

# 基于 GPS/北斗的超低空防撞警告系统设计及实现

刘百超<sup>1</sup>, 刘建辉<sup>1</sup>, 王进粮<sup>1</sup>, 杨超新<sup>2</sup>, 许士国<sup>1</sup>

(1. 中国民航大学 电子信息与自动化学院, 天津 300300;

2. 中国民航大学 计算机科学与技术学院, 天津 300300)

**摘要:** 随着我国民航业尤其是通用航空领域的飞速发展, 以及低空开放政策的实施, 飞机数量迅速增长, 空域变得更加繁忙和拥挤, 同时增加了飞机在超低空飞行危险接近的可能性; 同时, 随着超低空无人机数目的增加, 给民航系统带来了一定的安全隐患; 基于 GPS/北斗的超低空飞机防撞警告系统在超低空范围内为飞行器提供其附近空域中的交通状况, 通过 4G 移动通信实现对飞行数据信息的实时接收处理和对飞行器的实时监控, 在当飞行器存在潜在的安全隐患时, 作出相应等级的警告并提前向相应飞行器发出警告信息, 帮助飞行器选择安全的航路, 避免飞行器间的碰撞危险。

**关键词:** 防撞警告系统; GPS—北斗卫星定位系统; 超低空; 4G 移动通信

## Design and Implementation of Collision Avoidance Warning System for Super Low Altitude Based on GPS—Beidou

Liu Baichao<sup>1</sup>, Liu Jianhui<sup>1</sup>, Wang Jinliang<sup>1</sup>, Yang Chaoxin<sup>2</sup>, Xu Shiguo<sup>1</sup>

(1. School of Electronic Information and Automation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

2. College of Computer Science and Technology, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** With the rapid development of civil aviation in our country, especially the general aviation field, and a low altitude opening policy implementation, the number of aircrafts increased rapidly, airspace become more busy and crowded, and at the same time increase the aircraft flight in a low-level close to the possibility of danger. At the same time, with the increase of number of unmanned aerial vehicle (UAV), brought a certain security hidden danger to the civil aviation system. Aircraft collision avoidance warning system based on Beidou provide information about a low-level range for aircraft in a low-level near its airspace in traffic, by 4G mobile communication receive real-time processing of flight data information and real-time monitoring of aircraft, when there is a potential safety hazard when the aircraft make corresponding levels of warning and warned the corresponding vehicle information in advance, to help craft choice.

**Keywords:** collision avoidance warning system; GPS/Beidou satellite positioning system; super-low altitude; 4G mobile communication

## 0 引言

超低空是指海拔高度在 100 米以下的飞行高度<sup>[1]</sup>。现代民航客机装配有交通警戒及空中防撞系统 TCAS (traffic alert and collision avoidance), 主要用于为飞行员提供空中碰撞警告<sup>[2-6]</sup>。然而 TCAS 仅能够在高空侦测上下 7 000 至 10 000 尺前后 15 至 40 海里范围接近的航机, 在超低空的空域飞行中发挥不了作用。2016 年 10 月 11 日上海虹桥机场两架飞机险些相撞; 2017 年 4 月到 5 月, 成都双流国际机场和重庆机场发生多起无人机干扰民航事件, 共造成几百个航班备降、取消或延误, 上万名旅客受影响。由以上事件可以看出超低空飞行过程中遇到的干扰越来越多, 因为

TCAS 在超低空不起作用, 没有超低空警告才造成一系列的事件。国际民航组织应用地形感知和告警系统 (TAWS, terrain awareness and warning system) 改进了原有的地面迫近警告系统 (GPWS, ground proximity warning system), 它能提供前方地形警告和地形显示的功能, 给飞行员更多的判决时间, 在一定程度上减少了可控飞行撞地事故的发生<sup>[7-8]</sup>, 但是并不适用于超低空的飞机防撞警告, 而 TCAS 在超低空也不起作用, 这两个系统之间的衔接存在问题, 缺少了超低空情况下的空中防撞警告情况, 因此有必要对于超低空领域的飞行情况进行监控和警告, 降低管制员劳动强度和压力的同时, 提高飞机飞行的安全性。

基于上述情况, 我们设计了基于 GPS/BD 双模模块的超低空飞机防撞警告系统, 用于在超低空领域提供附近空域中的交通状况, 同时显示出飞机数据并对飞机定位监控, 在当潜在危险接近时进行相应的判别, 预测将要可能发生的危险, 作出相应等级的警告并提前向相应机组发出警告

收稿日期: 2018-02-14; 修回日期: 2018-03-30。

基金项目: 大学生创新创业训练项目(201710059031)。

作者简介: 刘百超(1995-), 男, 内蒙古巴彦淖尔人, 主要从事电子信息工程方向的研究。

信息, 提示飞行员作出调整, 避免飞机间发生碰撞危险, 弥补了 TCAS 和 GPWS 两个系统衔接部分的不足。

### 1 基于 GPS/北斗的超低空飞机防撞警告系统工作原理概述

北斗卫星定位系统基本原理是测量出已知位置的卫星到用户接收机之间的距离, 然后综合多颗卫星的数据就可知道接收机的具体位置<sup>[9]</sup>。GPS 的原理实际上就是通过四颗已知位置的卫星来确定 GPS 接收器的位置。测量定位时, 用户可以利用接收机的储存星历得到各个卫星的粗略位置<sup>[10]</sup>。北斗具有 GPS 没有的通信和目标定位, 但缺点是还处于发展阶段, 主要应用于军用, 民用推广还没做到全面普及, 在中高纬度地区, 由于北斗可见卫星数较少、卫星分布较差, 定位精度较差或无法定位。GPS 的优点是技术成熟, 定位准确, 全球覆盖, 用户容量无限, 缺点是规模太大、造价太高, GPS 只能用作导航却无法实现通信功能。这两个系统属于独立非相似系统, 通过两者的结合, 可以很好的提高系统的稳定性和安全性, 避免一个系统出现故障, 或者错误信息而无法纠正的情况。

该系统以超低空范围内运行飞机为研究对象, 下位机(飞机)配置有 GPS/BD 定位模块和 4G 网络模块, 4G 模块通过 4G 网络连接至地面控制中心的 TCP SEVER 以实现互连通信, 连接之后, 下位机将 GPS/BD 定位模块采集的实时定位数据等信息(时间、经度、纬度、高度等)经网络发送至上位机, 上位机就可以实时监控飞机位置情况, 并编程设计防撞警告算法自动向飞机和塔台管制人员发送相应视觉警告, 提示飞行人员和管制人员采取相应避让措施。如图 1 所示。

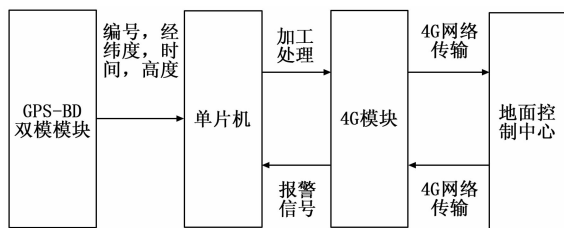


图 1 系统工作原理模型

### 2 基于 GPS/北斗的超低空飞机防撞警告系统的组成

#### 2.1 软件部分

软件是基于 Windows 操作系统, 利用 java 语言进行开发的监控处理系统。软件功能结构图如图 2 所示。

软件作为系统的上位机, 与下位机通过 4G 移动通信网络进行通信, 从下位机中实时接收所在超低空空域中飞机的相关位置信息, 包括飞机编号, 经度, 纬度, 海拔高度, 时间五类信息, 经度和纬度用于确认飞机的具体位置, 海拔高度用于计算飞机间的高度差, 编号用作飞机的唯一标识, 时间则可判断信息的时效性, 对这些数据进行处理分

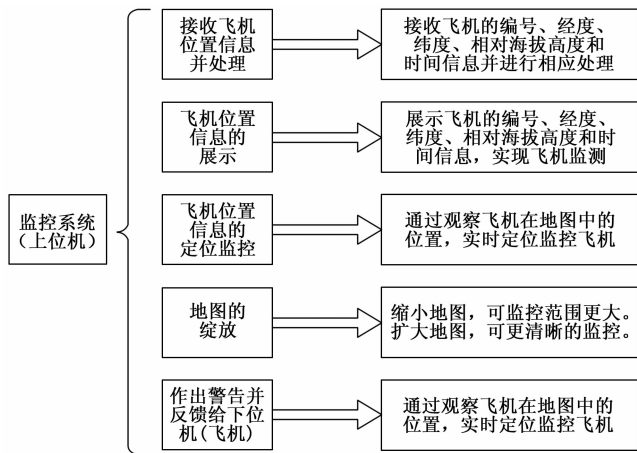


图 2 软件功能结构图

析, 实现对飞机的实时定位监测并发出警告等级信息, 同时自动向下位机回传相应警告, 方便飞行器作出调整, 避免发生危险。软件实现了处理显示飞机位置信息、定位监测与分析、发出伴随警告提示灯和提示框的警告等级信息、同时反馈给下位机相应等级警告的相关功能。如图 3 所示。

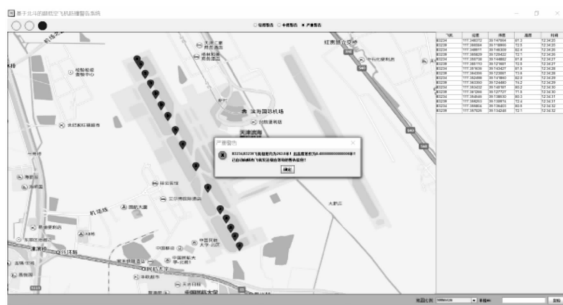


图 3 软件界面

软件部分的详细功能介绍:

#### 2.1.1 动态地图及飞机定位信息的显示

地图的展示是通过访问百度静态地图 API 得到的。每接收到下位机发送过来的飞机位置信息即刻访问百度地图, 进行定位, 从而呈现出更新过的地图界面, 实现实时对飞机进行定位监控。

软件可以显示下位机发送过来的位置信息、飞机编号、经度、纬度、相对海拔高度和时间。上位机对这些信息进行分析处理, 实时在地图上定位并动态显示飞机位置, 便于后台监管人员监控飞机的飞行方向、速度以及周边邻近的干扰飞机, 从而作出判断调整。同时提供调整地图比例的下拉列表, 可以根据地图的显示情况, 选择不同的比例以便于更细致的监测。

#### 2.1.2 飞机数据分析和警告

软件对相同的时刻的不同飞机的位置信息进行处理分析, 根据相关算法将两架飞机的经纬度进行计算得到距离差, 同时算出高度差, 并与定义警告范围进行比较, 判断出相应等级的警告进而弹出相应的警告提示框并伴随相

应的警告灯,方便监控人员进行调整处理。同时不需要监控人员作出判断决定,软件即自动向硬件回送相应的警告等级信息,方便飞行人员及时作出调整,避免即将出现的碰撞危险。

据调查,人的应急反应时间大概是  $0.1 \sim 0.8 \text{ s}^{[11]}$ ,考虑到飞行员接收到警告后要作出反应,对飞机进行一系列的操作需要一定的时间;同时,4G 移动通信的延时大多在  $20 \sim 40 \text{ ms}$ ,以及考虑信息的接收处理均占用一定的时间,所以把应急时间定为  $3 \text{ s}$ ,而正常客机的在超低空的飞行速度约为  $100 \text{ m/s}$ ,所以应急距离为  $300 \text{ m}$ 。同时在超低空高度中,当两飞机高度相差小于  $10 \text{ m}$  时,即可认为这两架飞机在同一高度层。当高度相差大于  $10 \text{ m}$  时,即可认为两架飞机不在同一高度层,即使飞机进入距离警告范围,也被认为是安全的情况而不作出相应的警告。综上所述,上位机发出等级警告的合理条件,类型和结果如下表 1 所示。

表 1 警告条件表 (m)

警告类型	轻度警告	中度警告	重度警告	消除警告
距离	1 200~ 1 600	900~ 1 200	0~ 900	1 600 以上(且警告信号量 sign 不等于 0)
高度差	小于 10			大于 10
警告灯	绿灯	黄灯	红灯	无灯

若两飞机实时飞行数据与相应的警告条件相匹配,软件上位机即刻弹出相应的等级警告框,同时亮起警告指示灯,并且在同一时刻自动向硬件下位机发送警告消息。

### 2.1.3 基于 TCP 的网络连接及信息的收发

软件同时充当了一个基于 TCP/IP 协议的服务器端的角色,绑定了的公网 IP 和指定端口号,下位机只要通过 4G 移动网络与该 IP 和端口建立有效的连接,即可进行数据通信,从而实现信息的交流与传输,上位机从下位机中实时接收飞行器的位置信息,一旦发生警告情况,软件即可立即通过网络通信向下位机回送相应等级的警告信息。

## 2.2 硬件部分

硬件部分包括 4G 网络模块、GPS/BD 定位模块和单片机编程部分。硬件系统架构如图 4。

### 2.2.1 4G 网络模块

本系统选用 SIM7100C 模块作为 4G 网络模块,模块采用串口(LVTTL)与 MCU(或其他串口设备)通信,内置 TCP/IP 协议栈,能够实现串口与 4G 之间的转换。通过 SIM7100C 模块,传统的串口设备只是需要简单的串口配置,即可通过网络(4G 移动通信)传输自己的数据。

硬件接入 4G 网络模块后,通过网络就可以连接软件互连通信,便可以实时发向硬件发送信息。为方便显示,在电脑端安装 XCOM 串口驱动,将模块通过 USB 转 TTL 模块接入电脑串口,在电脑端通过串口助手发送 AT+指令集对该 4G 模块配置参数,以实现不同的功能。在该系统中,通过编辑 AT 指令设置透传模式来实现硬件和软件 TCP

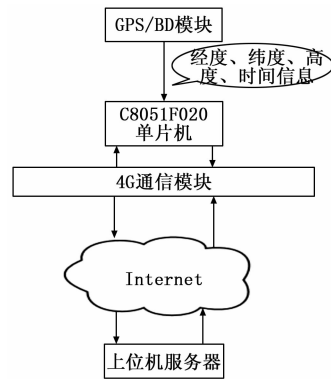


图 4 硬件系统架构

SEVER 通信。

4G 模块和 TCP SEVER 通过连接运营商提供的数据网络,给 TCP SEVER 配置一个本地 IP 地址,4G 模块连该 IP 地址后,就可以实现硬件和软件之间无线通信,硬件接入 GPS/BD 定位模块之后就可以将飞机定位的实时定位数据信息连续不断地发送至软件,软件再通过编辑算法实现对飞机在超低空空域内的飞行防撞预警。

本项目采用 4G 网络的优势:1) 通信速度更快,发送时延较小,理论带宽可以达到  $100 \text{ Mbps}$ ,下位机可实现信息的有效发送;2) 可靠性高,4G 网络通信技术已经成熟,可以保证长时间高性能工作;3) 硬件设施简单,只需机场周边及上空完全覆盖较强的 4G 网络;4) 费用更低,相比于高频通信和甚高频通信,4G 网络更加廉价。

### 2.2.2 定位模块

本系统选 ATK-S1216F8-BD 模块作为飞机定位模块,ATK-S1216F8-BD 模块是一款高性能 GPS/BD 定位模块<sup>[12]</sup>。硬件接入 GPS/BD 定位模块后,就能将硬件的实时定位数据信息发送至软件。为方便显示,在电脑端安装串口驱动,将模块通过 USB 转 TTL 模块接入电脑串口,在电脑端通过 GNSS\_Viewer 软件配置模块的参数,以读取不同的定位数据信息(经度、纬度、高度、时间等),在串口助手上可以将定位的实时数据信息通过 4G 模块经由网络发送至软件,再由软件对数据信息进行处理,对飞机进行监控预警。

### 2.2.3 单片机编程

本系统选用 C8051F020 单片机,C8051F020 系列单片机使用 SiliconLabs 的专利 CIP-51 微控制器内核。CIP-51 与 MCS-51TM 指令集完全兼容,可以使用标准 803x/805x 的汇编器和编译器进行软件开发。CIP-51 内核具有标准 8052 的所有外设部件,包括 5 个 16 位的计数器/定时器、两个全双工 UART、256 字节内部 RAM、128 字节特殊功能寄存器(SFR)地址空间及 8/4 个字节宽的 I/O 端口。这个单片机功能强大,符合该系统的运行要求。在电脑端编写单片机控制程序,使得单片机能自行获取 GPS 模块定位的数据信息并发送至软件,实现系统稳定运行,单

片机程序流程图如图 5。

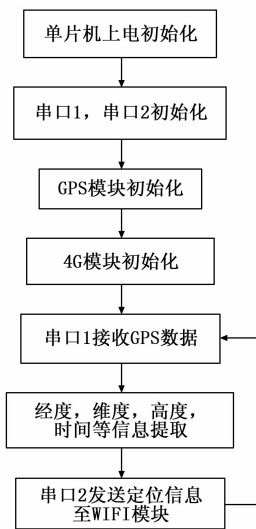


图 5 单片机程序流程图

### 3 系统实现情况

#### 3.1 硬件部分

硬件部分主要包括 C8051F020 单片机、4G 模块、ATK-S1216F8-BD 定位模块, 单片机是整个硬件部分的控制系统, 需要将 GPS/BD 定位模块的数据信息通过 4G 模块发送至软件 TCP SEVER。技术难度包括 4G 模块、GPS/BD 定位模块和 4G 无线路由模块的参数配置以及硬件单片机程序的编写, 模块的参数设置可以参考生产厂商的模块使用用户手册进行一步一步配置, 实现模块功能的正常运用, 整个流程中硬件单片机的程序编写难度大, 通过撰写程序流程图, 不断调试, 不断运行, 最终实现了整个系统的自动运行, 启动硬件之后就可以将定位数据信息不断地发送至上位机 TCP SEVER。

#### 3.2 软件部分

在与硬件通信的过程中, 构造了一个 TCP 服务器, 实现与硬件通过 4G 移动网络通信进行收发信息, 软件接收飞机位置信息后经过严密的计算处理, 实现数据信息的呈现, 通过对百度静态地图的访问, 实现对飞机的实时定位监控, 并同时后台根据警告等级算法进行合理的判断进而做出相应等级的警告, 弹出警告提示框并伴随警告灯。

本系统实现了在超低空领域提供附近空域中的交通状况, 同时显示出飞机数据并对飞机定位监控, 在当潜在危险接近时进行相应的判别, 预测将要可能发生的危险, 作出相应等级的警告并及时向相应机组发出警告信息。

### 4 实验结果与分析

为了验证本系统的可用性和可行性, 采用搭载了本系统硬件部分(下位机)的四旋翼作为飞机的替代物, 并在空旷的场地根据指定路线飞行的方式进行了多次实验。根据四旋翼的速度特点和实验场地的环境因素, 对警告条件

作出了适当的调整, 距离差在 0~500 m、500~600 m、600~700 m 且高度差 0~5 m 时, 则警告程度依次为严重警告、中度警告、轻度警告。当距离大于 700 m 或是高度差大于 5 m 时, 可认为无警告或是发生警告后的警告消除。

图 6 是其中一次实验的路线图, 描述了两架四旋翼按特定路线相向飞行的情况。在实验的过程中, 当两个飞行器的距离小于 700 m 并且高度差小于 5, 本系统的软件部分(上位机)立即发出了轻度警告, 伴随警告框和警告灯的提示, 并对下位机做了警告反馈, 随即对四旋翼的飞行作出了调整。同时, 根据相同的方式继续进行了多次实验, 并成功验证了中度警告、严重警告和警告消除的情况。表 2 是部分实验测试数据, A 代表 A 四旋翼, B 代表 B 四旋翼。

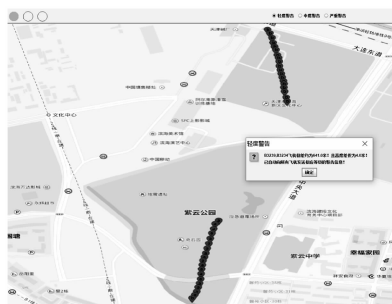


图 6 实验路线图

表 2 实验测试数据表 (m)

数据	...	15	16	17	18	19	20	...
A 经度	...	117.696814	117.696805	117.696832	117.696895	117.696931	117.696985	...
A 纬度	...	39.024337	39.024169	39.023994	39.023728	39.023552	39.023391	...
A 高度	...	36.3	32.2	34.4	35.4	33.3	35.2	...
B 经度	...	117.694029	117.694097	117.694155	117.694389	117.694820	117.694973	...
B 纬度	...	39.017592	39.017792	39.018016	39.018367	39.019565	39.019901	...
B 高度	...	36.3	34.7	36.2	37.6	37.3	37.7	...
距离差	...	828.3	747.0	752.5	677.0	617.1	565.2	...
高度差	...	0	2.5	1.8	2.2	4.0	2.5	...
警告程度	...	无警告	无警告	无警告	轻度警告	轻度警告	中度警告	...

综合多次实验结果和数据分析, 本系统能够很好地作出相应的警告提示和反馈, 具有较高的可用性和可行性。

### 5 结束语

本系统功能明确, 使用方便。随着我国民航业尤其是通用航空领域的飞速发展, 以及低空开放政策的实施, 飞机数量迅速增长, 空域变得更加繁忙和拥挤, 增加了飞行器在超低空飞行或起飞降落过程中发生相互碰撞的危险, 给民航系统带来了一定的安全隐患。本系统很好地弥补了机载监视系统在超低空领域内的空白, 通过与 TCAS 系统相互合作, 为民航飞机的正常安全飞行提供了很好的保障; 同时本系统也可运用于超低空领域飞行的无人机上, 为它们的正常运作提供有力的支持。本系统具有很好的实际运用价值。