

引用格式:艾兵,杨睿.直升机海上搜索航路辅助规划算法[J].电光与控制,2017,24(11):91-94,99. AI B, YANG R. An algorithm of auxiliary route planning for helicopter marine searching [J]. Electronics Optics & Control, 2017, 24(11):91-94, 99.

直升机海上搜索航路辅助规划算法

艾兵, 杨睿

(中国航空无线电电子研究所, 上海 200030)

摘要: 随着国家海上贸易、军事活动的日益增多,直升机作为海上搜救的重要工具,海上搜救能力需要不断提高。搜索航路的合理性是提高直升机海上搜救的效率及成功率的关键因素。在能够获取目标地点的前提下,给出不同场景下的搜索航路规划方法。首先给出两种手持设备场景下的电子航路规划方法,然后重点分析了目力搜索航路规划,给出了目力观察范围、存活时间估计、飞行高度限制、飞行速度限制、扫海宽度计算、搜索起始点的计算以及3种常用航路的选取原则与参数设置,最后给出了整个算法的流程图及仿真分析。

关键词: 航路辅助规划; 直升机搜救; 搜索航路; 目力搜索

中图分类号: TN956; O221.6 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2017.11.019

An Algorithm of Auxiliary Route Planning for Helicopter Marine Search

AI Bing, YANG Rui

(Chinese Aeronautical Radio Electronics Research Institute, Shanghai 200030, China)

Abstract: The helicopter is a crucial tool of marine search, and its searching ability needs to be improved with the increase of national marine trade and military activities. The rationality of the search route is the key to an efficient search and a high success rate. Under the premise of the access to the target location, this paper provides the route-planning methods under different scenarios. At first, two kinds of electronic route-planning methods are given under the scenario of using handheld device. Then, the route-planning method for visual search is analyzed emphatically, with the range of visual observation, the estimation of survival time, the limits on flight height, the limits on flight speed, the calculation of marine search width, the calculation of the starting point of searching, and the selecting principle and parameter settings of the three common routes. At last, the flow chart of the whole algorithm is presented with the simulation analysis.

Key words: auxiliary route-planning; helicopter maritime search; search route; visual searching

0 引言

随着我国经济与军事的发展,跨地区、国家的海上贸易、军事活动日益增多,随之而来的是对海上搜救能力越来越高的要求。直升机海上搜救具有快速机动、覆盖面广、搜索效率高、救援效果好等特点,因而在海上搜救任务中受到重视。2015年6月1日,从南京出发、驶向重庆的客船“东方之星”在长江中游湖北监利水域遇到大风导致翻沉。长江航务等部门接报后,立

即组织救援力量赶赴现场参加救援任务,其中包括6架直-8型直升机。

在航务、海事等部门接收到遇险目标发出的求救信号并判明遇险人员基本分布后,通知载有救援直升机的舰船到达遇险人员分布区域进行搜救。由于海上搜救场景中存在海流、风生流、风压差等因素,遇险人员分布区域会扩大到一定范围,研究如何在较大范围内高效地规划航路对提高搜索效率具有重要的意义。文献[1]利用人机工程学理论和运筹学原理建立遇险目标及直升机的运动模型和观察人员发现概率模型;文献[2]对搜寻方法尤其是视力搜寻方法进行总结和分类,对各种搜寻方法予以评估。但是这些研究只给出了运动模型或搜寻方法,并未给海上搜索形成明确

收稿日期:2016-12-14

修回日期:2016-12-22

作者简介:艾兵(1990—),男,山东泰安人,硕士,研究方向为信息与信号处理。

可行的规划航路,本文在能够获取事故发生地点的前提下,结合海上目力搜索模型及海上搜救航路特点,给出搜索航路的辅助规划算法。

1 电子搜索航路规划

在海上搜索中,电子搜索是常用且效率、成功率较高的一种搜索方式,但该种搜索方式能够应用的前提为遇险个体自身需配备手持设备,机载设备通过接收处理来自遇险个体手持设备的无线电、北斗报文等信息来对其定位,从而完成救援任务。国内的手持设备主要包括手持电台、手持北斗用户机等。

1.1 手持电台场景

超短波电台通常主要由收发信机、控制盒、电源和天线组成,与短波电台相比,具有更宽的通频,并且传输信号更稳定。在海上救援中,主要使用救生电台设备的救生搜索、语音通话功能,具有3个固定的救生频率,分别为121.5 MHz(AM),156.8 MHz(FM)和243 MHz(AM)。

执行搜救任务时,航路的规划依据搜救区域的大小分为两种:1)当搜索区域小于机载电台的作用范围时,航路规划会给出直飞规划,航路终点定为搜索区域的中心,若在前往搜索区域中心的过程中发现待救人员则终止航路并进行人员营救;2)当搜索区域大于机载电台的作用范围时,通常采用梯形线搜寻方位,梯形航线的间距为机载电台的作用距离,其航线参数信息参见本文2.6节。

直升机飞行到遇险人员分布区域前,需要将电台主接收机设置在对应频段的救生频率上,以便接收来自遇险个体的救生频率信号。

1.2 手持北斗设备场景

北斗系统是我国自主研发的卫星导航通信系统,手持北斗设备利用北斗系统完成定位及通信,定位精度最高可达5 m以内^[3],具有全天候的定位、守时和双向报文通信功能,支持基于文本/航迹图/指南针等多种方式的移动导航等。

国内直升机较多配备了北斗综合卫星导航通信系统,系统可以接收来自其他北斗机的报文信息,遇险个体可以通过手持北斗设备向其他北斗机发送求救报文、自身位置信息。此类场景的救援中,搜救直升机可以获得遇险个体的精确位置,辅助航路规划模型在获取遇险个体的位置信息后,会自动生成直飞航路,在飞行过程中根据遇险个体位置对航路进行实时更新。

2 目力搜索航路规划

2.1 目力观察范围

机上人员在目力搜索过程中视力会处于松弛状态,

其垂直平面内的自然视线低于水平38°,对海洋(蓝色)的水平视野为左右各40°,垂直视野中上下方向为20°,人员每次瞥视的区域为水平左右各2°,垂直视野中上下方向为20°^[1],上方向需要根据目力发现海面漂浮人员的最大距离及直升机高度共同决定。视力观察范围剖面图如图1所示。图中:P点表示飞机,飞行方向见图中标注; h 表示飞机的飞行高度。

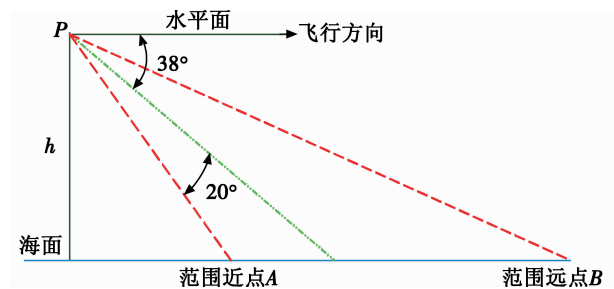


图1 搜索区域剖面图

Fig. 1 Sectional view of the search area

2.2 存活时间估计

遇险个体落水后,身体会浸泡在水里,能够存活的时间主要依赖于个体抵御寒冷的能力以及水面温度的高低。存活时间的估计对于航路规划有着重要的意义,因为只有当遇险个体还在存活时间内时,搜救工作意义才大。在实际的搜索救援中,个体的御寒能力差异性无法估计,只能根据水面温度来估计存活时间。表1为不同水温下生存时间参考数据。

表1 不同水温下生存时间参考数据

Table 1 Survival time at different water temperatures

温度/°C	预计存活时间/min	温度/°C	预计存活时间/min
0	8	15	420
5	60	25	1440
10	180		

利用上述经验数据,利用Matlab进行曲线拟合,几个经验值点函数近似幂函数特征,获得0~25°C下的温度与存活时间的函数(见图2),即

$$y = 0.0626x^3 + 0.4689x^2 + 6.4623x + 6.3038 \quad (1)$$

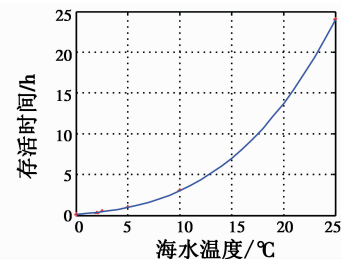


图2 温度-存活时间曲线

Fig. 2 Temperature vs survival time

2.3 扫海宽度计算

在海面目力搜索时,当眼睛无法分辨人体肩宽长

度的物体时,发现遇险个体的概率几乎为零。根据瑞利判据,当两个衍射斑中心的角距离等于衍射斑的角半径时,两个相应的物点恰能分辨。视力恰好能够分辨的角分辨力为

$$\delta = (1.22 \cdot \lambda) / D \quad (2)$$

式中: λ 表示分辨目标的波长,遇险个体的救生衣一般为橙色,橙色的波长为 600 nm 左右; D 表示人眼瞳孔的直径,一般取值为 3.00 mm。遇险人员海面漂浮时,两肩外延两点之间距离较长,用 S 表示,一般为 35 cm 左右。飞行员所能分辨的 S 间距的物点的最大距离为

$$L_{\max} = S / \delta \quad (3)$$

经计算,搜救观察员能够发现海面漂浮单个人员的最大距离为 1434.4 m 左右。在目力搜索中,最远距离可参见图 3 中的 PC 段。

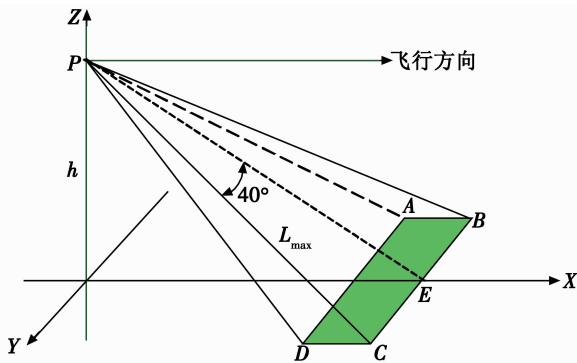


图 3 观察范围示意图

Fig. 3 Range of observation

由 2.1 节可以获得飞行人员的机上视野范围,则扫海宽度 CB 的长度 L_{search} 为

$$L_{\text{search}} = 2 \cdot CE = 2L_{\max} \cdot \sin 40^\circ \quad (4)$$

2.4 飞行速度限制

在 2.1 节中,机上观察人员可以观察到的范围为水平各 40° ,所以水平区域的视野范围约为 80° ,垂直自然视野上下各 20° 。正常情况下,人一次观察的区域范围为中心视线左右各 2° ,垂直自然视野上下各 20° ,则需要观察的时间为

$$T = \frac{80}{2\alpha} \quad (5)$$

式中: α 表示 1 s 内观察的次数。在观察时间内,飞机飞行距离不应大于图 3 中 AB 间的距离,由此可得 $T \cdot v \leq \sqrt{L_{\max}^2 - h^2} - h \cdot \tan 32^\circ$,即

$$v \leq (\sqrt{L_{\max}^2 - h^2} - h \cdot \tan 32^\circ) / T \quad (6)$$

2.5 搜索起始点计算

遇险者在海上漂流主要依靠风和洋流两种力量。为了计算幸存者的大致位置,就必须估算漂移的方向和速度。漂移的两个组成部分是总流压差(TWC)和

风压差。其中:风压差是风作用于遇险者暴露在水面上的部分,使人体随着风向漂移;总流压差主要包含海流、风生流和内河水流等^[4]。在本文分析的场景中遇险对象为海上个体,暴露在水面上的部分较小,风压差影响可以忽略,总流压差则不需要考虑内河水流影响。因此,在估算出搜寻区域的风生流和海流的大小后,通过计算两者的矢量叠加,得出漂移的方向和速度。

获取遇险个体的位置、失踪时间、漂移速度和近邻直升机的位置、最大巡航速度后,根据余弦定理计算出直升机与漂移的遇险者交汇时的时间,进而可以计算出交汇点位置。在 2.6 节中的扩展矩形及扇形的航路中,交汇点即为搜索起始点;在梯形航路中,交汇点为梯形航路的中心点。

2.6 搜索航路选择

在规划中,常用的主要包括扩展矩形、梯形、扇形 3 种航路,其示意图如图 4 所示。



图 4 搜索航路示意图

Fig. 4 Schematics of search route

2.6.1 扩展矩形

扩展矩形搜索适用场景为:搜索目标位置处于海流、风生流较小,遇险个体位置相对移动较小。此种场景下,遇险个体位置可以较为准确预测,从而以遇险个体位置预测点为搜索起始点,以扩展矩形来展开搜索工作。该模式下辅助航路规划给出的主要参数为:1) 起始点经纬度,即搜索航路的起始点;2) 初始角度,即搜索航路从起始点出发时的飞行角度;3) 增量,指在扩展矩形航路中,两条平行航线之间的距离,会根据遇险个体存活剩余时间估计值及直升机续航时间来调节;4) 左/右旋,指飞机从初始点出发后第一次更改航向的方向。

2.6.2 梯形

梯形搜索航路是指沿着一个方向,不断扩大搜索范围的航路,主要适用场景为:遇险海域存在海流、风生流等因素,会使得遇险个体向某个方向以近似不变的速度移动。此种场景中,航路辅助规划给出的航路信息的主要参数如下:1) 起始点经纬度,即搜索航路的起始点经纬度;2) 搜索方向,即预测的遇险个体移动方向;3) 向前方向增量,指搜索方向上,两条平行航路之间的距离间隔,会根据遇险个体存活剩余时间估计值来调节;4) 左右方向增量,指垂直于搜索方向上,搜索航路中轴线一侧的两条平行航路之间的距离间隔,会根据遇险个体存活剩余时间估计值及直升机续航时间来调节。

2.6.3 扇形

扇形航路主要使用场景为:遇险个体的位置准确(移动速度较小)、需要搜寻区域较小(尤其适用于直升机能够快速到达海难现场的情况),其主要用于搜寻以预测海难现场为中心的圆形搜索域^[5]。扇形搜索方式能对中心区域更全面覆盖,外侧区域基本覆盖。此种场景中,航路辅助规划给出的航路信息的主要参数如下:1)起始点经纬度,即搜索航路的起始点经纬度;2)初始角度,即初始搜索的角度;3)扇面角,指搜索航路扇面的中心角;4)搜索半径,即搜索航路的半径;5)左/右旋,指顺时针或逆时针方向搜索。

3 算法流程

整个算法的流程如图5所示。

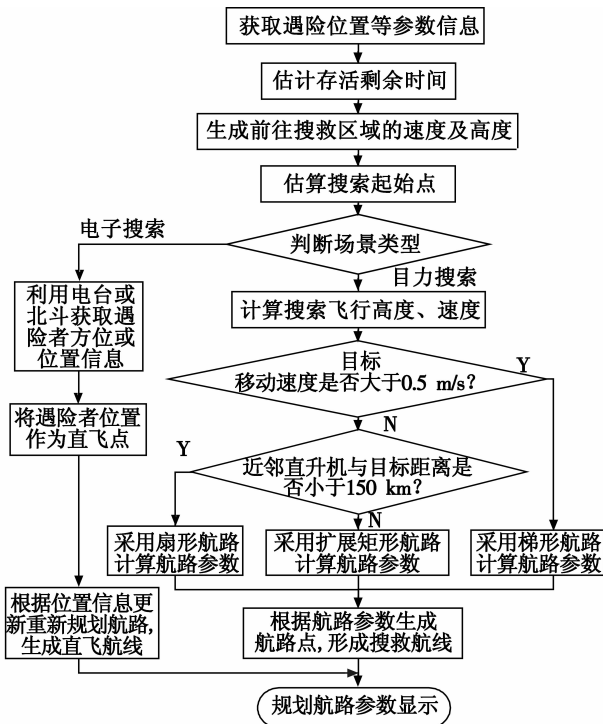


图5 算法流程图

Fig.5 Flow chart of the algorithm

4 仿真结果分析

软件设计中需要的主要参数输入包含场景环境参数、遇险个体信息、近邻直升机信息3个种类。其中:场景的环境参数主要包含海流速度、海流流向、风生流速度、风生流方向、海面气温、海洋表面水温;遇险个体信息主要包含失踪时间、手持设备、估计经纬度;近邻直升机信息主要包含近邻直升机经纬度、续航时间。航路规划可以根据上述参数,选择相应的规划方案,生成该方案下的航路参数,通过坐标转换获取航路点信息。同时,根据所处的场景及平台信息,给出对飞机的高度及速度

的推荐值。软件仿真界面设计如图6所示。



图6 Matlab 仿真设计图

Fig.6 The Matlab simulation interface

设定的场景中,海流速度为1 m/s,方向为北偏东35°,风生流的速度为0.2 m/s,方向为北偏东25°,遇险位置为N27.52°,E128.51°,海面空气温度20℃,表层水温为15℃。遇险个体失踪1h,且无手持设备。距离估算失踪位置点最近的直升机位置为N30.52°,E118.51°,直升机续航时间为4h。最终给出的航路规划结果如图7所示。



图7 仿真结果图

Fig.7 Simulation result

算法给出的为目力搜索模式的梯形搜索航路,并根据遇险者所处环境因素进行了搜索起始点的预测,根据存活时间等因素确定了直升机的搜索速度等,规划结果符合常用直升机海上搜索实际规划,节省了规划时间,能够提高救援的成功率。

5 结束语

本文提出了直升机海上搜索航路的辅助规划算法,给出了电子搜索和目力搜索两种方式下的算法,考虑因素较全,并利用 Matlab 编写了相应的仿真软件,通过测试场景,给出了该场景下的航路规划,适用于突发海上救援,能够快速给出搜索方案,提高海上搜索救援的反应时间及成功率。

参考文献

[1] 张福光. 直升机海上搜救最优模式研究[J]. 系统工程理论与实践,2001(3):87-91.

(下转第99页)

- [4] 林翊青, 李景文. 大距离徙动情况下距离多普勒(R-D)算法与后向投影(BP)算法的比较[J]. 雷达科学与技术, 2004, 2(6): 349-354.
- [5] 李文静, 陈红卫. 改进 R-D 算法的 ISAR 成像仿真研究[J]. 舰船科学技术, 2015, 37(6): 114-118, 121.
- [6] 刘光炎, 黄顺吉. 非线性 CS 算法的前斜视 SAR 成像[J]. 电子与信息学报, 2003, 25(10): 1308-1315.
- [7] 吴勇, 宋红军, 彭靳. 基于时域去走动的 SAR 大斜视 CS 成像算法[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(3): 593-598.
- [8] BU H X, TAO R, BAI X, et al. A novel SAR imaging algorithm based on compressed sensing[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2015, 12(5): 1003-1007.
- [9] PAPOULIS A. Systems and transforms with applications in optics[M]. New York: McGraw-Hill, 1968.

(上接第 77 页)

- [4] 周鑫, 彭荣鲲, 袁锁中, 等. 舰载机着舰纵向甲板运动预估及补偿技术[J]. 南京航空航天大学学报, 2013, 45(5): 599-604.
- [5] 杨一栋, 甄子洋, 邱述斌, 等. 无人机着舰制导与控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [6] 吴森堂. 飞行控制系统[M]. 2 版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- [7] 王秋晰. 随机微分方程最优控制理论的若干问题[D]. 吉林: 吉林大学, 2015.
- [8] 王科俊. 海洋运动体控制原理(船舶与海洋工程系列)[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2007.
- [9] 张永花. 舰载机着舰过程甲板运动建模及补偿技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
- [10] CHUA C S. Generic UAV modeling to obtain its aerodynamic and control derivatives[D]. Monterey: Naval Postgraduate School, 2008.
- [11] HALLBERG E, KOMLOSY J, RIVERS T, et al. Development and applications of a rapid flight test prototyping system for unmanned air vehicles[C]//The 18th International Congress on Instrumentation in Aerospace Simulation Facilities, IEEE, 1999: 2601-2610.

(上接第 87 页)

- [6] 王建宏, 王道波. 飞机颤振模态参数的偏差补偿辅助变量辨识[J]. 电光与控制, 2011, 18(12): 71-74.
- [7] YUEN K V, KATAFYGIOTIS L S. BAYSIAN modal updating using complete input and incomplete response noisy measurements [J]. Journal of Engineering Mechanics, 2002, 128(3): 340-350.
- [8] ERSOY K, ATASOY M, GENÇ C. Modal updating of tail of a military helicopter[J]. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series, 2016(9): 133-144.
- [9] 魏锦辉, 任伟新, 万华平. 基于模态柔度的有限元模型修正方法[J]. 振动与冲击, 2013, 32(13): 107-111.
- [10] 李伟明, 洪嘉振. 基于频响函数的模型修正方法[J]. 上海交通大学学报, 2011, 45(10): 1455-1459.
- [11] 杨启志, 郭林强, 宋俊朋, 等. 车辆并联多维减振座椅的模态分析[J]. 机械科学与技术, 2016, 35(9): 1432-1438.
- [12] 李克雷, 谢振宇. 基于 ANSYS 的磁悬浮转子的模态分析[J]. 机电工程, 2008, 25(1): 1-3.
- [13] BUFFE F, ROY N, COGAN S. Modal identification and model updating of pleiades[J]. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series, 2011(1): 131-143.
- [14] 董威利. 月球探测器软着陆动力学分析及动态子结构技术研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.

(上接第 90 页)

- 尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [8] 林秉雄. SIFT 特征匹配标准与匹配方式的改进与应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [9] 刘佳, 傅卫平, 王雯, 等. 基于改进 SIFT 算法的图像匹配[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(5): 1107-1112.
- [10] OLESEN S M, LYDER S, KRAFT D, et al. Real-time extraction of surface patches with associated uncertainties by means of Kinect cameras [J]. Journal of Real-time Image Processing, 2015, 10(1): 105-118.
- [11] NASRI S, BEHRAD A, RAZZAZI F. Spatio-temporal 3D surface matching for hand gesture recognition using ICP algorithm [J]. Signal, Image and Video Processing, 2015, 9(5): 1205-1220.

(上接第 94 页)

- [2] 邱平. 海上最佳搜寻区域与搜寻方法的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2006.
- [3] 小记. 北斗手持型用户机——一个人[单兵]掌控的北斗用户产品[J]. 卫星与网络, 2007(12): 54-55.
- [4] 刘凯燕. 对海上落水人员漂流轨迹的预测研究[J]. 电子设计工程, 2013, 21(23): 1-3, 6.
- [5] 中华人民共和国海事局. 国际航空和海上搜寻救助手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.