31.25Hz
- Sleep mode current: 8 μ A
- User-programmable interrupts
- Wake-on-motion interrupt for low power operation of applications processor
- Self-test

2.3 Magnetometer Features

The triple-axis MEMS magnetometer in MPU-9250 includes a wide range of features:

- 3-axis silicon monolithic Hall-effect magnetic sensor with magnetic concentrator
- Wide dynamic measurement range and high resolution with lower current consumption.
- Output data resolution of 14 bit (0.6 μ T/LSB) or 16 bit (15 μ T/LSB)
- Full scale measurement range is $\pm 4800\mu$ T
- Magnetometer normal operating current: 280 μ A at 8Hz repetition rate
- Self-test function with internal magnetic source to confirm magnetic sensor operation on end products

2.4 Additional Features

The MPU-9250 includes the following additional features:

- Auxiliary master I^2C bus for reading data from external sensors (e.g. pressure sensor)
- 3.5mA operating current when all 9 motion sensing axes and the DMP are enabled
- VDD supply voltage range of 2.4 – 3.6V
- VDDIO reference voltage for auxiliary I^2C devices
- Smallest and thinnest QFN package for portable devices: 3x3x1mm
- Minimal cross-axis sensitivity between the accelerometer, gyroscope and magnetometer axes
- 512 byte FIFO buffer enables the applications processor to read the data in bursts
- Digital-output temperature sensor
- User-programmable digital filters for gyroscope, accelerometer, and temp sensor
- 10,000 g shock tolerant
- 400kHz Fast Mode I^2C for communicating with all registers
- 1MHz SPI serial interface for communicating with all registers
- 20MHz SPI serial interface for reading sensor and interrupt registers
- MEMS structure hermetically sealed and bonded at wafer level
- RoHS and Green compliant

2.5 MotionProcessing

- Internal Digital Motion Processing™ (DMP™) engine supports advanced MotionProcessing and low power functions such as gesture recognition using programmable interrupts
- Low-power pedometer functionality allows the host processor to sleep while the DMP maintains the step count.

图 5-6 MPU-9250A 特性指标

5.1 ADS-B OUT 模块

ADS-B OUT 模块主要提供 ADS-B 广播功能，实现航迹控制、电子围栏功能。当前没有成熟的模块可供使用，因此，需要自行开发。

1090ES 信号格式与 S 模式应答机发射信号格式雷同，其脉冲调制信号由前同步脉冲和数据脉冲组成。前同步脉冲由起始的 8 μ s 内两组 0.5 μ s 宽的脉冲对

组成。数据脉冲是脉位调制的，其脉冲位置随调制信息的二进制数而变化，所有脉冲幅度和宽度不变。每位 1 μ s 间隔的前半周 0.5 μ s 内有脉冲时，逻辑电平为 1；每位的后半周 0.5 μ s 内有脉冲时，逻辑电平为 0。

根据我国实际情况，通航所使用的 ADS-B 频段与民航的可能不一致，因此，需要采用频点在 1090MHz 可调的透传射频芯片完成无线的调制解调，而 ADS-B 的协议在控制模块的主 CPU 上完成。

5.2 大 S/铱星模块

大 S 模块现在主要由华力创通提供，其指标如下表 5-1 所示。

表 5-1 大 S 通信模块特性参数

基本特性	描述
制式	S 移动/BD B1
芯片工艺	40nm 制造工艺，388 pin 脚、0.5pitch BGA 封装，面积为 13mm \times 13mm
工作频段	S 波段上行：1980MHz-2010MHz
	S 波段下行：2170MHz-2200MHz
	北斗 B1;GPS L1;
最大发射功率	2W
工作电压	3.3V-4.2V，典型工作电压 3.8V
功耗	待机功耗：100mw@3.8v
业务支持	语音：1.2/2.4/4Kbps
	传真：2.4/4.8/9.6Kbps
	数据业务：1.2Kbps-384Kbps 分档可变
	视频回传：64Kbps-384Kbps 分档可变
	短消息：消息长度 140 字节
AT 指令	遵循标准《07.005 XX 系统用于移动地球站(MES)的 AT 命令》
温度范围	工作温度：-40 $^{\circ}$ C to +55 $^{\circ}$ C
	存储温度：-40 $^{\circ}$ C to +85 $^{\circ}$ C
相对湿度	高温高相对湿度环境：(95 \pm 3)%(\geq 40 $^{\circ}$ C)
	低温高相对湿度环境：(95 \pm 3)%(\leq 40 $^{\circ}$ C)
电磁兼容性	
结构尺寸	长*宽*高：30*51*4.5mm

如果大 S 模块不能按时提供，可以考虑采用铱星模块进行卫星通信。可找到基于 BEAM 公司的 BM9602 铱星通信模块进行集成，其部分产品参数如下图 5-7 所示。

尺 寸 : 41mm×45mm×13mm
重 量 : 3.0g
电 源 : 10 ~ 32V DC
最大功耗 : 150W
运行温度 : - 40℃ ~ 85℃
储存温度 : - 40℃ ~ 85℃
运行湿度 : <75% RH
储存湿度 : <93% RH
频 率 : 1616 ~ 1626.5MHz
阻 抗 : 50Ω
复用方式 : TDMA/FDMA
双工方式 : TDD 时分双工
发送速率 : 340 bytes
接收速率 : 270 bytes

图 5-7 铱星收发模块部分参数指标

5.3 PCB 布局

根据上述说明，如果各模块选择以下关键器件，则中型和增强型产品各器件尺寸如下表 5-2 所示：

表 5-2 关键器件尺寸及所占 PCB 面积积

序号	器件名称	器件尺寸（mm）	PCB 面积(mm ²)	说明
1	EC20	29*31*2.4	33*35	无外围器件，但有引脚
2	STM32	4.5*3.8*0.6	17*8	含外围器件
3	BMP280	2.0*2.5*0.95	4*4	含外围器件(S1)
4	CY9250	3*3*1	5*4	含外围器件(S2)
5	FLASH	—	8*4	含外围器件
6	ADS-B OUT	—	17*6	含外围器件
7	电源	—	17*9	含外围器件
8	大 S	51*30*4.5	50*35	去掉 MINI_PCIE 接口
9	铱星	41*45*13	50*35	—
10	USB 接插件	—	8*8	含引脚尺寸

根据上述尺寸，PCB 的 TOP 层全部用于放置大 S/铍星模块，PCB 的 BOTTOM 层面积分布如下图 5-8 所示：

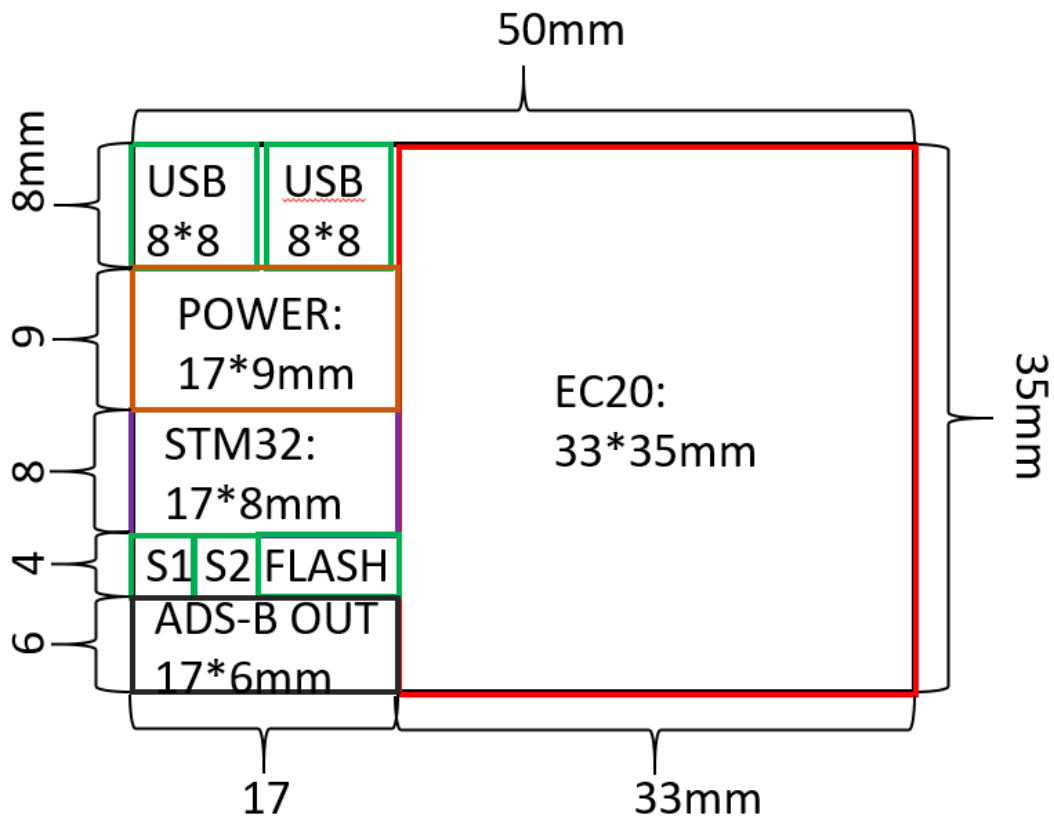


图 5-8 PCB BOTTOM 层器件布局图

对于微型产品，有两种选择，第一种选择是采用与图 5-8 一样的尺寸，只是不需要焊接 TOP 层的大 S/铍星模块，不需要焊接 BOTTOM 层的 ADS-B OUT 模块。

另一种选择是，采用更小的尺寸，如图 2-2 所示的尺寸，这样，PCB 的布局如下图 5-9 所示。这样可以保证不同产品形态间的 PCB 可以最大程度地重用（通信模块部分的电路不同，需要两种不同的 PCB 板）。

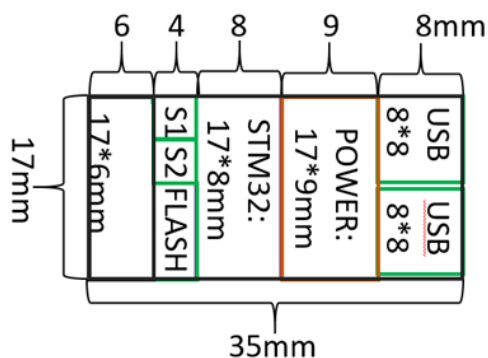


图 5-9 微型产品 PCB BOTTOM 层布局图

PCB 的 TOP 层焊接小尺寸的通信模块，其尺寸必须小于：17*35mm。

不同形态的产品，如果采用不同的尺寸，除了通信模块需要采用不同尺寸的模块(也可以统一成微型产品所用的小尺寸通信模块)，由此带来的最大问题是：外壳需要开两种完全不同的模，由此带来成本的大量增加，生产的复杂性增加，后期的维护成本增加等等问题。

因此，建议所有的产品形态均采用同一种尺寸较好。