

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.09.006

引用格式:王鼎鸿,高嵩,邹海春.无人机搜索救援系统中机载探测器设计[J].电讯技术,2014,54(9):1204-1209.[WANG Ding-hong,GAO Song,ZOU Hai Chun.Design of Airborne Detector for UAV Search and Rescue System[J].Telecommunication Engineering,2014,54(9):1204-1209.]

无人机搜索救援系统中机载探测器设计*

王鼎鸿**,高嵩,邹海春

(成都理工大学 信息科学与技术学院,成都 610059)

摘要:针对现有的搜索救援系统存在的搜救效率低下和容易发生二次灾害等不足,研究了一种以无线通信技术为核心的无人机搜索救援系统,主要讨论了机载探测器的设计。系统以 MSP430 微处理器为控制单元,机载探测器通过无线收发模块 RFC33A 与救援信标机通信,激活信标机并接收信标机获取的遇险人员地理位置信息,通过数传电台 XTend 将信息实时地传回地面站以及接收地面站的控制指令。实验测试表明,机载探测器对信标机的有效探测距离达到 2 km,与地面站的通信距离大约为 10 km,工作时间超过 3 h,实现了搜索的目的。

关键词:无人机;搜索救援系统;机载探测器;无线收发模块;数传电台

中图分类号:TN924 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)09-1204-06

Design of Airborne Detector for UAV Search and Rescue System

WANG Ding-hong,GAO Song,ZOU Hai-chun

(Institute of Information Science and Technology,Chengdu University of Technology,Chengdu 610059,China)

Abstract:To overcome the shortcomings of inefficiency and secondary disasters in existing search and rescue systems,an unmanned aerial vehicle(UAV) search and rescue system employing wireless communication technology is studied. The airborne detector's design is mainly discussed. The MSP430 microprocessor is selected as the control unit. Airborne detector communicates with rescue beacon machine through RFC33A wireless receiving-sending module,then it activates rescue beacon machine and receives geographical location information for persons in distress from beacons. The data transceiver XTend is used to send real-time information to the ground station and receive control commands from ground station. Experiment results show that the effective detection range of airborne detector to beacon machine reaches 2 km, the communication range of ground station is about 10 km and its working time is more than 3 hours. The system achieves the goal of search.

Key words:unmanned aerial vehicle;search and rescue system;airborne detector;wireless receiving-sending module;data transceiver

1 引言

者对它进行探索,但由于大多数人缺乏野外知识和对人身安全不够重视,加之地形条件的恶劣和大自

大自然的磁力吸引着越来越多的旅游者和探险

* 收稿日期:2014-04-24;修回日期:2014-07-25 Received date:2014-04-24;Revised date:2014-07-25

基金项目:国家国际科技合作专项项目(2011DFA22070);四川省国际合作计划项目(2012HH0036);四川省教育厅自然科学科研项目重点项目(13ZA0054)

Foundation Item:The International S&T Cooperation Program of China(2011DFA22070);International Cooperation Project of Sichuan Province(2012HH0036);The Natural Science Research Key Project of Educational Commission of Sichuan Province(13ZA0054)

** 通讯作者:837110717@qq.com Corresponding author:837110717@qq.com

然固有的不确定性,常常在旅游和探险过程中发生险情。当发生险情或者人员失踪后,政府部门常常投入大量的人力、物力和财力实施救援,但由于事发区域的未知性和不确定性,使得搜救难度的不确定性增加。传统的地毯式搜索和通用航空人眼观测搜索方式受环境和人的主观影响大;现有的机载探测器多以红外成像、图像识别和航拍等光学设备为主,其搜索方式同样受环境和自身算法的影响^[1-2];CO-SPAS/SARSAT 系统的成本高,遇险示位信标的体积大、操作复杂,且多适用于空旷地区。以上搜索方式都存在着搜救难度大、成本高、效果差、受地形因素影响大的缺点,而无人机具有无需人员驾驶、小型、便捷、比有人机更低的成本和起降时对气候条件要求低^[3],以及卫星定位技术和无线通信技术受环境影响小、成本低等优势,因此,本文以无人机为背景,设计了一种基于无线通信技术的机载探测器。

2 系统设计

无人机搜索系统结构如图 1 所示^[4],主要包括三部分:地面站、机载探测器和野外人员携带的救援信标机。地面站是整个系统的中枢,向无人机发送控制命令和传输实时飞行数据、监测无人机的自主飞行状态和接收机载探测器传回的数据;机载探测器是遇险人员与地面站的桥梁,完成地面站和信标机之间的通信;救援信标机是整个系统的基础,获取遇险人员的地理位置信息并发送给机载探测器。

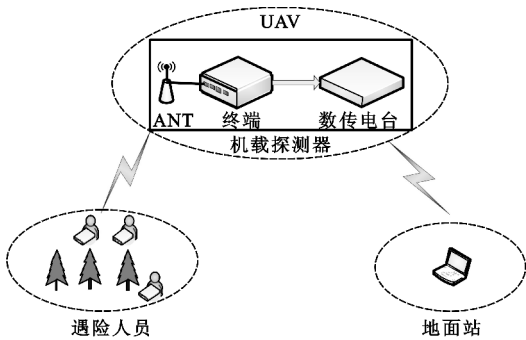


图 1 无人机搜索系统结构图
Fig.1 Structure of search system on UAV

通过对野外人员遇险案例和传统搜救方式的分析,结合无人机航时短、载重量小的特点,要求机载探测器具有低功耗、便捷式的特点,因此制定了如下

- 的设计指标:
- (1)连续工作时间:≥3 h;
 - (2)与信标机的通信距离:2 km;
 - (3)与信标机的传输速率:50 kb/s;
 - (4)与地面站的通信距离:10 km(高增益、空旷地带);
 - (5)与地面站的传输速率:10 kb/s。

3 硬件设计

机载探测器的系统框图如图 2 所示,通过无线收发模块向信标机发送激活信号并使其退出低功耗状态,然后接收信标机发出的地理位置信息并通过无线数传电台将数据实时传回地面站,同时机载相机还能对遇险区域进行航拍以便为地面搜救人员制定科学的救援方案提供支持。

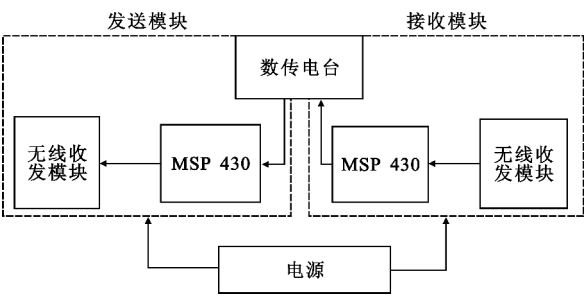


图 2 机载探测器系统框图
Fig.2 Block diagram of airborne detector system

主控单元是机载探测器的核心,负责传输模块的控制,为了实现系统的低功耗,选择 TI 公司的 16 位超低功耗 MSP430F149 微控制器。

3.1 无线通信电路
3.1.1 通信频率选择

由于本系统的使用环境多为山地和森林,所以采用根据丘陵和山地得到的 Egli 经验模型来模拟无线通信在实际环境中的传播,其传播路径损耗的公式如式(1)所示^[5]。

$$L=88+40\lg d+20\lg f-20\lg(H_t\times H_r)-K_h \tag{1}$$

其中, L 为中值路径损耗,单位为 dB; d 为收、发天线之间的距离,单位为 km; f 为无线通信的频率,单位为 MHz; H_t 、 H_r 分别为发射机和接收机的天线高度,单位为 m; K_h 为地形修正因子,单位为 dB。 K_h 的取值如下:

$$K_h = \begin{cases} 1.667 - 0.1094\Delta h, & 25\text{ MHz} < f < 150\text{ MHz} \\ 2.25 - 0.1476\Delta h, & 150\text{ MHz} < f < 162\text{ MHz} \\ 3.75 - 0.2461\Delta h, & 450\text{ MHz} < f < 470\text{ MHz} \\ 4.55 - 0.3451\Delta h, & 470\text{ MHz} < f < 1\,000\text{ MHz} \end{cases}$$

其中, Δh 表示四周地形的高度, 单位为 m, 当 $\Delta h < 15\text{ m}$ 时, K_h 可以忽略。在本搜救模式中, 假设无人机的相对飞行高度为 $1\,000\text{ m}$, 遇险人员携带的信标机高度为 1 m , 即 $H_t = 1\,000\text{ m}$, $H_r = 1\text{ m}$, 四周地形高度为 200 m 时, 根据式 (1) 可以得到各个频段的路径损耗如图 3 所示, 当通信距离一定时, 随着通信频率的增加, 路径损耗增大; 当通信频率一定时, 随着通信距离的增加, 路径损耗增大。

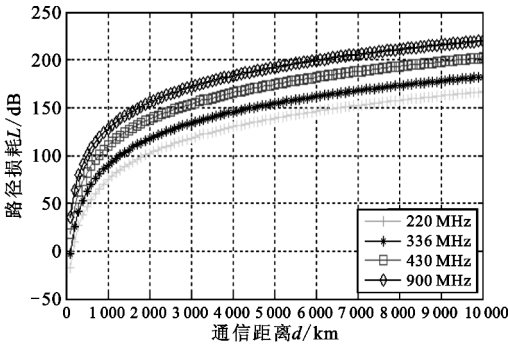


图3 Egli 模型的路径损耗
Fig. 3 Path loss on Egli model

综上所述并结合通信成本和无线通信模块的市场调研, 机载探测器和信标机的通信采用 430 MHz 的频段, 与地面站的通信使用 900 MHz 的频段。

3.1.2 无线收发模块

RFC33A 是在 nRF905 模块外围电路的基础上设计了功率放大电路的无线模块。该模块工作于 430 MHz 频段, 通信速率为 50 kb/s 。nRF905 集成了频率合成器、接收解调器、功率放大器、晶体振荡器和调制器等功能。采用 ShockBurst TM 技术自动处理数据包字头, 内置 CRC 校验功能。芯片可软件设置在空闲模式、关机模式和正常模式, 能有效降低功耗。RFC33A 采用 SPI 编程接口, MSP430 通过直接模拟 SPI 方式来控制。它的最大发射功率为 33 dBm (约 2 W), 接收灵敏度 -100 dBm 。采用天线增益为 3 dBi 的鞭状天线时, 将 $L(\text{dB}) = 33 - (-100) + 3 + 3\text{ dBm} = 139\text{ dBm}$, $f = 900\text{ MHz}$, $H_r = 1\text{ m}$ 代入式 (1) 得到式 (2)。Matlab 建模得到通信距离 d 关于地形高度 Δh 和飞机高度 H_t 的仿真曲线, 如图 4 所示。

$$139 = 88 + 40\lg d + 20\lg 430 - 20\lg(H_t \times 1) - K_h \quad (2)$$

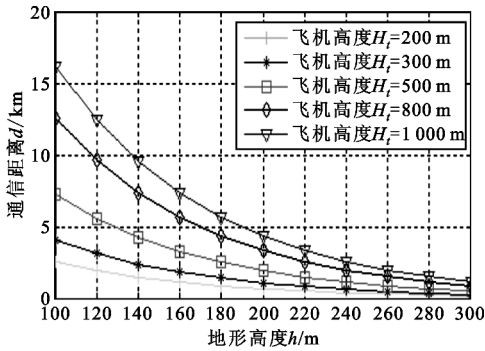


图4 RFC33A 的通信距离模型
Fig. 4 Model of RFC33A's communication distance

当通信距离为 2 km 时, 随着四周地形高度的增加, 无人机的飞行高度也增加。同时, 还要考虑系统的抗干扰能力对通信距离的影响。

3.1.3 无线数传电台

XTend 是一款工作于 900 MHz 的无线数传电台, 该模块支持串行异步通信 (UART), DO (6 脚)、DI (5 脚) 引脚分别和 MSP430 的 RXD、TXD 直接相连。工作电压 $2.8 \sim 5.5\text{ V}$, 当使用 5 V 供电时的最大发射功率为 1 W (30 dBm), 接收灵敏度为 -110 dBm ($@9\,600\text{ b/s}$)。此外, XTend 电台采用了跳频扩频技术, 使得机载探测器和地面站的通信抗衰落、抗多径、抗网间干扰更强, 保证了系统的远距离传输^[6]。

设计中采用增益为 5 dBi 的鞭状天线, 将 $L(\text{dB}) = 30 - (-110) + 5 + 5\text{ dBm} = 150\text{ dBm}$, $f = 900\text{ MHz}$, $H_r = 1\text{ m}$ 代入式 (1) 得到式 (3), 其仿真曲线如图 5 所示。

$$150 = 88 + 40\lg d + 20\lg 900 - 20\lg(H_t \times 1) - K_h \quad (3)$$

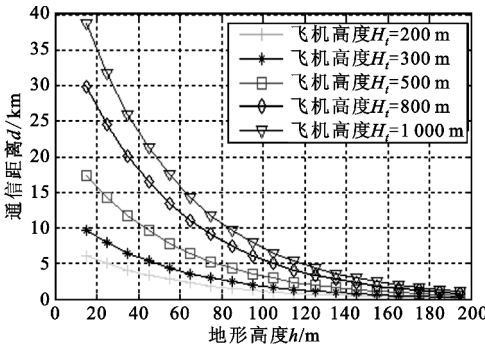


图5 XTend 的通信距离模型
Fig. 5 Model of XTend's communication distance

3.2 电源电路

RFC33A 工作于 5 V 和 3.3 V 电压, 瞬间发射电流达到 1 A 以上, XTend 的发射工作电流为 730 mA ,

整个系统工作的平均电流大约200 mA。要满足5 h的工作时间,因此电源部分采用输出电压为 11.1 ~ 12.6 V、容量为1 500 mAh的 LiPo 电池供电,通过开关电源转换为5 V和3.3 V电压。开关电源芯片选用

TI 的双路、自适应接通时间 D-CAP2 模式的同步降压转换器 TPS542951,其输入电压范围为 4.5 ~ 18 V,输出电压范围为 0.76 ~ 7.0 V,支持恒定的 2 A和3 A负载电流,如图 6 所示。

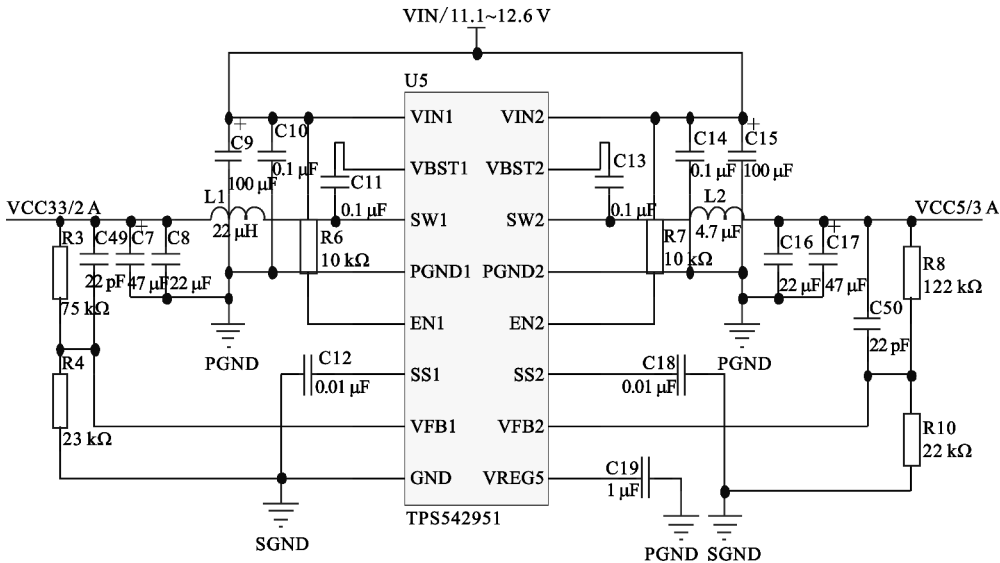


图 6 电源电路
Fig. 6 Power circuit

4 软件设计

机载探测器的软件设计包括了接收和发送部分。接收部分程序流程图如图 7 所示,系统初始化包含了时钟、IO 口、串口、XTend 模块和 nRF 模块的初始化,然后 nRF 模块接收来自信标机的 ID 号和地理位置信息,最后将获得的信息通过 XTend 电台传回地面站。发送部分程序流程图如图 8 所示,nRF 模块向信标发送“START”信号后,激活信标退出低功耗。

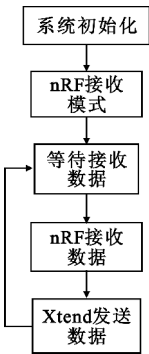


图 7 接收程序流程图
Fig. 7 Flowchart of receiving program

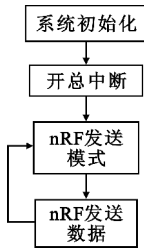


图 8 发送程序流程图
Fig. 8 Flowchart of transmission program

nRF905 有 4 种工作模式: ShockBurst RX、ShockBurst TX、掉电和 SPI 编程、STANDBY 和 SPI 编程。通过 TRX_CE、TX_EN、PWR_UP 引脚来设置 4 种工作模式,如表 1 所示。

表 1 nRF905 工作模式
Table 1 nRF905 operational modes

PWR_UP	TRX_CE	TX_EN	工作模式
0	X	X	掉电和 SPI 编程
1	0	X	STANDBY 和 SPI 编程
1	1	0	ShockBurst RX
1	1	1	ShockBurst TX

5 系统测试

5.1 指标测试

表 2 所示是机载探测器工作时间的测试,在室温的条件下,采用输出电压为 11.1 ~ 12.6 V、容量为1 500 mAh的 LiPo 电池供电进行 8 次测试。

表 2 工作时间测试
Table 2 The test of working time

测试次数	t/min
1	309
2	306
3	312
4	315
5	311
6	306
7	306
8	301

表 3 所示是飞机距地面垂直高度为100 m时机载探测器与信标机的通信距离测试,测试结果表明当 $d < 2\,000$ m时通信质量很好,当 $d > 2\,000$ m时通信质量受到了影响。

表 3 机载探测器与信标机的通信距离
Table 3 Communication distance between airborne detector and rescue beacon machine

次数	d/m	信号
1	1 700	好
2	1 800	好
3	1 900	好
4	2 000	好
5	2 100	较好
6	2 200	较好
7	2 300	差

表 4 所示是在空旷地带测试的机载探测器与地面站的通信距离,当 $d < 9.7$ km时通信质量很好,当 $d > 9.7$ km时通信质量较好。

表 4 机载探测器与地面站的通信距离
Table 4 Communication distance between airborne detector and ground station

次数	d/km	信号
1	8.0	好
2	9.0	好
3	9.5	好
4	9.7	好
5	10.0	较好
6	10.1	较好
7	10.3	差

5.2 野外实际测试

本系统于 2013 年 12 月 21 日在都江堰虹口进行了搜索测试并取得成功。测试地点平均海拔 1 500 m,四周群山环绕,森林茂密,是本系统较为理想的测试场所。

先由测试人员携带信标机前往森林覆盖的某区域模拟遇险人员,然后地面站派出无人机前往该区域搜索。机载探测器发出激活信号约1 min后激活信标,收到信标传回的地理位置信息并回传地面站,最后地面站根据传回的信息改变无人机的飞行轨迹前往目标区域并对该区域进行航拍。

测试设备如图 9 和图 10 所示,机载探测器安装在无人机的机腹位置。

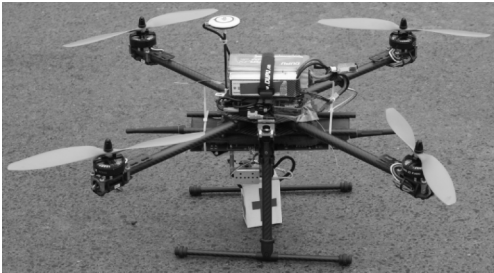


图 9 无人机
Fig. 9 UAV

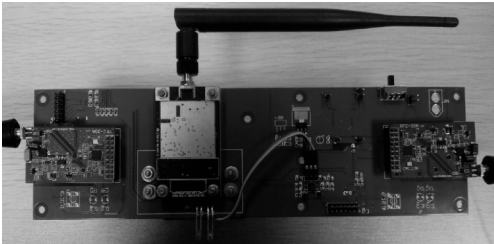


图 10 机载探测器
Fig. 10 Airborne detector

图 11 所示为地面站搜救软件显示的机载探测器传回的遇险人员的地理位置信息,图 12 为无人机利用航拍相机对被困者所在区域的航拍。

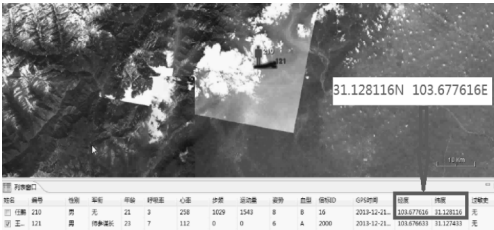


图 11 地面站软件显示遇险人员信息
Fig. 11 The software of ground station shows distress personnel information



图 12 航拍图片
Fig. 12 Aerial image

6 结 论

指标测试和野外测试表明机载探测器达到了指标设计要求,能够快速地对遇险人员进行定位。

从原理上分析,本系统采用了无人机技术和无线通信技术,能够对遇险人员进行准确定位并将信息实时传回地面站,使得救援人员能够快速到达遇险地,而现有的以图像搜索为主的搜救系统受环境影响大,采集的图像信息处理不仅受算法的影响而且还耗费时间。因此,本设计改善了现有搜救系统搜救效率低下、效果差等不足,实现了野外遇险人员搜索的目的。

无人机搜索系统的设计对我国景区、野外科考等领域的野外搜索起到了一定的推动作用,为遇险人员搜索提供了一种新的方式。在实际使用中可能会出现 GPS/“北斗”无法定位的问题,可以采用机载探测器接收到 ID 信息时无人机的地理位置信息来大致确定遇险人员的位置。由于无线通信受地形因素的影响,将进一步研究提高机载探测器与地面站的通信距离。

参考文献:

- [1] Rudol P, Doherty P. Human Body Detection and Geolocalization for UAV Search and Rescue Missions Using Color and Thermal Imagery [C]//Proceedings of 2008 IEEE Aerospace Conference. Big Sky, MT: IEEE, 2008: 1-8.
- [2] Waharte S, Trigoni N. Supporting Search and Rescue Operations with UAVs [C]//Proceedings of 2010 International Conference on Emerging Security Technologies. Canterbury: IEEE, 2010: 142-147.

- [3] 王尔申,张述杰,雷虹,等.“北斗”导航系统和无线电台在无人机监控系统中的应用[J]. 电讯技术, 2013, 53(7): 831-834.

WANG Er-shen, ZHANG Shu-jie, LEI Hong, et al. Application of Beidou Satellite Navigation System and Data Transceiver in UAV Monitoring System [J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53(7): 831-834. (in Chinese)

- [4] 李源. 基于短距离无线通信技术的无人机搜索系统研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.

LI Yuan. The Research of Search System Based on a Short Range Wireless Communication Technology on UAV [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2013. (in Chinese)

- [5] 戴昭颖. 空中无线电监测覆盖模型的研究和仿真[D]. 昆明: 云南大学, 2012.

DAI Zhao-ying. Study and simulation on coverage model of aerial radio monitoring [D]. Kunming: Yunnan University, 2012. (in Chinese)

- [6] 徐彤, 石果. 无线通信中的跳频技术及其应用[J]. 电讯技术, 2007, 47(5): 11-14.

XU Tong, SHI Guo. Frequency Hopping Technology in Wireless Communications and its Applications [J]. Telecommunication Engineering, 2007, 47(5): 11-14. (in Chinese)

作者简介:



王鼎鸿(1989—),男,四川南充人,硕士研究生,主要研究方向为数字通信与信号处理;

WANG Ding-hong was born in Nanchong, Sichuan Province, in 1989. He is now a graduate student. His research concerns digital communication and signal processing.

Email: 837110717@qq.com

高嵩(1972—),男,四川成都人,副教授,主要从事灾害应急搜索设备和物探仪器方面的研究;

GAO Song was born in Chengdu, Sichuan Province, in 1972. He is now an associate professor. His research concerns disaster emergency search equipment and geophysical prospecting instruments.

邹海春(1992—),男,四川蓬安人,硕士研究生,主要研究方向为数字通信与信号处理。

ZOU Hai-chun was born in Peng'an, Sichuan Province, in 1992. He is now a graduate student. His research concerns digital communication and signal processing.