

# 有体征监测功能的无人机野外搜救系统的设计<sup>①</sup>

李 源<sup>②</sup> \* \* \* 高 嵩 \* \* \* 阚瑷珂 \* \* \* \* 张 良 \* \* \*

( \* 成都理工大学地球物理学院 成都 610059)

( \*\* 四川邮电职业技术学院 成都 610067)

( \*\*\* 成都理工大学信息科学与技术学院 成都 610059)

( \*\*\*\* 西藏自治区科技信息研究所 拉萨 850000)

**摘要** 研究了用无人机(UAV)搜救遇险人员的技术。针对现有的无人机搜救系统仅考虑了待救人员的位置信息而未考虑其体征信息的情况,设计并实现了一种具有体征监测功能的 UAV 搜救系统。该系统的重要组成部分是待搜救人员携带的救援信标机和安装在待搜救人员身上的 ECG 体征监测仪,ECG 体征监测仪通过蓝牙接口把监测到的体征信号传给信标机,信标机利用它与无人机系统的通信链路将遇险人员的地理位置信息和体征信息传到地面救援中心,救援中心则会根据待救人员的具体体征情况进行有针对性的救援。试验表明,设计的这种 UAV 搜救系统能有效跟踪遇险人员的体征信息,为实施有针对性的救援提供了可能。

**关键词** 无人机(UAV), 体征监测, 野外救援

## 0 引言

无人机(unmanned aerial vehicle, UAV)由于其小型化、快速起降和无机载人员等特点,在野外搜索中得到了快速的发展和应用。现有的无人机搜索系统多以机载高清摄像头航拍、红外成像、图像识别等设备作为搜索方式,其搜索效果主要受四周环境、仪器精度、算法的影响,搜索手段需要仪器直视遇险人员,对于有遮挡物地区,比如丛林、山地等没有很好的解决方法<sup>[1,2]</sup>。遇险人员携带内嵌全球卫星定位系统(global position system, GPS)的救援信标机,在获得地理位置信息后通过无人机链路的无线电波提供搜索信息<sup>[3]</sup>,不依赖于仪器必须直视遇险人员,可以有效地提高救援的准确度。但是在搜索到遇险

人员后不清楚其生命体征状况,前往救援有可能因没有携带必要的医疗器械和药品耽误对遇险人员的急救,影响救援效果。随着物联网技术的发展,便携式的体征监测仪在老年、重病患者监控和室内监测领域已得到广泛的应用,而在野外搜索救援中还没有得到应用。本文在现有的无人机搜索系统的基础上,增加了体征监测仪——心电图仪(ECG),它通过蓝牙接口与信标机通信,传递地理位置信息和体征信息,以增强救援行动的针对性。

## 1 有体征监测的 UAV 搜救系统的设计

本系统是在文献[3]的无人机搜索系统基础上建立起来的,增加了体征监测仪,如图 1 所示,整个系统包含四个模块,即飞控地面站、机载探测器、救

① 国家国际科技合作专项(2011DFA22070),四川省教育厅自然学科研项目重点项目(13ZA0054),四川国际科技合作专项(2012HH0036),四川省社会科学重点研究基地——四川旅游发展研究中心立项课题(LYC14-15)和成都市科技惠民(2014-HM01-00146-SF)资助项目。

② 男,1986 年生,博士生,助教;研究方向:应急救援和仪器开发;联系人,E-mail: 86210111@qq.com  
(收稿日期:2015-05-31)

援信标机和体征监测仪。地面站作为无人机飞行控制的终端,控制无人机飞行和显示搜索界面;机载探测器是连接遇险人员与飞控地面站的枢纽,它将收到的由救援信标机产生的数据发送到地面站;救援

信标机和体征监测仪由遇险人员携带,救援信标机获取地理位置信息和与机载探测器通信,体征监测仪监测待救人员的心跳、呼吸率、心电图、三维体征等信息,通过蓝牙将数据传递给救援信标机<sup>[4]</sup>。

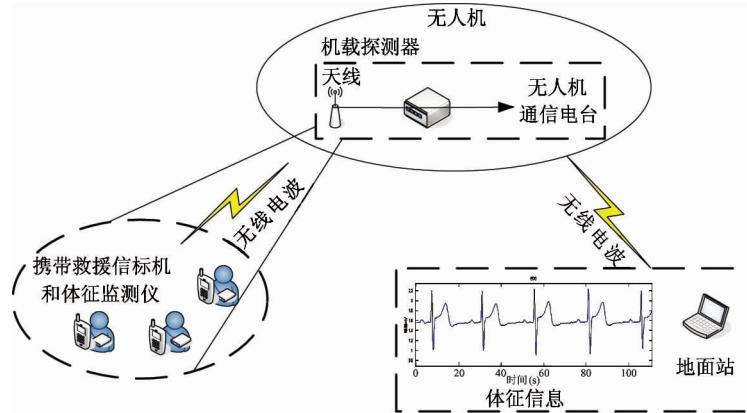


图 1 有体征监测的 UAV 搜救系统的结构图

## 2 体征监测仪

体征监测仪采用比利时 imec 公司的 ECG 体征监测终端,如图 2 所示,监测终端通过外围的两个电极臂连接心电贴获取心电信号,然后通过内置的 imec 心电处理芯片处理心电数据,并且还可以监测三维姿态信息。ECG 设备内嵌两通道 12bit 心电图获取芯片、三维姿态传感器 Bosch BMA250、蓝牙 CC2541 模块、内置电源等模块,由 TI MSP 430F5308 作为控制芯片。ECG 通过内置的低功耗芯片和处理技术,在一颗 CR2032 纽扣电池的条件下,可以连续工作 7 天,主要参数如表 1 所示。

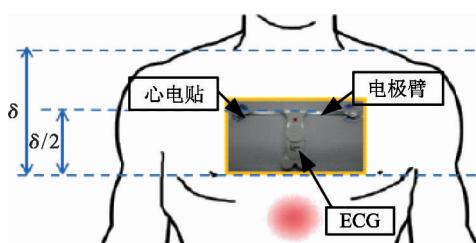


图 2 ECG 设备穿戴示意图

imec 公司提供的 ECG 设备,主要提供给研发人员开发老年人、病人监控系统,提供详细、准确的体征数据,所以 imec 提供的 ECG 模块配备了 TI BLE USB Dongle,需要 USB 端口 B 型口的设备才能进行

数据通信,导致接收端的体积增大,因此,本文采用内嵌 CC2450 并且支持串口通信接口的蓝牙模块,来代替 USB Dongle,提供蓝牙数据的接收。

## 3 救援信标机的设计

### 3.1 蓝牙 4.0 模块

蓝牙模块采购内嵌 CC2450 芯片 CC254xEMv2 模块(图 3)。此模块与 imec 公司所采用的 USB Dongle 具有同样的性能,并且其内含 PCB 板天线,因此更适合便携式设备使用。它可以提供串口通信接口,串口波特率为 115200,无奇偶校验,8 位数据位,1 位停止位。

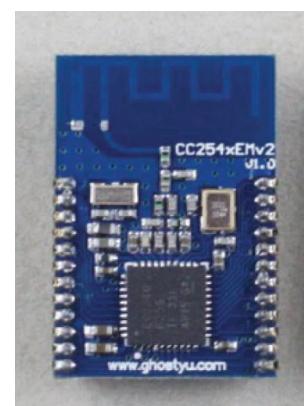


图 3 CC254xEMv2 模块

### 3.2 硬件设计

救援信标机是在文献[4]的基础上进行改进,增加了蓝牙4.0接口模块,救援信标机硬件系统如图4所示,主要包括主控模块、无线通信模块、定位模块、蓝牙模块和电源模块。主控模块采用TI公司的MSP430F149芯片控制信标机的整体工作;无线模块采用nRF905模块,负责与无人机上挂载的机载探测器通信<sup>[4]</sup>;蓝牙模块采购内嵌CC2450芯片CC254xEMv2模块,负责与ECG通信;定位模块采用内嵌GS15-C的GPS模块获取地理位置信息,而电源模块电池为可充电的锂电池并提供稳压。外壳需要具有防水等性能。

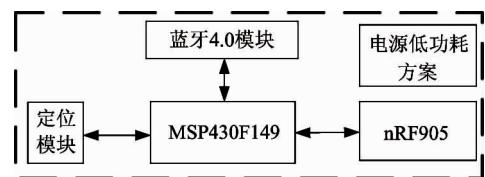


图4 救援信标机系统框图

### 3.3 软件设计

救援信标机内通过MSP430模块进行控制,通过控制一个无线模块的收发模式转换来进行通信。如图5所示,信标机启动后主要有四种工作模式,即低功耗模式(LPM),接收匹配(RX\_MAT)模式,发送(TX)模式和接收载波检测(RX\_CD)模式<sup>[4]</sup>。

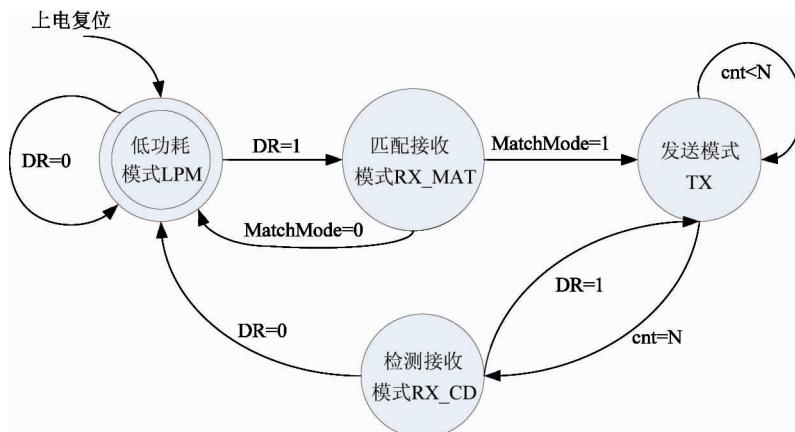


图5 救援信标机程序状态图

当信标机上电后,系统进入LPM模式,主控芯片MSP430处于LPM0模式,其余模块也处于低功耗状态,其中定时器设置为0.5s定时中断来监测激活信号,通过检测DR标志位判断是否有激活信号,若没有,继续定时检测;若有激活信号,信标机进入到RX\_MAT模式,通过匹配函数MatchMode是否为1确认是否激活信标机。当MatchMode = 1进入到TX模式时,信标机开启定位模块和蓝牙模块接收数据,并且通过无线模块发送数据。当信标机发送数据超过一定次数N后,转换到RX\_CD模式,通过DR引脚判断四周是否还有激活信号,若DR为1返回TX模式,为0则进入LPM模式<sup>[4]</sup>。

### 3.4 通信协议

救援信标机被激活后,通过nRF905模块向机载探测器发送信息,主要包括信标机的识别码信息、

地理位置信息和体征信息,通信协议如下:发送的数据以32个字节为一帧,其中,第1和第2字节是以二进制表示的信标机的唯一识别码;从第3~13字节为地理位置信息的二进制表示,信息从定位模块以GPRMC格式接收并由信标机提取、处理、封装数据;从第14~29字节为通过蓝牙模块读取的ECG数据;第30字节为心率数据;第31和第32字节可以用于CRC校验和其余数据传递(暂未使用)。信息中NA代表未用位。

## 4 系统测试

### 4.1 功耗测试

本文系统的功耗主要包含两部分,一个是救援信标机功耗,另一个为体征监测仪功耗。首先,救援

信标机做了系统数据的采集、处理和转接,其功耗的大小直接影响到系统的使用领域。救援信标机内置 MSP430F149 芯片,支持五种级别的休眠模式,最小休眠电流仅为  $1.6\mu\text{A}$ ,并且支持外部端口中断,工作电流  $280\mu\text{A}@1\text{MHz}, 2.2\text{V}$ ,而本文中救援信标机在没有激活信号下均工作在低功耗模式,关闭蓝牙模块、GPS 模块,只休眠定时开启无线接收模块监测激活信号。利用  $500\text{mA Li-Po}$  电池进行 10 次常温下测试,探测器和信标机距离均为  $2000\text{m}$ ,测试数据如表 1 所示。

表 1 信标机工作时间测试

测试次数	测试时间(h)	测试次数	测试时间(h)
1	220	6	219
2	218	7	220
3	221	8	222
4	220	9	221
5	219	10	219

体征监测仪使用 MSP 430F5308 作为控制芯片,标准工作电流为  $195\mu\text{A}/\text{MHz}@8\text{MHz}, 3\text{V}$ ,最小休眠电流为  $1.1\mu\text{A}$ ,采用内置 CR2032 电池,可以通

过蓝牙指令控制其工作方式,分为工作方式和待机方式,其中工作方式可以维持 7 天的正常工作。

## 4.2 数据测试

通过蓝牙模块与 imec ECG 设备通信,将蓝牙收到的数据通过串口发送到电脑,电脑通过串口调试助手对数据进行显示和存储。对存储的数据进行分析和波形显示,然后通过 imec 公司提供的测试软件进行对比分析,两者数据基本吻合,即可以通过测试。被测试人员为一位 30 岁男性,生命体征状态良好,测试时间 90s,共测试到 49842 字节数据,以 27 个字节为一帧数据,数据总共 1846 帧。

每帧数据以 04 FF 18 1B 05 00 00 00 12 36 00 为帧头,之后每两个字节为一组数据,ECG value (mV) 值可以通过 imec 公司提供的公式

$$\text{ECG\_value (mV)} = (\text{data\_high} \ll 8 + \text{data\_low}) \times 900 / (4096 \times 275) \quad (1)$$

可得。其中 ECG\_value 为计算的 ECG 电压值,单位为 mV;data\_high 和 data\_low 为测试数据的高八位和低八位,均为十六进制数。根据公式(1)对测试数据进行处理,可以得到其 ECG 的波形图如图 6 所示。基本可以反映被测试人员的心电信息。

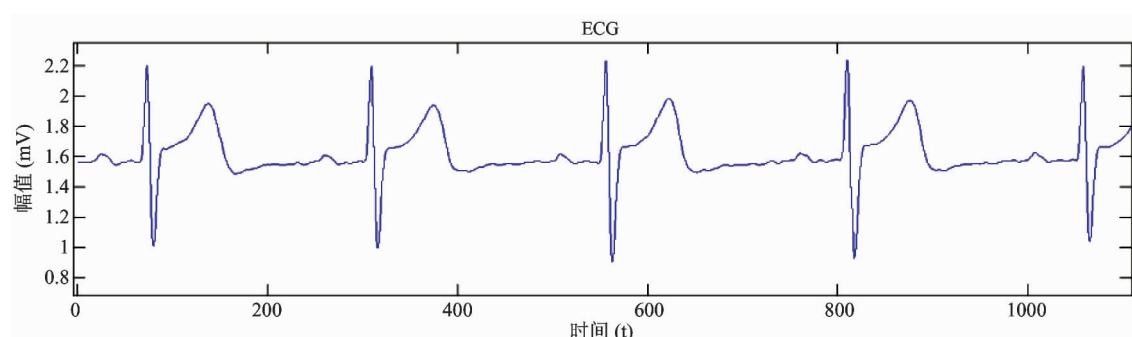


图 6 实验人员 ECG 波形实例

ECG 设备也可以提供心率的监测,测试时间 90s,共测试到 1092 字节数据,以 13 个字节为一帧数据,数据总共 84 帧。数据中 04 FF 0A 1B 05 00 00 00 04 2E 00 00 为每组数据的帧头,之后一个字节为心电数据,根据 imec 提供的 Heart rate value 为第十三个字节(十六进制)的十进制表示,其心率波形如图 7 所示。

与 imec 公司提供的测试软件 Human ++ BAN Real-time Data Acquisition 共同测试被测人员,如图 8 所示。图中 ECG 框图内显示的为心电图数据,与通过第三方蓝牙设备采集的数据波形基本一致,将两者进行数据差值比较,如图 9 所示,可以看出数值误差在  $10^{-3}$ ,已经可以满足实际数据采集的需要。在图 8 中,左上角 Heart Rate 窗口反映的就是心率。

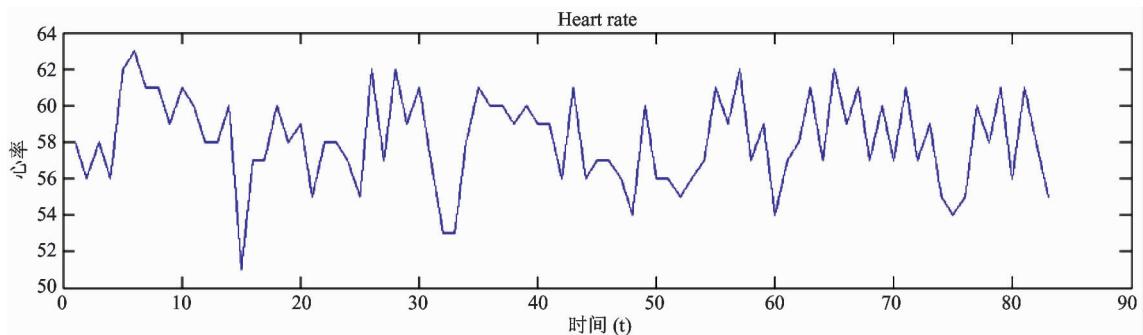


图 7 实验人员心率波形



图 8 Human++ BAN Real-time Data Acquisition 测试人员

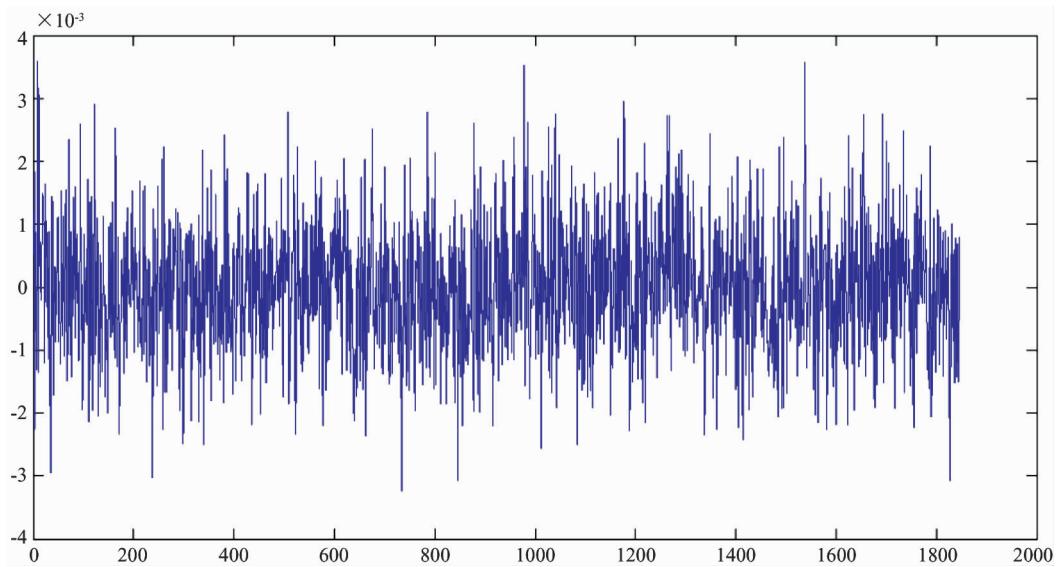


图 9 第三方蓝牙数值与 imec 蓝牙数据差值

#### 4.3 野外实际测试

体征监测系统于 2013 年 12 月 21 日在四川省都江堰虹口旅游保护区进行了野外测试。测试地点平均海拔 1500m，四周多高山河流。测试人员携带体征监测 ECG 设备，并佩戴救援信标机进入景区，然后派出挂载机载探测器的无人机进行搜索救援，

在搜索到野外人员后飞控地面站可以显示测试人员的生命体征信息和地理位置信息。图 10 中无人机腹挂载有探测器。

图 11 为地面站显示软件，是利用 ArcGIS 平台设计的三维演示界面，通过 USB 口读取无人机电台发出的无人机飞行信息和搜救人员信息，对数据进

行处理与解释,然后在地面站软件上图形化显示无人机的飞行轨迹、状态、人员信息。如图 11 所示,测试人员的姓名某某、编号 ID210,性别男、地理位置为北纬 31.1281°、东经 103.6776°和生命体征信息心率为 61。同样可以包括心电图信息和测试员的身体姿态信息。



图 10 无人机挂载探测器

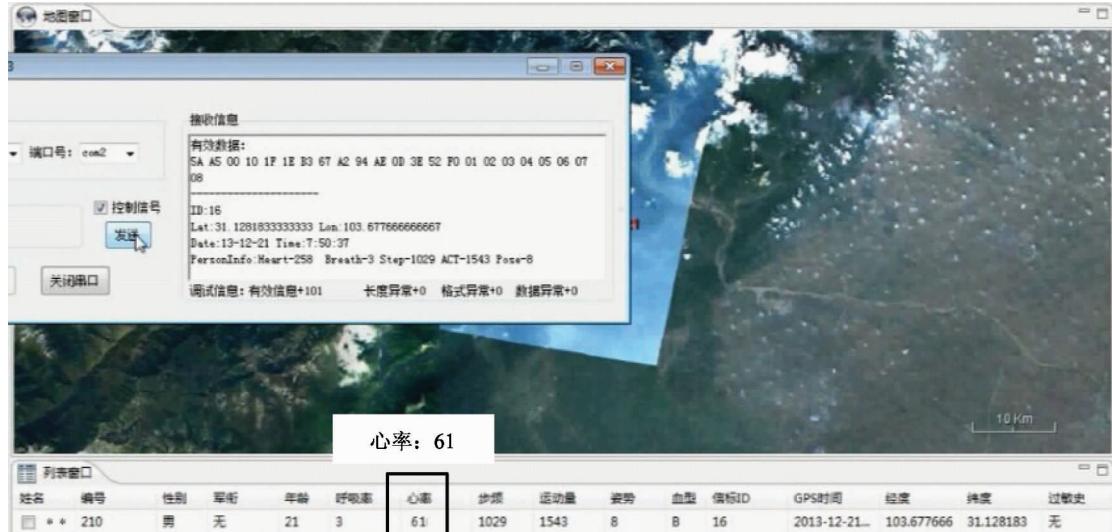


图 11 地面站显示软件

## 5 结 论

通过对现有无人机搜索系统的研究和改进,在救援信标机的基础上增加了蓝牙接口获取体征信息,在快速准确地获得遇险人员的地理位置信息同时可以获取生命体征信息。通过这种方式,前往救援前就可以通过传递回的生命体征信息,掌握遇险人员的身体状况,救援时明确携带必要的医疗器械和药物。试验表明,此研究成果在搜救行动中能有效跟踪遇险人员的体征信息,为搜救行动开展提供更完备的参考信息。

## 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. In: Proceedings of the 2008 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, USA, 2008. 1-8
- [2] Patrick Doherty, Piotr Rudol. A UAV Search and Rescue Scenario with Human Body Detection and Geolocalization. *Lecture Notes in Computer Science*, 2007, 4830:1-13
- [3] 高嵩,王绪本,李志鹏等. 一种景区遇险游客搜寻系统. 中国专利,201210240780.8, 2012-7-12
- [4] 李源. 基于短距离无线通信技术的无人机搜索系统研究[硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2013

# Design of an UAV search and rescue system with the ECG monitor function

Li Yuan<sup>\* \*\*</sup>, Gao Song<sup>\*\*\*</sup>, Kan Aike<sup>\* \*\*\*\*</sup>, Zhang Liang<sup>\*\*\*</sup>

(<sup>\*</sup>College of Geophysics, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

(<sup>\*\*</sup>Sichuan Post and Telecommunication College, Chengdu 610067)

(<sup>\*\*\*</sup>College of Information Science and Technology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

(<sup>\*\*\*\*</sup>Tibet Autonomous Region Science and Information Technology Research Institute, Lhasa 850000)

## Abstract

The problem of field search and rescue using an unmanned aerial vehicle (UAV) was studied, and a new UAV search and rescue system with the ECG monitor function was designed and implemented. Unlike the existing system, the new system considers not only the geographic position information of the persons in danger, but also their vital health signs. It concludes two important parts, the rescue beacon machine the persons in danger carry and the ECG monitor mounted on the persons' body for detecting their vital health signs. The health signals detected by the ECG monitor are transmitted to the rescue beacon machine through a blue-tooth interface, then the beacon machine uses the communication link between it and the UAV system to transmit the geographic position information and the health signals of the persons in danger to the ground rescue center, and finally, the center carries out the right rescue according to the specific health signs. The experimental results show that the new design makes it possible to use health signals to realize right rescue.

**Key words:** unmanned aerial vehicle (UAV), ECG monitor, field search and rescue