学 号\_2014105329\_

密 级\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

哈尔滨工程大学学士学位论文

飞机坠落与残骸轨迹的预测与仿真

|  |  |
| --- | --- |
| 院 (系) 名 称： | 计算机科学与技术学院 |
| 专 业 名 称： | 计算机科学与技术 |
| 学 生 姓 名： | 张天 |
| 指 导 老 师： | 张菁 教授 |

哈尔滨工程大学

2018年6月

**飞机坠落与残骸轨迹的预测与仿真**

**张天**

**哈尔滨工程大学**

学 号\_2014105329\_

密 级\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

飞机坠落与残骸轨迹的预测与仿真

Prediction and simulation of aircraft crash and debris trajectory

|  |  |
| --- | --- |
| **学 生 姓 名：** | 张天 |
| **所 在 学 院：** | 计算机科学与技术学院 |
| **所 在 专 业：** | 计算机科学与技术 |
| **指 导 老 师：** | 张菁 |
| **职 称：** | 教授 |
| **所 在 单 位：** | 哈尔滨工程大学 |
| **论文提交日期：** | 2018年6月 |
| **论文答辩日期：** | 2018年6月 |
| **学位授予单位：** | 哈尔滨工程大学 |

摘 要

近年来空难事故的频繁发生，引起了人们的广泛关注，尤其是2014年3月8日失联的MH370，事故极其严重。但是事故已发生，239名遇难者的性命已无法挽回，至关重要的是如何从事故中分析发生原因。在空难事故中，通常需要搜寻飞机的残骸来辅助分析遇难时的情况。本文将在此背景下对空难事故残骸搜寻方法展开以下研究，搭建一个完整的基于本文搜寻方法的虚拟仿真系统。

本文拟通过三个阶段建立总体搜寻模型，第一阶段即飞机坠落阶段将得出坠机位移，第二阶段即残骸漂移阶段将得到一定时间以后的漂移位移。第三阶段即位移合成阶段。

针对飞机坠落阶段，本文计划从空气密度角度出发，计算飞机在坠落过程中的飞行阻力，飞行升力，再结合飞机的自身重力，进行力学分析，得到飞机的飞行受力情况，然后计算出飞机的加速度、速度和飞行轨迹，最后得到飞机坠机偏移。

针对残骸漂移阶段，本文将在国际通用的风压差模型的基础上，结合概率统计模型加以改进，得到本文所使用的残骸漂移模型。该模型将使用美国航空航天局（NASA）喷气推进实验室公布的风场与流场数据，计算每次更新时的残骸漂移速度，然后在概率模型的支持下合成出一个符合实际的漂移速度。最后根据仿真时间得到残骸的漂移位移。

针对位移合成阶段，本文将通过结合失事地点、坠机位移和残骸漂移位移通过高斯反向计算得到残骸的最终经纬度。

本文还将采用OSG开源三维仿真引擎结合Qt界面开发框架，搭建出一个界面友好的海洋仿真环境，实时展示出上述的模型飞机在坠落阶段、残骸漂移阶段的具体情况。

关键词：虚拟仿真；马航MH370；搜索救援；风压差； OSG

**ABSTRACT**

The frequently occurring of air disasters recently has caught extensive attention. The missing MH370 was especially serious. But the disaster has happened, 239 victims can't return to life, it’s important to analyze the cause from the accident. In research methods used for air disasters, it is often necessary to search for the wreckage of a plane to assist in analyzing the circumstances of the crash. In this paper, the following research will be carried out on the search method of air crash debris and build a complete simulation system based on the method.

This paper plans to establish an overall simulation model through three stages. The first stage is the stage of falling which will get the displacement of falling. The second stage is the stage of wreckage drift which will get the drift displacement after a certain period of time. The last stage is the stage of displacement synthesis.

For the stage of falling, the paper will calculates the resistance, lift from the Angle of air density, and then combines the gravity of the aircraft to carry out the mechanical analysis for obtaining the force of flight. Then the acceleration, speed and trajectory of the aircraft will be calculated, the displacement of falling will be obtained in the end.

For the stage of wreckage drift, the model of wreckage drift will be obtained in this paper which is improved by combining the probabilistic statistical model based on the international general Leeway model. The model will calculate the speed of wreckage drift at each update by using the wind and flow field data which is released by NASA's jet propulsion laboratory and synthesize an actual drift velocity with the support of the probabilistic model. Finally, displacement of drift will be obtained according to the simulation time.

For the stage of displacement synthesis, the final latitude and longitude of the wreckage will be calculated by gauss reverse calculation through the combination of the crash site, the displacement of falling and drift.

This paper will also use the OSG engine and the Qt framework to build an interface friendly ocean simulation environment and demonstrates the specific situation of the above model aircraft in the falling stage and wreckage drift stage in real time.

**Keywords: Virtual Simulation; MH370; Search And Rescue; Leeway; OSG**

目 录

[第1章 绪论 1](#_Toc516597255)

[1.1 研究背景和目的 1](#_Toc516597256)

[1.2 国内外研究现状 1](#_Toc516597257)

[1.2.1 国内研究现状 1](#_Toc516597258)

[1.2.2 国外研究现状 2](#_Toc516597259)

[1.3 研究内容 3](#_Toc516597260)

[1.4 论文结构 3](#_Toc516597261)

[第2章 残骸搜寻相关理论原理 5](#_Toc516597262)

[2.1 飞机坠落过程相关理论 5](#_Toc516597263)

[2.1.1 飞机坠落过程建模 5](#_Toc516597264)

[2.1.2 空气密度理论及其计算方法 8](#_Toc516597265)

[2.1.3 飞机坠落时的受力分析 9](#_Toc516597266)

[2.2 残骸漂移过程相关理论 10](#_Toc516597267)

[2.2.1 Leeway的引入 10](#_Toc516597268)

[2.2.2 基于Leeway的动态漂移模型 12](#_Toc516597269)

[2.2.3 基于概率模型的Leeway模型 13](#_Toc516597270)

[2.3 本章小结 15](#_Toc516597271)

[第3章 飞机残骸搜寻系统结构设计 16](#_Toc516597272)

[3.1 系统开发环境介绍 16](#_Toc516597273)

[3.1.1 OSG引擎介绍 16](#_Toc516597274)

[3.1.2 Qt框架介绍 18](#_Toc516597275)

[3.2 系统可行性分析 18](#_Toc516597276)

[3.2.1 市场需求 18](#_Toc516597277)

[3.2.2 技术支持 19](#_Toc516597278)

[3.2.3 系统可靠 19](#_Toc516597279)

[3.3 系统总体结构设计 19](#_Toc516597280)

[3.3.1 需求分析 19](#_Toc516597281)

[3.3.2 概要设计 20](#_Toc516597282)

[3.4 飞机坠落过程结构设计 22](#_Toc516597283)

[3.4.1 飞机坠落计算模块设计 22](#_Toc516597284)

[3.4.2 外部控制模块 24](#_Toc516597285)

[3.4.3 核心模块 24](#_Toc516597286)

[3.5 残骸漂浮过程结构设计 27](#_Toc516597287)

[3.5.1 残害漂流计算模块 27](#_Toc516597288)

[3.5.2 外部控制模块 30](#_Toc516597289)

[3.6 外围辅助系统设计 35](#_Toc516597290)

[3.6.1 下载模块 36](#_Toc516597291)

[3.6.2 分析模块 36](#_Toc516597292)

[3.6.3 位置合成模块 36](#_Toc516597293)

[3.7 本章小结 37](#_Toc516597294)

[第4章 飞机残骸搜寻系统实现 38](#_Toc516597295)

[4.1 仿真系统总体结构搭建 38](#_Toc516597296)

[4.2 飞机坠落过程实现 38](#_Toc516597297)

[4.3 残骸漂浮过程实现 39](#_Toc516597298)

[4.4 外围辅助系统实现 41](#_Toc516597299)

[4.4.1 下载模块实现 41](#_Toc516597300)

[4.4.2 分析模块实现 42](#_Toc516597301)

[4.4.3 位置合成模块 43](#_Toc516597302)

[4.5 系统功能测试 44](#_Toc516597303)

[4.5.1 飞机坠落功能测试 44](#_Toc516597304)

[4.5.2 残骸漂移功能测试 45](#_Toc516597305)

[4.5.3 附加功能测试 47](#_Toc516597306)

[4.6 本章小节 47](#_Toc516597307)

[结 论 48](#_Toc516597308)

[参考文献 49](#_Toc516597309)

[攻读学士学位期间发表的论文和取得的科研成果 51](#_Toc516597310)

[致 谢 52](#_Toc516597311)

1. 绪论

# 研究背景和目的

近年来随着科学技术的不断发展以及机械制造航空航天等行业的不断向前推进，飞机等交通工具开始平民化走向大众的生活。但是飞机作为一种便民的交通工具，以具有高速、高空、高不可抗性为特点。虽然飞机的事故率远低于其他交通工具，但是飞机一旦升空，在空中很难保证安全。事故如若发生，乘客的生命与财产很难得到安全保障。2014年3月8日，马来西亚航空公司的一架飞机MH370原定于凌晨2点40分从吉隆坡出发准备飞往首都北京，但是飞机在途中与管制中心失去了联系。这架机上载有包括12名机组人员在内239名乘客[[[1]](#endnote-1)]。同年3月24日晚，马来西亚总理宣布了MH370的消息称其在南印度洋坠毁，机上无人生还。

为了找到坠毁的飞机来分析飞机在坠毁时的情况，目前主要的调查手段是找到黑匣子，但是黑匣子可以记录数据的时间是有限的，往往只有短短的30到40天时间，由于类似于MH370这样的空难事件多发于海上，黑匣子的最终地点充满了各种干扰因素，给黑匣子的寻找带来了极大的困难。考虑到上面的情况，调查飞行事故的发生原因只能求助于找到飞机的残骸来分析飞机在空难时的机械、人为因素，这种分析手段在环球航空800号班机空难事故中得到应用。本文将综合前人的研究，分析研究出一种精确且实用的残骸搜寻模型。并且使用OSG(OpenSceneGraph)三维仿真引擎结合Qt界面框架搭建一款三维动态海洋模拟系统，来实现对得到的搜寻模型的仿真验证。

本课题来源于国家自然科学基金项目：基于扰动的海浪谱建模的多影响因素信息不平衡的船舶漂移模型技术研究(No.51679058)。

# 国内外研究现状

国内外对于残骸的搜寻主要集中在海上漂移理论，利用这一理论得到漂浮物的漂流轨迹然后找到失事船只或者其他物体的残骸。

## 国内研究现状

以往对于SAR（Search And Rescue），残骸轨迹的预测主要有两种算法，一种是GDOC算法，这种算法基于传统公式，形成了一种以沿着风向两端的最大风压角得到的直线中点为正中心，一定的半径形成的扇形漂流区域，这种模型得到的区域并没有考虑不确定性因素，并且错误的只考虑了风压作用，洋流压力等其他因素未纳入考虑。并且这种算法还有一点不足，海洋上的风与流是时刻变化的，但是这种算法却只考虑平均状况，这显然是不充分的，所以漂浮物位于计算出的区域中的概率不能得到保证。这是一种最原始的模型，另一种模型是CASP模型，这种模型克服了前一种模型未考虑不确定因素的缺点，使用了蒙特卡洛(Monte-Carlo)方法，但是这种算法仍旧没有考虑洋流的作用，只是简单的考虑了风压作用[[[2]](#endnote-2)]。Allen等人提出了一种基于Monte-Carlo统计实验方法的海上漂流模型综合考虑了海流和风场等因素，并且克服了GDOC的只考虑平均情况的不足，其首要条件就是具备海洋上的实时数据，只有使用完善且准确的海洋数据去实时的更新模型状态，才能够保证模型的正确性[[[3]](#endnote-3)]。

另外一种基于FSA理论和贝叶斯网络的技术提出被应用于长江口附近航行安全性的提升[[[4]](#endnote-4)]。除此之外陈达森等人采用了等步差分网格分割法和追赶法求解ADI方法得到的离散方程组，模拟得到了湛江某海域的三种流场[[[5]](#endnote-5)]。肖文军等人在上海沿海采用WRF和FVCOM以及基于Monte-Carlo理论的Leeway模型建立起长江口附近海域漂浮物预测模型系统[[[6]](#endnote-6)]。

但是以上的研究都是局限于近海模型建立，对于在远海海域飞机残骸的轨迹预测模型却很少涉及。

## 国外研究现状

国外对于海上漂浮物的研究比国内进行的更加的早且全面，最早且广泛使用的Leeway模型就是由Hodgins 和 Mak提出[[[7]](#endnote-7)]，Allen 和Plourde加以改进[3]，利用这个模型可以展开高精度的模拟。但是Breivik和Allen在一份研究中表明高精度的模型并不能大幅度的提高轨迹预测的精准度[[[8]](#endnote-8)]。鉴于上述原因，Allen提出了Jibe的概念即漂浮物可能由于其自身的不对称轮廓改变其方向[[[9]](#endnote-9)]。

除了精度的问题，海洋环境对动态漂移的影响也是不确定的。一般情况下，风压、洋流、波浪对不同的物体的受力是不同的，由此基于观测和随机理论的方法得以被提出并广泛用于Leeway轨迹预测。例如，Brushett在一份研究中表明，对于双桨小船和乘坐一个人的小船，使用Leeway模型计算出的速度大约是风速的2.4-4.24%[[[10]](#endnote-10)]。此外，Breivik还发现了10m近地面风速和Leeway模型下的风速之间具有很强的线性关系[[[11]](#endnote-11)]。Gayer也指出漂浮物的Leeway模型速度大致与其自身的浸润比（物体在海水之上的比例与物体在海水之下的比例之比）成反比[[[12]](#endnote-12)]，这一结论对于后续的研究产生了很重要的影响。另外Allen等人的一项有广泛应用价值的报告中总结了63类不同物体的Leeway数据[3]。 Rabatel,Matthias在对海洋冰块的轨迹研究中还指出了季节对冰体的漂移也有很大的影响，该团队在使用neXtSIM做模拟时发现冰块漂移在夏天时和自由漂移很相似，但是在冬天更紧凑和更坚固的冰群显示出明显不同的机械和漂移行为。[[[13]](#endnote-13)]

考虑了风压、洋流、波浪对受力的影响，风场、流场以及波浪数据也会导致计算的不准确。鉴于这种情况，很多先进的方法已经被采用来提高这些数据在预测时的可信度。例如高精度雷达就可以用于收集更加精准的洋流数据[[[14]](#endnote-14)]。Özgökmen等人还考虑了流场的时空相关性[[[15]](#endnote-15)]。在这些方法的推动下，高精度的流场和风场等数据的获得就有了可能性。

在有效利用这些数据方面，相关的研究大都采用基于概率统计方法的Leeway模型，这种模型由于可以很好的描述物体的漂移轨迹的不确定性而被广泛采用。Davidson在他的一片文献中对这种模型给出了一份概述[[[16]](#endnote-16)]。Özgökmen在使用Lagrangian方法做路径预测时，考虑到风场和流场数据由于掺杂着噪声数据，使用了卡尔曼滤波的方法进行了数据去噪[15]。除了消除噪声数据，Mínguez R所展示的Monte-Carlo路径模拟算法中，上诉的不确定性因素都通过概率分布的方式所呈现出来，其中的参数也都使用漂浮物的测试数据[[[17]](#endnote-17)]。综合以上这些研究，本文将会使用一种基于Leeway模型的概率模型，这种模型首先由Jinfen Zhang等人提出[[[18]](#endnote-18)]，本文在该模型上对其空间相关性计算算法做了改进。

# 研究内容

本文所要研究的内容是一个海洋环境下的残骸搜寻模型，该模型可以用于失事飞机残骸的搜寻。另外还将基于该模型使用OSG和Qt界面框架搭建海上实时仿真系统，实时地模拟飞机的坠落过程和残骸的漂移过程。本文的研究主要包括以下几个方面内容：

1、建立本文使用的飞机坠落模型，介绍空气密度计算方法以及飞机所受到的重力、升力和各种阻力的来源，对飞机在坠落过程中进行受力分析得到飞机的受力情况。

2、在最基本的Leeway模型的基础上得到动态轨迹漂移模型，并结合概率模型改进得到本文所需要的轨迹漂移模型。

3、使用OSG和Qt框架搭建一款仿真系统，对上述的两种模型进行模拟展示，该系统可以使用美国航空航天局(NASA)喷气推进实验室公布的风场与流场数据计算得到飞机残骸的最终位置。

# 论文结构

本文将对章节作如下划分：

第1章主要阐述研究背景和目的，介绍总结国内外在本领域的研究现状，最后说明本文的研究内容。

第2章将会分两小节分别介绍本文的研究所涉及到的基本原理和理论。第一节针对飞机坠落过程，重点解释空气密度计算方法以及如何使用空气密度计算飞机的阻力和重力并对飞机进行受力分析。第二节针对残骸轨迹漂移过程，此节将会重点解释Leeway模型的基本原理，然后引入本文使用的基本模型的来源，并提出改进后的算法。

第3章将对飞机残骸搜寻仿真系统进行设计，首先会对本系统所使用的基本开发环境（三维引擎和界面框架）进行对比性的介绍，在此基础上进行系统的可行性分析，然后进行系统的结构设计和模块划分，最后分过程对各模块进行详细设计并着力解释内部的算法流程。

第4章将讨论飞机残骸搜寻仿真系统的实现细节，首先介绍海洋环境的内核搭建即如何将OpenSceneGraph（以下简称OSG）引擎嵌入到Qt界面框架中。然后阐述各个模块的具体实现并展示实现后的效果，最后进行系统验证测试。

最后将总结本文的研究工作并对后续研究提出展望。

1. 残骸搜寻相关理论原理

在本章中将对残骸搜寻相关理论原理进行介绍。本章将分为两节，首先将介绍飞机坠落过程相关理论，探讨飞机坠落过程的建模，讨论飞机受到的重力、阻力和升力，阐述空气密度计算方法以及如何使用空气密度计算飞机的升力和阻力。然后介绍Leeway模型和基于Leeway模型的动态漂移模型，并引入本文所使用的基于概率和Leeway模型的漂移模型。



# 飞机坠落过程相关理论

飞机的坠落过程是一个极其复杂的过程，涉及到很多的领域，例如控制工程，飞行器设计与仿真等等。但是考虑到本文的目标主要针对飞机失事后残骸的搜寻，并且飞机残骸在海洋表面漂浮的位移要显著的大于飞机坠落时产生的位移。所以在本论文中将简化飞机坠落时候的过程，使这个过程更加简单，有利于系统的设计和实现。本节将分三部分，首先将对飞机坠落过程进行建模，介绍飞机受到的各种力，然后介绍空气密度理论，最后对飞机进行受力分析。



## 飞机坠落过程建模

飞机在坠落的时候，受到的力有很多，但是若按照实际情况进行建模，则模型将会十分复杂，所以本文中在建模时将会默认将飞机按以下情形对待：

(1) 将飞机看作一个简单质点，不会因外界情况发生改变而产生形变，继而不会影响到力的产生条件。

(2) 不考虑飞机的俯仰角，即飞机在坠落的过程中，一直保持着速度方向与海平面平行。

(3) 不考虑科氏力，科氏力与离心力一样都不是真实存在的力。在旋转体系中，做直线运动的一个质点将继续保持原有的运动方向，产生这个现象主要由于惯性[[[19]](#endnote-19)]。但是运动体系本身是旋转的，所以一段时间后质点的位置会发生变化，假如按照旋转体系的视角，质点的位置相对于沿直线运动发生了一定的偏移。但是由于飞机坠落偏移相对于整个地球都是极小的，所以本文中将不会考虑这种情况。

基于以上假设，首先将飞机受到的力进行梳理。飞机受力可以分为下述几类：

1、升力

升力主要是由飞机的机翼产生，产生原理可以参考伯努利原理。伯努利原理清晰地解释了飞机在天空中克服重力飞行的原理。首先当飞机在引擎的推动下加速前进时，飞机的两翼由于其自身的构造在机翼的上下会产生速度差。在机翼的上侧，由于机翼的隆起会导致空气在流动时从上侧流过的气流需要经过的路程会大于从下侧流过的气流需要经过的路程。在时间相等的情况下，路程越长，速度越快，从而气压也就越低，因此机翼下侧将会产生大于上侧的气压，纵而使得机翼下侧受力大于上侧受力，升力也就从此产生[[[20]](#endnote-20)]。虽然在后人的研究中发现升力的产生并不是可以简单地用伯努利原理可以解释清楚的，但是本文重点并不是探讨这一点，所以使用伯努利原理简要的解释飞机升力是可行的。飞机升力的计算公式如(2-1)所示：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-1) |

其中 表示升力， 表示升力系数，该系数一般与阻力系数成比例， 表示空气密度，V 表示气流相对速度， 表示参考面积，一般取机翼面积为参考面积。但是 是不一定的，将会随着海拔、温度等因素的变化而变化，下一节将会对空气密度做更深入的阐释。

2、重力

重力由于地球的引力而产生的力，任何处于地面上且具有重量的物体都会产生一个垂直向下的重力，在重力加速度一定的情况下，重量越大，飞机所受的重力也就越大。重力是使飞机坠落的来源。重力的计算公式如(2-2)所示：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-2) |

其中 m 表示物体的重量，g 是重力加速度，虽然重力加速度也会随着海拔的变化而变化，但是飞机飞行的高度在海拔上变化值相对较小，所以重力加速度的变化不会有很大的变化，这里将会假设 g 是一个常量。

3、阻力

飞机受到的阻力复杂程度是最大的。飞机在飞行过程中速度很快导致受到很大的阻力，考虑各方面的因素，大致可以将飞机受到的阻力分为摩擦阻力、压差阻力、诱导阻力、干扰阻力和激波阻力[[[21]](#endnote-21)]，下面对飞机的各种阻力分别解释：

(1) 摩擦阻力，摩擦阻力产生于两个相对滑动的物体间，当两个物体相对滑动时，就会产生一对相反的力，阻碍两个物体的相对运动。所以当飞机在空中飞行的时候，由于空气的粘性，气流通过飞机表面，空气微团与飞机表面发生了摩擦滞碍了气流的运动，因此也就产生了摩擦力。

(2) 压差阻力，压差阻力产生的原因在于运动物体的前后存在压强差，这种由于压强差导致的阻力叫做压差阻力，这种阻力受到物体的迎风面积、形状和在气流中的位置影响。实验表明，最大迎风面积越大，压差阻力越大。

(3) 诱导阻力。以上两种阻力在对飞行器的研究中合称为翼型阻力，飞机的机翼除了这两者之外，还存在一种诱导阻力，这种阻力是伴随着飞机的升力的产生而产生的。经由风洞实验发现，机翼在产生升力的同时，还产生了一个反作用力，这个作用力作用于气流上，导致气流从机翼的下侧绕过翼尖向机翼的上侧运动，从而导致旋涡在机翼后方产生。在飞机向前飞行致使旋涡也随着向后移动从而导致下洗速出现。旋涡的能量很大，将会带动周围的机翼下面的气流随着一起运动，因此就导致了来流方向朝向了斜下方，从而影响到升力的方向。原本升力应该垂直机翼向上，此时随着来流方向的改变，升力方向开始转变朝向了斜后方。如果将此时的升力分解，沿着飞机飞行方向的力就是诱导阻力，垂直向上的力才是真正的升力。

(4) 干扰阻力。实验表明，飞机的各个部件在飞机飞行的过程中，所受到的阻力的总和并不等于飞机所受到的总阻力，而往往小于总阻力。其原因在于飞机的各个部件在飞行时，周围的气流相互干扰，因此产生了一种额外的阻力，这个额外的阻力称为干扰阻力。

(5) 激波阻力，激波阻力当飞机由亚音速跃变到超音速时产生的，当飞机处于飞行的状态时，飞机前方的空气就会被压缩从而导致一种压力波的出现，若这种波传播的速度小于飞机，后续压力与现有压力的叠加就会强烈干扰的空气，阻力系数也将会四倍于0.8马赫，激波也由此产生。但是民航飞机的速度一般低于音速，所以这种阻力不考虑。

综合考虑上述的所有阻力，阻力系数统一后使用表示，如下(2-3)是压力的计算公式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-3) |

其中 表示飞机所受的总阻力， 表示阻力系数， 表示空气密度，V 表示气流相对速度， 表示参考面积，这里需要注意的是在计算阻力时参考面积仍然取机翼面积，而不是飞机的迎风面积。

4、推动力

飞机的动力主要由引擎提供，飞机在巡航过程中，推动力朝向飞机飞行的方向。但是本文在做飞机坠落分析时，为了简化模型，默认飞机引擎不再工作失去动力，所以推动力不再考虑。

纵览上诉的飞机的各种受力，给出飞机的受力情况如图2.1所示：

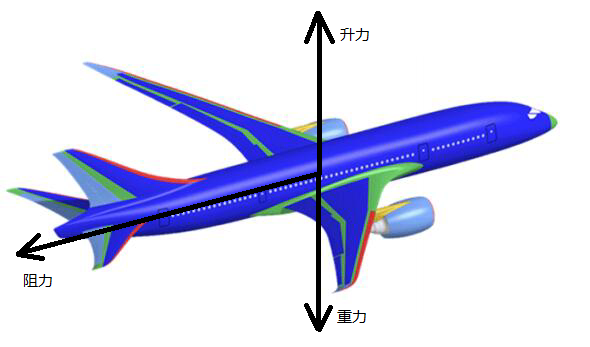


图2.1 飞机受力图

## 空气密度理论及其计算方法

在上一节中由于升力与阻力的计算需要，需要一个变量即空气密度的值，这一节将对空气密度的计算方法做简要介绍。空气密度定义为单位体积内的地球大气的重量，其随着海拔的改变而改变，不仅如此，温度、湿度都对空气密度有显著的影响。空气密度这一概念在很多的科学分支有着大量的应用，例如航空航天工程、重量分析、空调制造以及大气与气象研究。

根据测量工具以及上述影响因素的不同，空气密度有几种不同的计算方法，大致可以分为以下几类：

1、根据温度和压力进行计算

空气密度大致等于绝对压强与绝对温度和特定气体常数的乘积之比。其计算公式如(2-4)所示：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-4) |

其中表示空气密度， 表示绝对压强，T 表示绝对温度，表示干燥空气的特定气体常数，也称为理想气体常数。

2、根据气压计算

潮湿空气的空气密度在计算时可以将其看作理想气体的混合。在这种情况下，水蒸气的分压被称作平衡蒸汽压，通过这种方法计算空气密度，当温度处于-10℃到50℃之间时，计算误差可以控制在0.2%之内。潮湿空气的密度计算公式如(2-5)所示：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-5) |

其中 表示潮湿空气的空气密度， 表示干燥空气的分压，表示干燥空气的理想气体常数，T 表示温度， 表示水蒸气的气压， 表示水蒸气的理想气体常数， 表示干燥空气的摩尔质量， 表示水蒸气的摩尔质量，R 表示普适气体常数。

3、根据海拔计算

由于空气密度会随着海拔的变化而发生变化，所以下面将给出使用海拔作为自由变量的计算公式。在推导出最后的计算公式时，需要几个额外的参数：

(1) 该参数表示海平面的标准大气压，值为101.325 kPa

(2) 该参数表示海平面的标准温度，值为288.15 K

(3) g 该参数表示地球表面的重力加速度，值为9.80665 m/

(4) L 该参数表示气温下降率，值为0.0065 K/m

(5) R 该参数表示理想气体常数，值为8.31447 J/( mol \* K )

(6) M 该参数表示干燥空气的摩尔质量，值为0.289644 kg/mol

下面首先计算在海拔为h时的温度，温度T的计算公式可以用公式(2-6)表示：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-6) |

上式中T为温度，h为高度，和上文已给出定义。接下来计算海拔为h时的压强，压强计算公式如下所示：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-7) |

上述公式中的 代表压强，其余参数在上文已给出定义，结合公式(2-6)和(2-7)根据理想气体定律推出空气密度的计算公式如下：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-8) |

在得到空气密度以后，就可以使用空气密度计算上节中所涉及到的飞机升力和阻力，下一节将结合飞机的各个力进行受力分析。

## 飞机坠落时的受力分析

在前文中已经分析出飞机的受力情况，接下来对飞机的受力进行分解。以飞机的重心为原点，垂直海平面向上为Y轴，飞机飞行的方向为X轴建立坐标系。在水平方向上，飞机只受到阻力，根据公式(2-3)可得到水平方向受力，公式如下所示：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-9) |

上述公式中 即为水平受力。在垂直方向上，飞机受到重力和升力，飞机虽然失去动力，但是仍旧存在速度，所以升力将仍然存在，只不过升力小于重力，致使飞机下落。根据公式(2-1)与公式(2-2)可得到垂直方向受力如(2-10)所示：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-10) |

上述公式中 即为垂直受力，在分析完受力以后，就可以计算出飞机在各个时间点的加速度、速度，然后使用积分的方法算出每个时间点飞机的具体高度。迭代这个过程就可以得到一条坠落轨迹，由这条轨迹线就可以实时模拟出飞机的坠落过程。

# 残骸漂移过程相关理论

残骸的漂移过程目前主要是基于Leeway模型，所以本小节将分为三部分，首先引入Leeway模型，然后介绍基于Leeway模型的动态漂移模型，最后给出本文所使用的基于概率统计的Leeway模型。



## Leeway的引入

现实生活中有很多海上事故发生，这时就需要紧急的救援行动。例如，当一个海上船只由于某种原因而失去动力和通信信号，如何去找到失事船只是一个艰巨的任务。亦或是船只下沉，采取什么办法去寻找救生筏上的遇险人员或者落入海水里的人员。这些问题从二战时期就已经开始研究。

本文研究课题是飞机残骸漂移，大部分的飞机残骸是漂浮在海上的，沉入海底的对象不做考虑。但是不同的漂流物体具有不同的漂流特征，飞机的残骸也有其特有的漂浮特征，这些影响漂流的性质主要有这几个方面：漂流物体的形状、漂流物体的大小、水面以上物体的比例、水面以下物体的比例。

海上物体的漂流主要由两种不同的因素导致，第一种因素主要来自于海流，这些海流主要包括：洋流、风生流、潮汐流、其他海流。需要值得注意的是不同的海域有不同的海流，以下是说明：

(1) 潮汐流一般仅存在于离海岸线3海里以内的地方，特别是港湾等区域

(2) 风生流主要存在于离海岸线20海里以内的地方，且一般海水深度要大于30米

(3) 洋流主要存在于离海岸线25海里以外的地方，海水深度超过100米

本文的主要研究的漂流对象是飞机残骸，这种情况应该对应于以上海流中的洋流。另外一种因素是来自于Leeway，国际上对Leeway的定义比较多，其中维基百科给出的定义是由垂直物体运动方向的风矢分量所引起的漂浮在水中的物体向一定方向运动的量。然而国际航空和海上搜救组织对Leeway的定义是由于吹向暴露于水面上的物体的风所引起的漂浮在水中的物体运动[3]。虽然目前的研究结果表明水中物体的漂浮运动是由水流和风致作用导致的综合运动，在本文中也是如此考虑的。

在给出Leeway定义以后，需要给出Leeway的详细描述。如下是Leeway相关的参数的定义：

(1) Leeway angle 这个角是指物体最终运动方向的角度减去风矢量的角度，如果物体向风矢量的右侧漂动，这个角的值就是正的，反之是负的。

(2) Leeway Velocity 这个速率指的是Leeway速度的模值。Leeway速度一般指代的是物体漂流速度。

(3) DownWind(DWL) and CrossWind(CWL) components of Leeway 其中DWL指的是物体漂流速度沿着风矢量方向的速度，CWL指的是垂直于风矢量方向的速度。

(4) Leeway Rate 这个比例指的是物体漂流速率与风速率的比

(5) Relative Wind Direction 相对风向指的是以漂流物体为参考原点并选取坐标轴来度量的风矢量方向

下图2.2和2.3详尽展示了Leeway的具体含义：

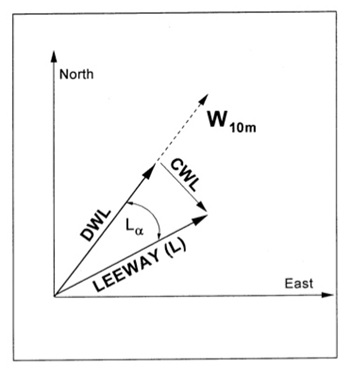


图2.2 Leeway 示意图

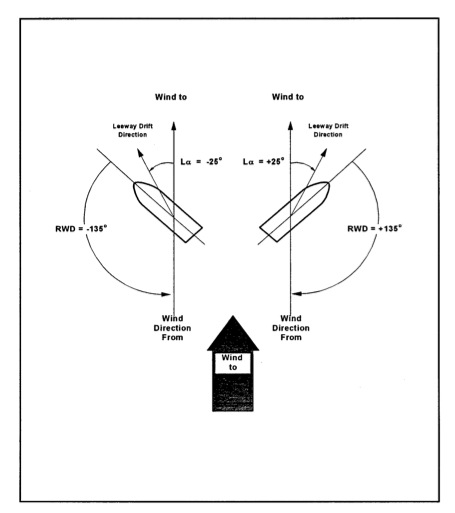


图2.3 Leeway风向图

## 基于Leeway的动态漂移模型

在上一节提到物体漂移的受力主要是来自两方面的因素，Leeway和海流。下面提到的模型就是建立在这个基础之上。

当一个物体在海中由于风力和海流而漂浮的时候，在水线以下部分受到的是海流产生的力，在水线以上的部分受到的是风力。当然受到的力的大小和物体漂浮速度、风速、海流速度等有关系。由于很多研究都已经表明，物体在水中漂浮的时候，会很快的达到平衡，所以加速过程可以忽略不计。根据运动规律，当一个物体以一个相对稳定的速度漂移的时候，水线以下的海流产生的力和水线以上部分的风力应该大小相等，方向相反。在此基础上，动态漂移模型可以按方程(2-11)表示出：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-11) |

其中， 表示阻力系数，A、 表示受力面积和密度，下标 W 和 C 分别表示 风场和流场，即水线以上和水线以下部分。 表示风速， 表示物体漂流速度， 表示洋流速度。在此基础上，假设： ，则公式(2-11)可以简化为(2-12)形式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-12) |

化简公式(2-12)可以得到物体在稳定以后的速度可以用(2-13)表示出：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-13) |

定义 ，显然由上一节的介绍可以看出1-f的值即Leeway Rate 。公式(2-13)就可以表示为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-14) |

因此漂移物体在时间 K \* 以后的位置可以表示为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-15) |

在上式中， 代表更新时间， 指时间 K \* 后漂浮物的位置， 值漂浮物的初始位置。

## 基于概率模型的Leeway模型

从上一节的论述中，可以很清楚的看出漂浮物的漂移速度是和风速和流速有关的。这一节在此基础上加入统计概率的因素，使得残骸漂浮更加贴近真实。假设风速和流速是不相关的，那么就有：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-16) |
|  | (2-17) |

其中 、、分别代表物体漂浮速度、流速和风速的平均值，、、分别代表物体漂浮速度、流速和风速的方差， 是上一节中定义的变量。由于前文所述的动态模型会受到各类复杂的海洋环境影响，那么风速和流速的数据都是携带误差的，这些误差包含着随机性，因此轨迹预测需要以概率统计的方式进行。

另外考虑到海洋面积的辽阔，数据的统计需要在一定范围内进行。在稳定的海洋环境中，海洋和大气环境都具有很强的空间相关性，所以可以使用空间相关性进行范围限定。在本文中，风场和流场都被假定的描述为均匀随机场，两个位置的风场流场数据相关性只和他们的位置有关系。而风场和流场的平均值和方差都是定值而不和位置有关。Özgökmen提出的一种描述相关性的公式如下[15]：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-18) |

其中 和 是场中的两个点，R表示欧拉相关性，其值可以描述为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-19) |

其中 和 代表两个位置的速度，可以是风速也可以是流速。一个大的 R 值代表着对应的数据量在两个相邻的位置具有很高的空间相关性。

在拥有风场、流场以及空间相关性定义以后就可以对漂移物的速度做最优估计了，令为向量， 为漂浮物的随机位置， =是在t-1时刻围绕在平均值 周围的p-1个浮标的位置。必须注意的是 中的每一个值代表的位置相关性必须足够大。因此 的最优估计可以如下表示：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-20) |

其中 表示 的平均值， 是标准方差，N表示服从正态分布。现在这个问题就可以看作从t-1到t更新漂浮物的位置。为了更新漂浮物的位置，需要进一步得到漂浮物的速度，如下(2-21)是给出的最优估计速度：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-21) |

其中是物体的优化速度， 是平均速度， 是漂浮物体在t-1时刻速度的方差漂浮物速度可以由风速和流速得到，所以t时刻风速和流速都可以按(2-21)的形式如下表达：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-22) |
|  | (2-23) |

、表示流速和风速的优化速度， 、是时间t时刻流速和风速的平均速度，、表示时间t时刻流速和风速的标准差。漂浮浮物在时间t时候的速度可以总结为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-24) |

由于在一个很短的时间里物体的速度可以看作一个常值，则动态模型也可以如下表达：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-25) |

上式中、表示 t和t-1时刻漂浮物的位置，表示t-1时刻物体优化后的速度。因此漂浮物在时间t时候的位置最优估计可以按如下公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2-26) |
|  | (2-27) |

本节在原始Leeway模型基础上，结合动态漂移理论和概率统计给出了本文所使用的漂移模型，使用此模型就可以结合相关的真实数据模拟得到飞机残骸的漂移位移。

# 本章小结

本章分两个部分分别介绍了残骸搜寻过程中需要的理论知识，第一节中对飞机坠落过程进行了建模和受力说明，飞机主要受到了升力、阻力和重力的作用。然后介绍了空气密度理论及根据温度与压力、根据气压、根据海拔三种计算空气密度的方法。最后对飞机进行了受力分析，给出飞机在笛卡尔坐标系内的受力情况。第二节中首先引入了Leeway模型，讲解了其中的各个重要的变量，然后介绍了基于Leeway的动态漂移模型，如何使用Leeway模型进行残骸的搜寻。最后推出了本文结合了Leeway动态漂移和概率模型的漂移模型。

1. 飞机残骸搜寻系统结构设计

本章将对需要实现的系统进行设计。共分为七个小节，首先对所需要实现的系统的开发环境进行介绍，然后进行可行性分析、需求分析和概要设计，最后分为三个针对划分的模块进行详细设计，并对其中所涉及的具体算法流程做出描述。



# 系统开发环境介绍

本小节将分为两个部分，第一部分介绍OSG引擎，第二部分介绍Qt界面框架。本系统的开发环境，在前文中已经有所提及，本系统是在Win10操作系统中进行开发，使用OSG引擎和Qt界面框架搭建的一款飞机坠落和残骸轨迹预测仿真系统。



## OSG引擎介绍

下面分别介绍OSG引擎的基础知识、重要特性和组成部分以及OSG引擎和其他引擎的对比。

1、OSG引擎介绍

OSG引擎是一款基于OpenGL库和标准C++实现的三维渲染引擎，由于其采用OpenThread库而具有了多线程渲染的特性。基于OSG引擎搭建的应用具有广泛的跨平台特性，可以运行在包括Windows、macOS、Linux、IRIX、Solaris以及FreeBSD等各类操作系统中，另外OSG引擎也有很强的移植性，可以针对例如IOS和Android等移动平台进行开发。

OSG引擎自从1998项目初始建立，在第二年就已开源并建立了自己的官方网站，第一个发行版本在2005年公布，后续的版本不断在前一版本的基础上更新补充。这款引擎现在已经很成熟，在科研、工业等众多领域例如可视化仿真、计算机游戏、虚拟现实、科学可视化以及建模等有着广泛的应用。这款引擎不仅具有良好的特性，这些特性将在下面具体介绍，另外这款引擎还提供了大量的例程、教学视频、参考数据、培训、论坛等技术支持，这对于一款引擎的广泛推广和应用有着巨大的推动力。这两者促使了本系统采用这款引擎去搭建仿真界面。

2、OSG引擎的重要特性、组成和对比分析

(1) OSG引擎的重要特性

OSG引擎具有以下几点重要的特性：

场景图 OSG引擎提供的场景图功能让众多的开发者从中受益，这种场景图十分利于图形图像的保存，也可以提供很高的性能，在仿真领域，对于性能的要求很高。OSG的场景图支持包括视图投影剔除、隐藏面剔除、小特性剔除、LOD等技术。

引用计数 OSG使用了智能指针，智能指针计数使得程序开发人员脱离了内存分配和回收过程，众所周知，C++的内存分配比其他语言更加复杂，所以OSG引擎提供的智能计数减少了内存泄露的情况发生。

快速开发 OSG是基于OpenGL开发，所以包含了最新的OpenGL的底层功能，OSG提供了一整套补充程序库，使得程序开发人员可以集中精力去掌控这些补充功能来实现具体功能。

(2) OSG引擎的组成

OSG引擎由以下几个重要的库组成：

Core 核心库是OSG引擎的基础，包括osg、OpenThread、osgUtil、osgDB。在核心库中包括了OSG引擎的基本类。例如向量、矩阵操作，相机，基本图元，图片等。在其中实现了最核心的场景组织管理、图元操作以及外部导入导出等功能。

osgViewer osgViewer库实现了一个快捷的查看场景图的方案。并且对各个操作系统平台是独立的。

NodeKits OSG还提供了一些工具库，其中包含了经常使用的高级3D应用程序组件和图形算法，这些库为一些共通的问题提供了解决方案。这些库有osgAnimation、osgFX、osgManipulator、osgParticle、osgQt、osgShadow、osgTerrain、osgText、osgVolume、osgWidget。

(3) OSG引擎和其他常用的引擎的比较

目前经常使用的图形引擎有Unity、Unreal、CryEngine、OGRE。但是OGRE的使用频率近年来没有前三者高。下面对这几款引擎简单介绍一下

Unity Unity是一个可以让玩家轻松创建自己想要的综合游戏开发工具。在三维视频游戏、建筑可视化、实时三维动画等方面有着广泛的应用。作为一个全面整合的利用交互图形化开发环境开发的专业游戏引擎，开发出的作品可以发布到Windows、Mac、Wii、iPhone、WebGL以及Android等平台。

Unreal 虚幻引擎是目前世界知名授权最广的游戏引擎之一，占据了国内外商用游戏引擎的80%的份额。虚幻引擎采用了实时光线追踪、高动态光照等最新技术，并且其运算速度惊人，这款引擎与NVIDIA公司配合，渲染效果可以比肩电影的离线渲染效果。

CryEngine CryEngine是德国一家公司开发的基于DirectX的游戏引擎。CryEngine集成了实时动态光照、延迟光照、动态软阴影等技术，属于引擎中和Unreal一样的佼佼者。

OGRE OGRE是一款开源的面向场景的游戏引擎，具有非常灵活的特点，使得开发人员更加方便的利用硬件加速的技术开发3D图形程序。这款引擎几乎拥有了商业3D渲染引擎的所有特点甚至有过之无不及。

介绍完以上四款其他的引擎，可以看出这几款引擎的共同之处在于同属于游戏引擎，所以在仿真这一领域使用其他专用的渲染引擎将会不失为一个更好的选择。所以本系统选择了使用OSG引擎进行搭建。

## Qt框架介绍

Qt框架是国内外使用最频繁的软件开发框架之一，由于其基于C++语言且跨平台。所以自从面世以来广受用户喜爱。Qt很容易扩展，真正的做到了组件编程。Qt不仅提供了一套很好的界面开发方案，并且还提供了很多的其他的扩展功能，从数据结构到常用算法等。同类型的界面框架还有GTK、MFC。前者虽然在很多方面做得很好，但是由于对OSG的支持性并没有Qt良好，所以本系统并没有使用GTK来实现。另外OSG引擎虽然支持了MFC，但是由于MFC的整体架构、代码编写、界面美观较为落后，并且和OSG集成相对于Qt来讲更加复杂，选择MFC去开发本系统并不是一个理智的选择。

# 系统可行性分析

在进行系统的需求分析之前，需要对需要实现的系统进行可行性的分析，以验证系统是否可以在各种约束下实现出来。下面分三部分即市场需求、技术支持和可靠性对可行性进行分析。



## 市场需求

自从飞机这一交通工具投入使用以来，广泛存在着一种错误的认识：飞机的事故率很低，所以乘坐飞机要比其他的交通工具更加安全。纵然飞机的事故率纵然很低，但是由于飞机自身的特点，飞机事故的生还率相对其他的交通工具来说也很低。特别是当飞机在高空中以极快的速度飞行的时候，如若发生空难，乘客几无生还机会。

根据厦航安全教育培训系列教程，该教程中给出了历史以来的七大类的空航事故，并列出了详细的安全事故原因及遇难人数等。从该教程中可以获取到一个很重要的信息，即飞机这种交通工具并不是一定安全的，若想在未来可以安心乘坐飞机，需要不断的改进飞机的机体性能并提高相关人员的乘机和管理飞机的素质。

既然飞机的性能、事故应变能力都需要提高，就涉及到飞机性能从何处提升、如何提高飞机应对复杂情形的处理能力等问题。目前对于失事飞机的信息获取主要从黑匣子和残骸获取，但是由于黑匣子在海洋环境下不容易找到并且数据保存时间有限，所以海上残骸的搜寻具有很大的前景和意义。

## 技术支持

上文已经对本系统的搭建环境做了简要的介绍，OSG引擎和Qt的相互结合在仿真这一领域被很多同领域的公司与团队采用，因此具有很多案例可供参考。并且在海洋环境的搭建，OSG提供了开源的OsgOcean方案可以直接参考，开发人员只需要对OSG引擎和Qt框架有一定的了解，并且可以实现OsgOcean的嵌入就可以进行下一步系统内部核心工作，而不用耗费精力在海洋环境的搭建方案上。

## 系统可靠

系统中采用的数据是来自于NASA的喷气推进实验室公布的数据，在系统完成后，可以提供数据的分析功能，系统的用户只需要将下载的数据使用本系统提供的功能进行解析，就可以得到可信的风场和流场数据，并利用这些数据进行相关的实验。因此本系统实验得到的结果具有一定的可信度。

# 系统总体结构设计

在进行设计之前，需要对系统的需求有全面的了解，所以本节首先进行系统的需求分析，然后进行概要设计，即模块的划分和接口的设计，最后给出本系统的系统架构。



## 需求分析

1、需求说明

根据前文的叙述，可以了解本系统的业务，下面对本系统所需要的功能做出说明:用户需要一款软件找到飞机的残骸，使用这些残骸做飞机的故障分析。整个搜寻过程包括飞机坠入海中的过程，飞机残骸漂流过程。系统需要模拟这些过程得到残骸在一定时间后的经纬度，并且将这些步骤在一个三维的海洋环境中实时的展示出来。除此之外，为了方便用户的使用，需要对用户提供数据下载，数据分析等功能。

2、需求导出

根据需求说明提供的信息，可以初步导出系统的需求情况如下:

(1) 搭建一个三维的海洋仿真环境

(2) 模拟实现飞机的坠海过程

(3) 模拟实现飞机残骸在海洋中漂流的过程

(4) 提供下载、分析等其他辅助功能

## 概要设计

1、模块划分

根据上面得到的需求，可以将系统划分为以下几个模块：

(1) 核心模块，该模块需要实现一个系统仿真环境，即需要在其中实现一个海洋环境，另外向外部提供若干接口，用于外部与其进行数据交流，显示具体内容。

(2) 外部控制模块，这一模块对应于界面，当设计完界面以后，可以使用界面上的控件进行数据输入、数据交流、模块调用等等。

(3) 仿真类型选择模块，这个模块可以选择坠海过程仿真还是残骸漂流仿真过程。

(4) 飞机坠落计算模块，这个模块主要是利用外部控制模块输入的参数进行飞机坠落轨迹的计算，然后将轨迹使用核心模块进行显示。

(5) 残骸漂流计算模块，这个模块利用输入的参数进行内部计算，最终得到的残骸的漂流轨迹。

(6) 下载模块，这个模块主要完成的是下载用户提供的数据链接中的内容。

(7) 分析模块，这个模块主要是将用户下载的数据进行解析，然后生成本系统所支持的数据文件，待到计算时利用。

(8) 位置合成模块，这个模块主要是将用户计算好的数据进行综合计算，得到最终的残骸位置。

2、接口设计

在完成对模块的划分以后，下面针对上述的模块分别进行详细的接口描述：

(1) 核心模块，根据仿真类型选择模块的需要，核心模块需要提供坠海过程的场景、残害漂流的场景，这两个场景都需要在基础场景的基础上搭建。另外当两类计算模块完成计算以后会返回路径，核心模块需要接收这两种类型的路径，并让其中的节点根据路径运动。除了这两个接口外，由于创建HUD的需求以及显示轨迹线的需要，所以需要提供这两类接口。

(2) 外部控制模块，外部控制模块需要提供很多的接口，因为有大量的参数需要通过主界面得到，事件的产生也是通过界面上的按钮进行，事件的响应也需要在该模块内部完成。所以总结一下有以下几种：向两类计算模块提供参数，响应仿真类型选择事件，响应各类控件的点击。

(3) 仿真类型选择模块，该模块通过触发事件与外部控制模块进行交流。

(4) 飞机坠落计算模块，该模块是内部计算的一种，需要外部控制模块输入参数然后进行计算，最后也将提供一个接口返回在模块中根据这些参数计算产生的轨迹。

(5) 残骸漂流计算模块，该模块是内部计算的另一部分，需要接受外部模块传入的参数，然后进行内部的计算，最后返回一条轨迹线，其中记录了残骸在大海中漂流的轨迹。

(6) 下载模块，该模块是一个独立模块，通过外部控制模块进行调用，用于将用户输入的URL中的数据下载，供后期分析所用。这个模块通过输入接口接收数据，但是输出应该是下载好的文件。

(7) 分析模块，该模块是一个独立模块，通过将用户输入的数据分析出来供后期计算使用。模块需要输入接口接受用户在输入控件中输入的待分析文件的路径，输出一个分析完以后的文件。

(8) 位置合成模块，该模块是独立模块，输入接口是控件中输入的参数，输出是在相应的控件中显示出计算好的经纬度，并通过地图显示出来。

3、系统架构

根据上述的结构设计和接口设计可以得到系统架构图如下图3.1所示，在图中可以看到本系统的模块划分以及各个模块之间的层次关系。在概要设计完成以后将会对系统各模块进行更加详细的设计，这些内容将在后面内容详细展开。

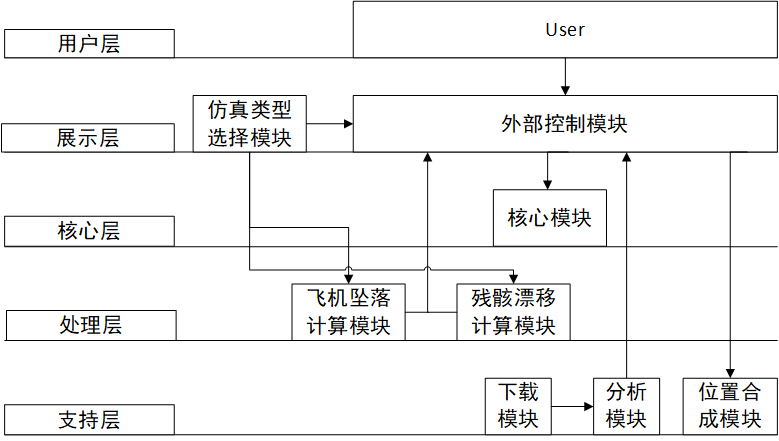


图3.1 系统架构图

# 飞机坠落过程结构设计

飞机的坠落过程需要包含：核心模块、外部控制模块、飞机坠落计算模块，下面针对这三个模块进行设计。核心模块和外部控制模块在残骸漂浮过程中有重叠的部分，本节只针对坠落过程中需要的内容，重叠的部分在下一节论述。

虽然这三个模块的数据流入是从外部控制模块，即从输入参数开始，但是输入的参数类型都是按照坠落计算模块的需要进行设计的，所以首先对坠落计算模块进行设计。然后进行外部模块设计，最后进行核心模块设计。



## 飞机坠落计算模块设计

按照上一章对坠落过程的理论分析，可以看出坠落模块需要的内部参数有以下几种：

1、初始位置

初始位置的意义是飞机在失事时的坐标，该坐标是以笛卡尔三维坐标系为准，但是该坐标时常可以设置为X、Y坐标为0，只将Z坐标设置为飞机失事时的高度即可。

2、初始速度

初始速度是飞机失事时的速度，该速度也是以笛卡尔坐标系为准，由于飞机在失事时垂直方向的速度可以默认为0，所以该速度只需要设置X、Y坐标即可。

3、飞机重量

飞机的重量是一个重要的参数，用于计算飞机的重力和加速度。

4、机翼面积

机翼面积即计算阻力和升力时的参考面积，由于计算阻力时仍然以机翼为参考面积，所以不用另外设置飞机整体面积这一参数。

5、升力阻力系数比

这一参数用于升力和阻力计算时所用，阻力的计算只需要设置阻力系数，升力的计算需要将阻力系数乘以这一系数比才可以得到升力系数。

除了以上的几个重要的参数，在该模块中还需要有几个重要的常数参数、、g、L、R、M，这些常数参数在上述理论部分已经提及。下面针对内部计算过程进行论述，首先若要得到一条轨迹，必须要得到这条轨迹线上的关键点，进而需要进行迭代计算，所以这些关键点计算时中需要计算几个重要的值，否则不能按照当前点计算下一个点的信息，这些值是：速度、坐标、受力情况。只有知道当前的速度和坐标才能计算出当前的受力情况。相应的只有知道了受力情况，才可以计算出加速度，下一个关键点的速度和位置才能计算出来，计算步骤可以总结如下：

(1) 通过当前点(初始点)的速度和坐标计算出当前的受力情况

(2) 通过当前的受力情况计算出(初始点)加速度并计算出下一个关键点的速度

(4) 通过下一个关键点的速度计算出下一个关键点的坐标

在这些计算步骤中涉及到受力情况的计算，根据前文理论部分的基础，可以将受力情况的计算步骤总结如下：

(1) 通过输入当前点的高度，计算出当前点的气压P和气温T

(2) 通过当前点的气压P和气温T计算出当前点的空气密度

(3) 通过当前点的空气密度计算出当前点的阻力、升力进而结合重力计算出合力

所以基于上述的计算步骤，可以归纳出该模块需要提供的接口有：计算气压和气温的接口、计算空气密度的接口、计算阻力、升力、重力的接口、计算合力的接口、计算加速度和速度的接口、计算新的位置的接口、返回轨迹的接口。

综合上述的参数和接口可以将该模块综合形成一个类，该类的类图如下图3.2所示:

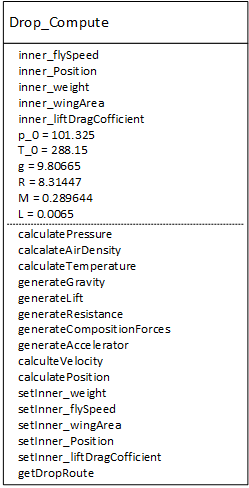


图3.2 飞机坠落计算模块的类图

## 外部控制模块

外部控制模块在最终将会以一个界面形式展示，通过与核心模块和计算模块相连接，作为一个直接与用户相联系的模块。基本业务流程是在仿真类型选择模块发送了一个坠落仿真的信息后，外部控制模块需要进入到坠落仿真阶段，然后将飞机坠落计算模块引入，此时需要衔接该计算模块需要的参数。所以在外部控制模块提供这些接口：飞机初始位置、飞机初始速度、飞机机翼面积、飞机机身重量、飞机升阻比系数输入接口

这些输入接口针对的是用户，即用户通过这些接口输入详细参数。现在将外部控制模块形成一个类，对应用户即为内部参数，对应飞机坠落计算模块则是得到这些参数的接口。该类的类图如下图3.3所示：

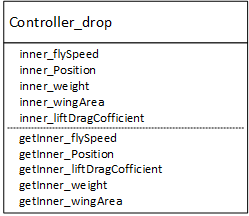


图3.3 部分外部控制模块的类图

## 核心模块

核心模块是仿真显示最重要的模块，这个模块是将海洋环境展现出来的基础。该模块将会嵌入到Qt界面中，直接以三维形式动态展现出来。这个模块中除了将具有显示出这个海洋环境所需要的一切变量和接口，另外由于这个模块需要根据外部控制模块提供的数据不断变化仿真的内容，所以需要有添加其他内容的接口。综上可以归纳出这个模块的接口有：初始化基本海洋环境、初始化坠落环境、初始化漂流环境、添加坠落轨迹、添加漂流轨迹、其他如HUD和轨迹线等接口

这一节核心模块已经设计完成，下一节的重合部分不再详细设计。将这些内部参数和接口整合为一个类，该类的类图如下图3.4所示：

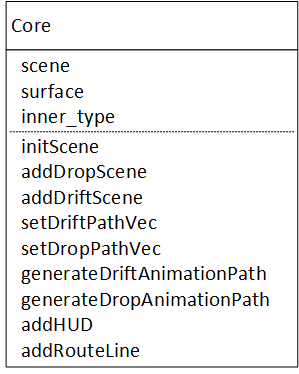


图3.4 核心模块的类图

上文已经对飞机坠落过程所需要的变量和接口涉及完成，则针对飞机坠落这一过程给出流程图如下图3.5所示：

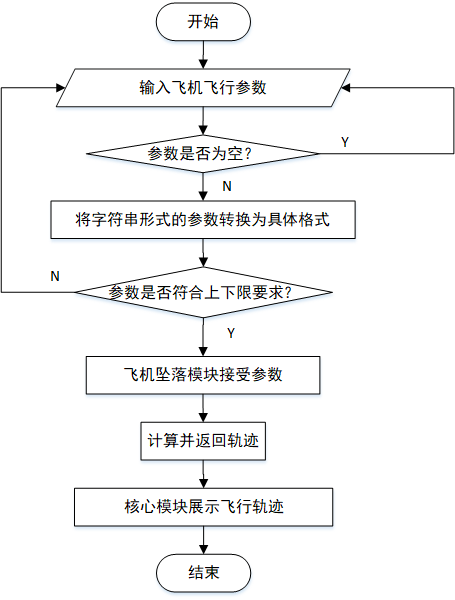


图3.5 飞机坠落过程的数据流程图

在上图中，当用户输入完参数以后，判断参数是否为空，如果各项参数均不为空，则将字符串形式的参数转化为具体的参数形式，比如Wing Area需要转化为大于0的整数，当转化完之后，判断参数是否符合。假如参数符合则将参数传递给坠落计算模块，在其中计算并返回一条轨迹，将这条轨迹传递给核心模块，核心模块构建出一条动画路径，使飞机沿着这条路径坠落。

飞机坠落计算模块中的流程图如下图3.6所示：

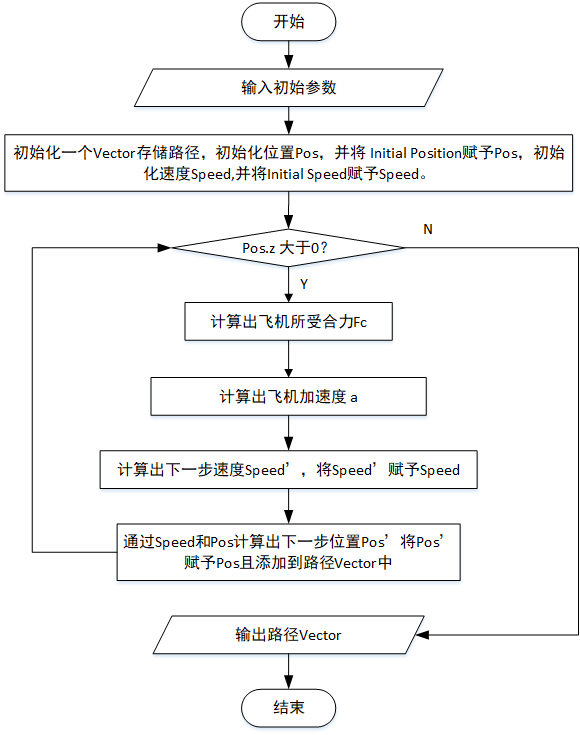


图3.6 坠落轨迹计算流程图

在上图中，首先需要输入初始位置、初始速度、飞机机翼面积、飞机重量和升阻力系数比等初始参数，然后初始化一个vector用于存储路径信息，再将初始位置添加到vector中，再初始化一个Pos用于计算，将初始位置赋予Pos，在初始化一个Speed用于速度计算，将初始速度赋予Speed。在计算循环中，首先判断Pos的高度信息是否大于0，若小于0说明已经坠入海平面以下。若大于0说明飞机仍在空中，此时先通过Speed、飞机机翼面积、飞机重量和升阻力系数比计算出飞机的合力，然后计算出加速度，再计算出速度，最后计算出位置Pos，将Pos添加到路径之中。返回循环，假如Pos.z小于0则跳出循环，返回路径。

在上述的坠落轨迹的计算流程之中涉及到合力的计算，下面给出计算合力的算法：

|  |  |
| --- | --- |
| **Step1:** | 输入高度、速度、重量、机翼面积和升阻力系数比 |
| **Step2:** | 通过高度计算出空气密度 |
| **Step3:** | 通过、速度、机翼面积、升阻力系数比计算出飞机的阻力和升力 |
| **Step4:** | 通过重量计算出重力 |
| **Step5:** | 计算并返回合力 |

# 残骸漂浮过程结构设计

残骸漂浮过程是本系统核心部分，该过程包括：核心模块、外部控制模块、残害漂流计算模块。现在对这几个模块进行详细设计。前文已经说明该过程与前文的坠落过程的模块需求有重合，所以重合部分只针对本过程需要的内部参数和接口论述。类似于前一过程相同，本过程也从漂流计算模块进行设计。



## 残害漂流计算模块

本模块是所有模块中最复杂的一个模块，既需要和外部控制模块进行数据沟通，又需要和外部风流、洋流数据文件结合。因此对本模块分两部分进行详细设计。

下面先对内部进行设计，由上文所述的理论基础，本模块需要的内部变量有：

1、初始位置

初始位置是飞机的坠机地点。该位置的坐标应按照笛卡尔坐标系为准，由于海平面的竖坐标基本为0，所以可以默认设置该坐标为二维坐标。

2、初始时间

该变量表示飞机的坠毁时间，该变量可以用一个时间类型的变量表示出。

3、初始风速和流速

初始风速和流速是在飞机坠机地点和时刻的风速和流速，该速度也默认为二维形式。

4、风速方差和流速方差

这两个变量用于生成残骸附近点的随机风速和流速所用。这两个变量可以用百分比表示，用于表示风速可以在风速和流速的多大变化范围内。

5、leeway rate

这个变量的意义在前文中已经说明，该变量可以设置为一个小于1的小数。

6、更新频率

该变量表示多久更新一下外部提供的数据。随着仿真的进行，数据也需要更新到最新的时间点上。该变量可以用一个整数表示用于表示多少天。

7、仿真时间

该变量表示仿真所需要进行多少时间，可以使用一个整数表示进行的天数。

8、虚拟浮标集合

这个变量中包含的是协助生成虚拟风速和流速的结构的集合，该集合可以用vector将这些结构整合在一起。

9、虚拟浮标数量

该变量表示虚拟浮标集合的大小。可以通过一个整型表示出。

10、空间相关性

该变量用于控制将没有很大的关系的虚拟浮标数据进行排除。该数据可以用一个小数表示。

下面对漂流计算的步骤进行简要的介绍。为了得到一条轨迹，需要进行迭代计算。每一次迭代都需要在新的地点计算出该地点的残骸的位置和速度，用于下一个地点的计算。计算残骸速度需要计算残害所在地的风速和流速，然后通过理论中提供的公式计算出残骸的漂流速度。该步骤可以归纳如下：

(1) 得到当前地点(初始点)的风速流速。

(2) 通过得到的风速和流速，通过正态分布模拟，生成若干的虚拟浮标的风速流速。

(3) 通过比较这些虚拟浮标的风速和流速的空间相关性，排除相关性较低的浮标数据，使用满足相关性的数据合成新的风速和流速。

(4) 使用新的风速和流速合成漂浮物的漂浮速度。

(5) 使用新的漂浮物速度计算经过一段时间后漂浮物的位置坐标。然后变换到这个坐标。

通过对这一过程的步骤分析可以知道该模块需要提供接口有：得到风速和流速的接口、合成新的风速和流速的接口、合成漂浮物速度的接口、计算新的位置的接口、返回轨迹的接口。

以上为该模块面向内部的所有数据和接口，下面介绍面向外部的变量和接口。由于漂流过程在海面上，因此可以将海面看为一个二维平面，如果要得到一个特定点的数据，则需要到一个二维网中获取。所以可将这个二维网定义为一个图结构，每当需要新的地点的数据时，就到这个图中进行插值查找。但在计算模块和这个图结构之间需要一个沟通的渠道，因此将这个沟通的渠道定义为一个通道。每当需要新的数据时，通过这个通道到图中进行查找。综述可以将这个面向外部的部分构造为两个类。针对通道结构中需要的变量为一个图对象，需要的接口为图对象的setter接口和得到相应点的数据的接口，并且在计算模块中还需要一个通道对象作为内部数据。针对图结构，根据上述的需要，可以知道其内部变量如下：

1、可以使用的风场数据和流场数据文件集合

这两个集合中包含的是可以使用的数据文件的文件名，当需要使用时通过这些文件名结合给出的路径名进行查找然后读取数据。这些文件名可以用字符串表示。

2、数据文件的路径

这个路径是包含数据文件的文件路径，可以用一个字符串表示。

3、当前正在使用的风场数据文件名和流场数据文件名

这两个表两名表示当前读取并生成图中数据的文件名，可以用两个字符串表示即可。

4、包含风场数据节点和流场数据节点的集合

这些数据节点可以通过封装实现，每一个数据节点中包含的有这个节点坐标和这个节点的风场数据或流场数据。这个集合可以用vector表示。

5、掩模长宽

掩模指的是一个mask，这个mask用于数据插值计算时缩小计算面积时用，当数据通道发送数据请求的时候，需要通过在图结构中插值计算出新请求点的风场和流场，为了使插值范围更小，可以设置一个掩模，在这个掩模之内的数据节点才需要参与插值计算。这两个数据均只可以用整型表示即可。

根据上述变量可以总结出图结构需要的接口有：设置风场、流场数据文件集合的接口、设置文件路径的接口、设置掩模长宽的接口、得到指定点的数据的接口、更新风场和流场的数据接口、其他接口。总结以上的变量和接口，可以将该模块设置为几个类，这些类的类图如下图3.7所示：

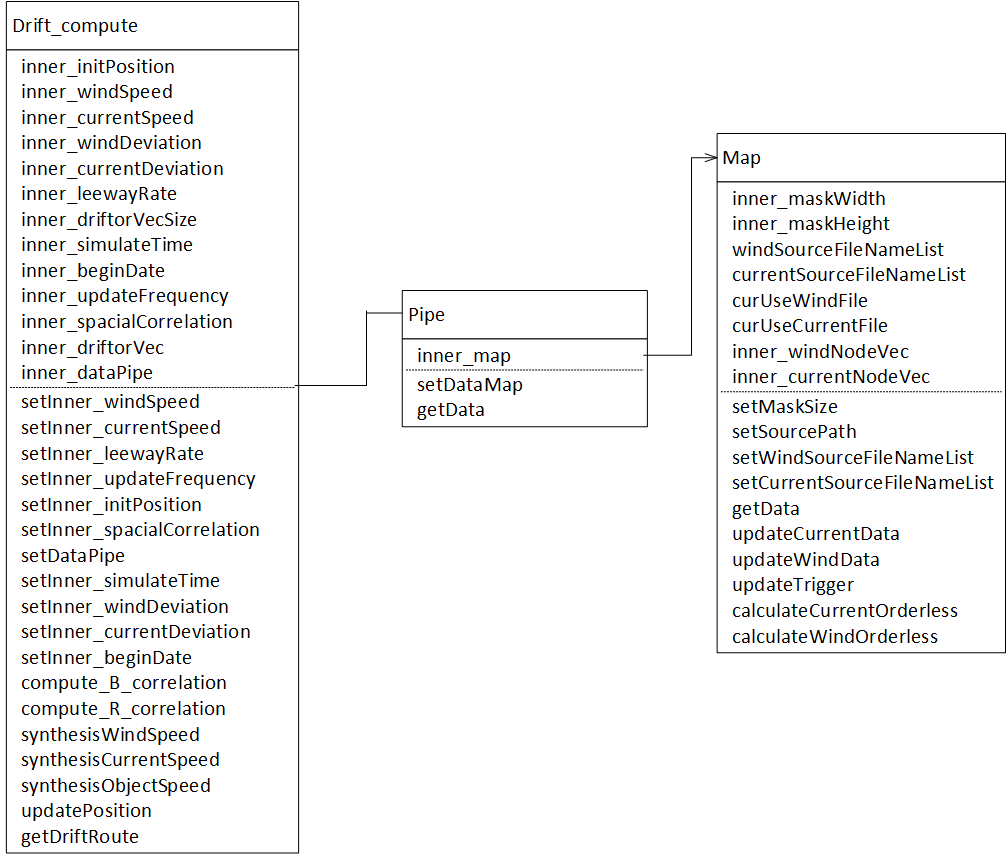


图3.7 残骸漂移计算模块的类图

## 外部控制模块

上文已经对外部控制模块有了初步的介绍，本节接着从漂流轨迹过程的角度对该模块继续设计。针对残骸轨迹漂移过程，基本业务流程是在当用户在仿真类型选择模块选择了残骸漂移模拟，则会发送了一个残骸漂移仿真的信号，接着外部控制模块需要进入到残骸漂移仿真阶段的界面，然后将飞机坠落计算模块引入，当用户输入完参数，需要衔接残骸漂移计算模块需要的参数。针对残骸漂移计算模块提供的数据，外部控制模块需要提供以下的接口：初始位置输入接口、初始风速和流速输入接口(针对简单的模拟过程)、leeway rate的输入接口、仿真时间输入接口，在简单模拟中仿真时间对应秒，复杂模拟中对应天数、虚拟浮标数量输入接口、风场和流场方差输入接口、更新的频率输入接口、空间相关性系数输入接口、初始时间输入接口

结合上一节已经完成部分的外部控制模块的接口，下面给出外部控制模块的类图如下图3.8所示：

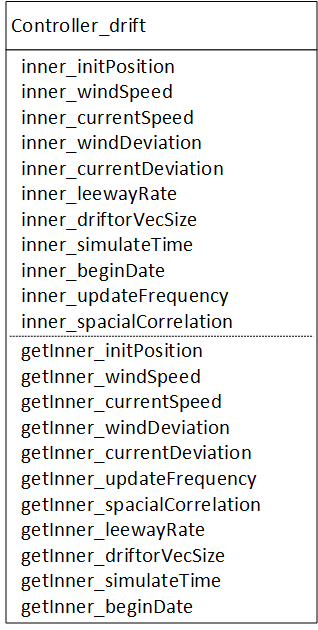


图3.8 部分外部控制模块的类图

上文已经对残骸漂移过程所需要的变量和接口设计完成，则针对残骸漂移过程给出流程图如下图3.9所示：

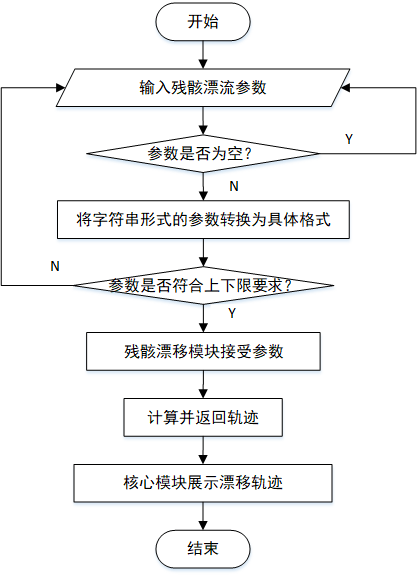


图3.9 残骸漂移过程的数据流程图

在上图中，当用户输入完参数以后，判断参数是否为空，如果各项参数均不为空，则将字符串形式的参数转化为具体的参数形式，比如Leeway Rate需要转化为0到1之间的浮点数，当转化完之后，判断参数是否符合。假如参数符合则将参数传递给残骸漂移计算模块，在其中计算并返回一条轨迹，将这条轨迹传递给核心模块，核心模块构建出一条动画路径，使残骸沿着这条路径漂移运动。

上述为漂移过程的流程，其中涉及到轨迹的计算，在针对计算漂移轨迹的时候又可分为两类，这两类的参数设计在具体实现过程中论述，下面针对两类计算过程进行阐述。

第一类主要用于验证算法的正确性，其算法流程相对简单。如下图3.10是第一类的流程图：

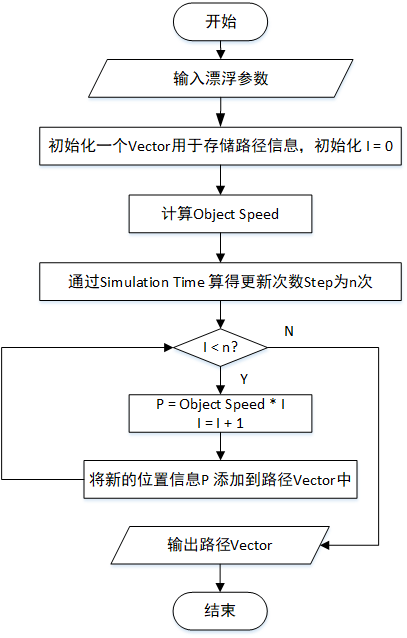


图3.10 简单残骸漂流轨迹计算流程图

在上图中，当接收完风速、流速、仿真时长和Leeway Rate之后，需要初始化一个Vector用于存储路径信息，再用风速、流速和Leeway Rate合成漂浮物的漂流速度Object Speed。然后用Simulation Time得到更新次数Step，由于更新步长就是1，所以Step实际就是Simulation Time。在更新次数范围内，不断的计算出新的位置并添加到路径Vector中。最后返回这个Vector。

第二类用于实际的模拟。需要根据实际数据进行计算。下图3.11是第二类的流程图：

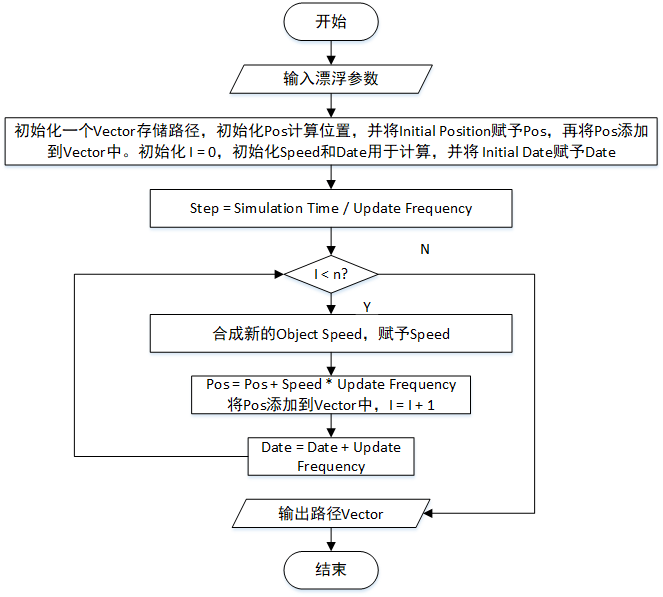


图3.11 复杂残骸漂流轨迹计算流程图

在上图中，当输入完风速文件地址、流速文件地址、风速方差、流速方差、初始位置、初始时间、空间系数、虚拟浮标数量、仿真时长和Leeway Rate等漂浮参数之后，需要初始化一个Vector用于存储路径信息，初始化Pos用于位置信息的计算，将初始位置赋予Pos，初始化Date用于时间计算，将初始时间赋予Date，用仿真时长除以更新频率得到仿真次数Step。在Step范围内，不断的更新计算新的残骸漂移速度，然后用当前位置加上位移就得到下一步的位置，将此位置添加到路径Vector中，并更新Date。当超出次数以后即可返回路径信息。

在上述的漂移轨迹计算流程中，其中一个比较复杂的步骤在于如何通过风速、流速文件地址以及风速、流速方差等信息合成新的漂浮速度，下面是该步骤的具体算法：

|  |  |
| --- | --- |
| **Step1:** | 输入风速文件地址、流速文件地址、风速方差、流速方差、位置、时间、空 间系数、虚拟浮标数量n和Leeway Rate |
| **Step2:** | 通过内置Pipe变量得到相应时间和位置的风速和流速 |
| **Step3:** | 生成n个虚拟浮标 |
| **Step4:** | 赋予每一个虚拟浮标风速和流速，这些风速和流速由 和风速方差和 流速方差经过二维正态分布得到 |
| **Step5:** | 使用这些虚拟浮标合成新的风速和流速 |
| **Step6:** | 使用新产生的风速和流速合成新的漂流速度并输出 |

在上述新的漂浮速度合成的算法中，仍旧存在新的较为复杂的步骤，下面对这些步骤进行分解。

第一个较为复杂的步骤是如何通过内置的Pipe得到相应时间和位置的风速和流速。由于Pipe是从内部Map中得到的数据，所以最终涉及到Map如何返回风速和流速。下面给出风速的计算方法，流速的计算方法雷同不再赘述。如下是详细算法：

|  |  |
| --- | --- |
| **Step1:** | 输入时间Date和位置坐标X和Y |
| **Step2:** | 根据Date更新内部风场数据，初始化一个vector存放节点信息 |
| **Step3:** | 根据X、Y和Map的mask的大小计算出mask的边界 |
| **Step4:** | 计算出左上、右上、左下、右下四个方位风速节点及与中心(X,Y)的距离和 混乱度 |
| **Step5:** | 遍历所有的风速节点，将所有在mask内的节点在vector中，同时得到位于 mask内距离(X,Y)最近的左上、右上、左下、右下四个方位风速节点及各自 与(X,Y)的最短距离 |
| **Step6:** | 假如vector的大小为0，转入Step7，假如vector大小不为0，转入Step8 |
| **Step7:** | 遍历所有节点的风速值求得平均数即为需返回的风速大小，转入Step11 |
| **Step8:** | 计算四个顶点的风场混乱度 |
| **Step9:** | 计算四个顶点的区域值即最近距离乘以混乱度 |
| **Step10:** | 根据四个顶点的区域值求得各自占比，再由各自占比乘以各自风速得到最终的风场速度并输出 |

第二个较为复杂的步骤是如何通过得到的风速、流速以及风速、流速的方差经过二维正态分布生成新的风速和流速，下面只针对风速进行说明，流速同理。该算法将会用到Box-Muller转化，具体算法如下：

|  |  |
| --- | --- |
| **Step1:** | 输入风速v和风速方差和虚拟浮标数n |
| **Step2:** | 初始化Xvec,Yvec,Rvec,Thetavec,初始化i = 0 |
| **Step3:** | 生成0到1之间的均匀分布种子engine |
| **Step4:** | i是否小于n，若是则转到Step5，否则i重新初始化为0，转到Step6 |
| **Step5:** | Xvec中压入engine生成数，Yvec中压入engine生成数，i+1转到Step4 |
| **Step6:** | i是否小于n，若是则转到Step7，否则i重新初始化为0，转到Step8 |
| **Step7:** | Rvec中压入sqrtf(-2 \* logf(Xvec[i])，Thetavec中压入2 \* M\_PI \* yVec[i]，i+1， 转入Step6 |
| **Step8:** | i是否小于n，若是则转到Step9，否则i重新初始化为0，转到Step10 |
| **Step9:** | 将Xvec[i]设置为Rvec[i] \* cosf(Thetavec[i])，将Yvec[i]设置为 rVec[i] \* sinf(thetaVec[i])，i+1，转到Step8 |
| **Step10:** | i是否小于n，若是则转到Step11，否则退出 |
| **Step11:** | 设置浮标i的风速为(Xvec[i] \* \* v.x + v.x, Yvec[i] \* \* v.y + v.y)， i+1，转到Step10 |

第三个较为复杂的步骤是如何通过虚拟浮标的风速和流速合成新的风速和流速，下面针对风速对改算法进行解释，流速同理，具体算法如下：

|  |  |
| --- | --- |
| **Step1:** | 输入虚拟浮标数组 |
| **Step2:** | 初始化i = 0，count = 0，sum = 0 |
| **Step3:** | i是否小于虚拟浮标数n，若是则转到Step4，否则转到Step6 |
| **Step4:** | 计算虚拟浮标i的b值，若b大于空间关系系数，i+1，转到Step5,否则 转到Step3 |
| **Step5:** | count+1，sum累加上虚拟浮标i的风速值，i+1，转到Step3 |
| **Step6:** | 输出sum/count |

# 外围辅助系统设计

外围辅助系统部分包括下载模块、分析模块、位置合成模块。这些模块都是系统的辅助性模块，为了方便用户而设计。下面对这三个模块进行详细设计。



## 下载模块

下载模块提供的是供用户下载CDF文件的服务，所以这个模块需要提供的接口有：存储位置的输入接口、下载地址的输入接口、下载接口。对应用户则是变量，对应内部下载的HTTP类则是接口。给出下载模块的类图如下图3.12所示：

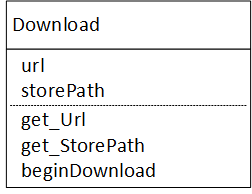


图3.12 下载模块的类图

## 分析模块

分析模块提供给用户的是对CDF文件的分析服务，将内部的数据提取出，而不用用户自己去使用相应的SDK去解析。所以该模块需要提供的接口有：待分析数据存储地址的输入接口、分析结果存储地址的输入接口、分析接口。给出分析模块的类图如下图3.13所示：

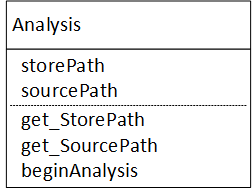


图3.13 分析模块的类图

## 位置合成模块

位置模块是为用户方便得到最终残骸位置服务的，根据飞机失事的初始位置，飞机坠落位移、漂流位移计算出飞机最终位置。所以该模块需要提供的接口如下：初始位置的输入接口、坠落位移的输入接口、漂流位移的输入接口、计算模块、百度地图显示接口。下图3.14是位置合成模块的类图：

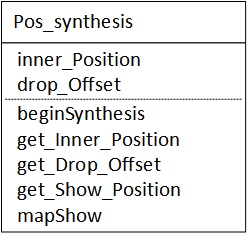


图3.14 位置合成模块的类图

位置合成的步骤是本文搜寻残骸的最后一个步骤，如下是位置合成的具体算法：

|  |  |
| --- | --- |
| **Step1:** | 输入初始经纬度Lat，Lon以及飞机坠落位移Drop\_displacemen |
| **Step2:** | 使用高斯正算将Lat，Lon转化为笛卡尔坐标X,Y |
| **Step3:** | X加上Drop\_displacement的横向坐标，Y加上Drop\_displacement的纵向坐标 |
| **Step4:** | 再将X,Y高斯反算得到经纬度Lat,Lon |
| **Step5:** | 输出Lat和Lon |

# 本章小结

本章首先针对本系统搭建所需要的环境进行了介绍，然后针对本系统从市场需求、技术支持和可靠性对可行性进行分析，接着进行了需求的分析并导出了系统的需求，下一步对需求进行了概要性的设计，划分了系统的模块并进行了接口的设计，最后针对三个部分分别对各个模块进行了详细设计，在设计的过程中重点介绍了其中的实现步骤和步骤中的复杂部分的具体算法。

1. 飞机残骸搜寻系统实现

本章将对上一章的设计进行实现，共分为七个小节。首先对实现本系统的基本仿真环境搭建做简要介绍。然后分别对飞机坠落过程、残骸漂移过程以及系统辅助部分所涉及到的模块进行实现，并对实现后的界面作出展示。最后对本系统进行测试。



# 仿真系统总体结构搭建

本系统的搭建依赖于OSG和Qt，OSG中提供了OsgQt模块，这个模块中实现了将OSG的图形上下文嵌入到Qt中。

为了和Qt的特性相贴和，本系统采用实现一个类，继承自QtWidget和osgViewer，让这个类同时具有widget和viewer的特性，然后在这个类中实现海洋的初始环境。最后在Qt的界面中放入一个widget，利用Qt的提升功能，将这个widget提升至构建的类。这样OSG的环境就可以无缝的衔接到Qt界面中，在需要调用这个类也就是上一章中提及的核心模块中的接口时，只需要使用界面ui提取即可。这种搭建方法即方便程序开发，又使核心 模块和外部控制模块实现了无缝链接。

# 飞机坠落过程实现

对飞机坠落过程的实现实现过程可以按照数据流程的步骤进行论述：

(1) 用户需要在外部控制模块中的接口中填入坠落参数，这些接口可以用LineEdit实现。

(2) 点击计算，这个接口在外部控制模块种，使用Button实现，然后通过外部控制模块的LineEdit提取出相应的数据并转化为相应的格式。接下来将提取的数据传递给飞机坠落计算模块的接收接口。

(3) 飞机坠落计算模块开始计算，计算的实现细节不再介绍，实现上一章的算法即可。计算完毕后返回一个vector，其中包含的是坠落轨迹中的关键点。然后将这些关键点转化为OSG支持的三维数据格式，最后将这些转为为OSG格式的数据传递给核心模块的接收接口。

(4) 在核心模块中，利用上一步输入的关键点构造出一条动画路径，该路径包含在AnimationPath中，然后构造出AnimationPathCallback回调，使飞机利用这个回调沿着这条动画路径坠落。

飞机坠落过程实现后的界面如下图4.1所示：

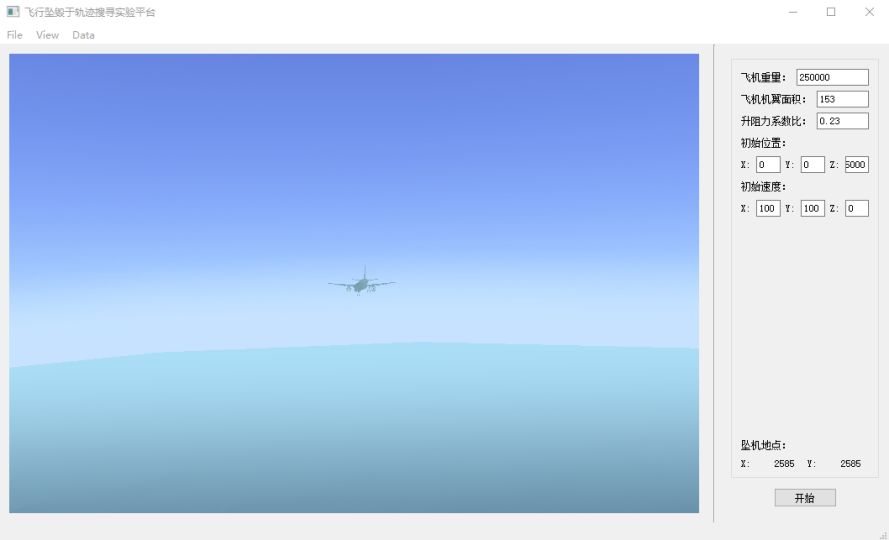


图4.1 飞机坠落过程实现界面

# 残骸漂浮过程实现

在本系统中共实现了两种轨迹漂移形式，即简单模拟和复杂模拟，简单模拟用于短时间、风速和流速变动不大的情况下，复杂模拟适用于长时间、风速和流速会因时间变化而发生变化的情况下。下面分别对着两种情形的实现进行说明。

在系统中用于两种模拟形式变换是通过一个TabView实现的，两个TabBar分别对应简单和复杂模拟。

在简单模拟中只需要设置风速流速的方差、不需要设置仿真的更新频率，不需要初始时间和位置。但是需要设置初始的风速和流速。实现步骤如下：

(1) 用户需要在外部控制模块提供的接口中输入数据，这些数据接口通过LineEdit实现，风速和流速方向通过Dial实现。

(2) 触发外部控制模块中的计算接口，这个接口是通过Button实现，当点击后需要将外部控制模块中的数据提取并转换为相应的格式。然后将转换后的数据传递给残骸漂流计算模块的输入接口。

(3) 当残骸漂流计算模块接收到外部数据后开始简单模拟的轨迹计算，计算算法在上一章中已介绍，计算完毕返回一个包含了轨迹中关键点的vector给外部控制模块。外部控制模块完成数据形式的转换并展示在右侧的PlainText中，输入到核心模块的简单模拟的接口中。

(4) 核心模块在接收到外部控制模块提供的轨迹数据后，生成一条动画路径，同样是AnimationPath，最后让残骸利用AnimationPathCallbak沿着这条轨迹动画漂移。

简单残骸漂移模拟实现后的界面如下图4.2所示：

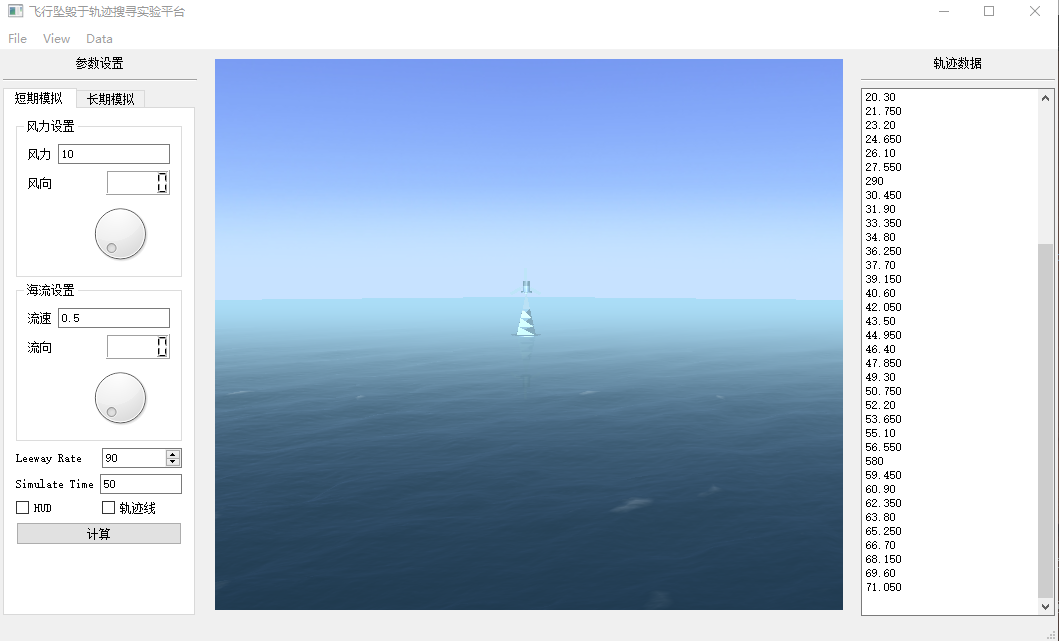


图4.2 简单残骸漂移模拟实现界面

在复杂模拟中不需要设置风速流速，所有的风速流速数据需要从数据文件中读取。但是其他的相关数据都需要填入。实现步骤如下：

(1) 用户在外部控制模块的接口中填入相应数据，其中文件名、文件路径相关的接口通过FileDialog实现。文件名的显示通过TreeView实现。其余的数据接口使用LineEdit实现。

(2) 点击计算，这个外部控制模块的中的接口是通过Button实现，外部控制模块接口中的数据被提取出并完成转换，然后将这些转换后的数据输入到残骸轨迹计算模块提供的输入接口中。

(3) 当残骸轨迹计算模块接收到数据后，不断从外部提取风场和流场数据然后进行计算并返回一条轨迹vector，计算算法已在上一章给出。外部控制模块将这个vector中的数据转换后一方面在右侧通过PlainText展示出来，另一方面传递给核心模块的复杂模拟接口。

(4) 当核心模块接收到外部控制模块的数据后将这些数据转换生成为动画路径，使残骸沿着动画路径漂移。

复杂残骸漂移模拟实现后的界面如下图4.3所示：

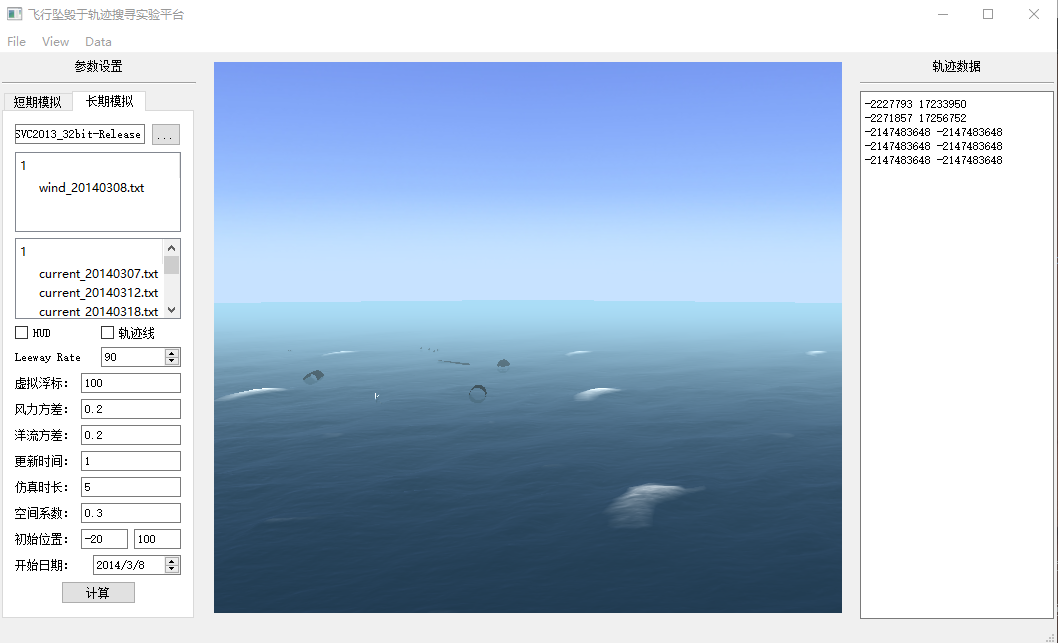


图4.3复杂残骸漂移模拟实现界面

# 外围辅助系统实现

本小节将会分三个部分分别对下载模块、分析模块和位置合成模块的实现进行讲解。

## 下载模块实现

本系统在实现下载模块时，采用了一个界面的形式。使用了QNetworkAccessManager实现了一个Http下载类，然后封装到下载模块中，使用FileDialog实现文件存储路径的选择。按步骤实现如下：

(1) 在下载模块中填入需要下载的CDF文件路径，这个接口通过LineEdit实现。通过ToolButton实现FileDialog的触发选择文件储存位置，并通过LineEdit显示。

(2) 当下载接口触发，该接口通过Button实现，当按钮点击后，Http下载类使用填入的路径，下载文件。下载类的具体实现不予介绍。

(3) 将下载后的文件储存在存储路径对应的位置，使用Qt文件类即可实现。

下载模块实现后的界面如下图4.4所示：

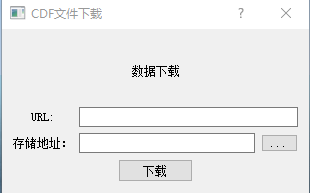


图4.4 数据下载实现界面

## 分析模块实现

分析模块的实现同样是采用界面展现，使用TreeView将需要分析的文件名展示。下面给出分析模块按步骤实现方法：

(1) 在下载模块的接口中填入待分析文件路径、分析完后的文件存储路径参数。这两个都通过FileDialog实现。

(2) 当使用Button实现的分析接口点击后，分析模块使用Qt文件类从待分析文件路径中加载出可用文件。然后通过TreeView展示出来。

(3) 用户通过单选或者多选的方式将需要分析的文件选择。

(4) 底层使用CDF文件的SDK将需要分析的文件分析出，分析过程不予介绍。

(5) 将分析结果存储在填入的存储位置。

分析模块实现后的界面如下图4.5所示：

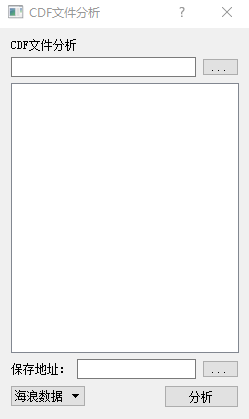


图4.5 分析模块实现界面

## 位置合成模块

位置合成模块依旧采用界面展示。首先需要通过初始点和飞机坠落偏移得到飞机残骸初始位置，如下是按步骤实现：

(1) 在下载模块对应位置中填入飞机失事位置经纬度参数，飞机坠落位移参数。这些都通过LineEdit实现。

(2) 当使用Button实现的合成接口点击后，分析模块读取经纬度参数并做相应的转换，然后通过高斯正向投影，将经纬度转换为二维笛卡尔坐标。

(3) 将转化后的二维坐标和分析模块读取的飞机坠落位移参数相加得到最终的二维笛卡尔坐标系下飞机残骸初始位置。

(4) 将最终的二维笛卡尔坐标系下飞机残骸初始位置通过高斯反向投影转化成经纬度，然后使用LineEdit展示出来，高斯正反算实现不予介绍。

当用户使用飞机残骸初始位置通过残骸偏移计算得到残骸经纬度以后，需要显示各个经纬度究竟在何处，当输入完残骸经纬度以后，通过点击Button实现的地图显示接口，将转化后的经纬度在百度地图上显示。

位置模块实现后的界面如下图4.6所示：

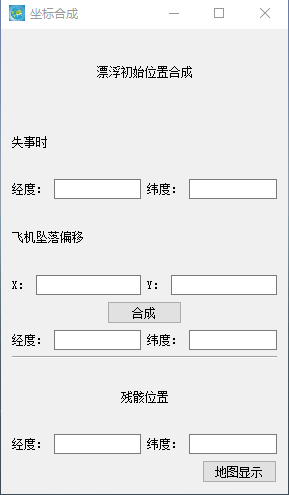


图4.6 位置合成模块实现界面

当点击地图显示后，具体的位置将会在百度地图中显示，如下图4.7所示：

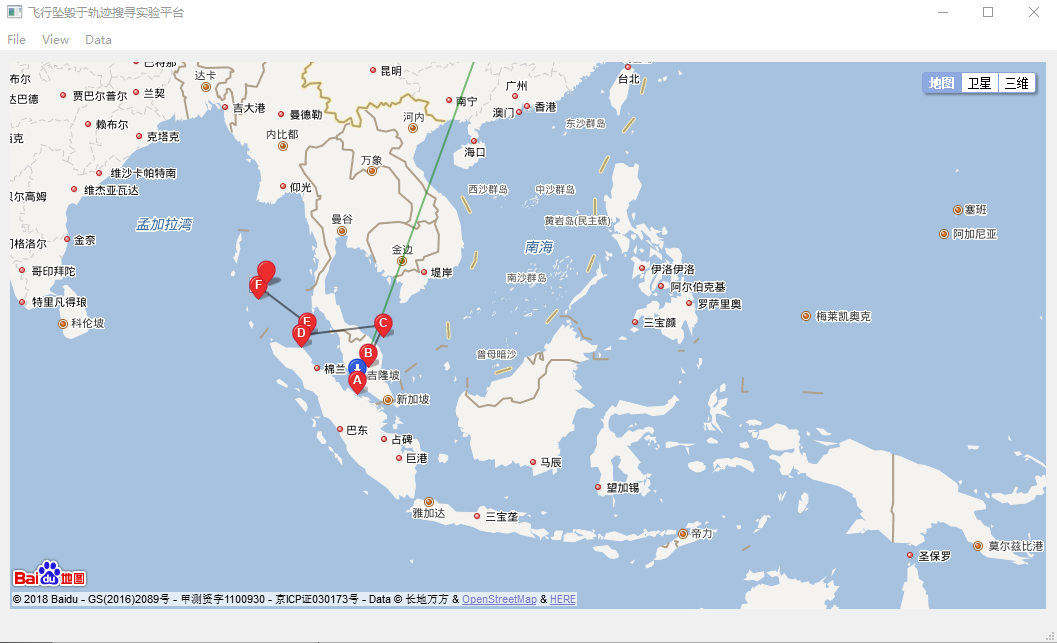


图4.7 百度地图展示实现界面

图中的A、B、C、D、E、F为MH370的失事前轨迹。

# 系统功能测试

本节将分三部分对系统功能的测试，分别是对飞机坠落过程的测试和残骸漂移过程的测试以及附加功能的测试。其中对残骸功能的测试又分为两种即简单残骸漂浮测试与复杂残骸漂浮测试。

## 飞机坠落功能测试

下表4.1是测试所用参数列表：

表4.1 飞机坠落功能测试参数表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 参数 | 参数含义 | 单位 |
| Wing Area | 机翼面积 |  |
| Lift-Drag ratio | 升阻力系数比 | -- |
| Height | 高度 | m |
| Weight | 重量 | kg |
| Speed | 速度 | m/s |

针对飞机坠落功能测试，本文采用了四种飞机进行测试，分别是波音系列飞机的Boeing B727-200、Boeing 707-320、Boeing 747-100、Boeing 767-200。这四种型号的重量分别代表了四种从大到小的飞机。

下表4.2是飞机坠落功能测试：

表4.2 飞机坠落功能测试样例表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 测试用例 | 预期结果 | 测试结果 | 测试状态 |
| Boeing B727-200 Wing area:153 Lift-Drag ratio:16.4 Height:10000 | | | | |
| 1 | Weight:44330 Speed:(150,150) | (5400,5400) | (5417,5417) | 与预期结果相符 |
| 2 | Weight: 44330Speed:(196,196) | (6900,6900) | (6908,6908) | 与预期结果相符 |
| 3 | Weight:78100Speed:(150,150) | (5550,5550) | (5595,5595) | 与预期结果相符 |
| 4 | Weight:78100Speed:(196,196) | (7100,7100) | (7149,7149) | 与预期结果相符 |
| Boeing 707-320 Wing area:283 Lift-Drag ratio:19.4 Height:10000 | | | | |
| 1 | Weight: 67495 Speed:(150,150) | (5300，5300) | (5355,5355) | 与预期结果相符 |
| 2 | Weight: 67495 Speed:(198,198) | (6850,6850) | (6886,6886) | 与预期结果相符 |
| 3 | Weight: 151381 Speed:(150,150) | (5600,5600) | (5610,5610) | 与预期结果相符 |
| 4 | Weight: 151381 Speed:(198,198) | (7200,7200) | (7235,7235) | 与预期结果相符 |
| Boeing 747-100 Wing area:511 Lift-Drag ratio:17.7 Height:10000 | | | | |
| 1 | Weight:162500 Speed:(150,150) | (5410,5410) | (5447,5447) | 与预期结果相符 |
| 2 | Weight:162500 Speed:(190,190) | (6700,6700) | (6756,6756) | 与预期结果相符 |
| 3 | Weight:322100 Speed:(150,150) | (5650,5650) | (5660,5660) | 与预期结果相符 |
| 4 | Weight:322100 Speed:(190,190) | (7000,7000) | (7035,7035) | 与预期结果相符 |
| Boeing 767-200 Wing area:283,3  Lift-Drag ratio:19.0 Height:10000 | | | | |
| 1 | Weight: 80286 Speed:(150,150) | (5400,5400) | (5410,5410) | 与预期结果相符 |
| 2 | Weight: 80286 Speed:(167,167) | (5900,5900) | (5968,5968) | 与预期结果相符 |
| 3 | Weight: 136078 Speed:(150,150) | (5550,5550) | (5576,5576) | 与预期结果相符 |
| 4 | Weight: 136078 Speed:(167,167) | (6100,6100) | (6155,6155) | 与预期结果相符 |

## 残骸漂移功能测试

1、简易漂浮测试

简单漂浮测试采用以下测试样例：

风力值：10m/s

风向：西偏南39°

流速值：0.5m/s

流向：东偏南16°

Leeway Rate: 90

Simulation Time: 10

下表4.3为测试出的轨迹数据：

表4.3 简单漂浮测试轨迹数据表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号： | 横坐标X 单位：m | 纵坐标 单位：m |
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0.29513 | 0.618563 |
| 3 | 0.590261 | 1.23713 |
| 4 | 0.885391 | 1.85569 |
| 5 | 1.18052 | 2.47425 |
| 6 | 1.47565 | 3.09281 |
| 7 | 1.77078 | 3.71138 |
| 8 | 2.06591 | 4.32994 |
| 9 | 2.36104 | 4.9485 |
| 10 | 2.65617 | 5.56706 |

2、复杂漂浮测试

复杂测试中，采用从2014年3月8日开始进行了5天的漂浮测试，具体测试参数如下：

Leeway Rate：90 空间系数：0.3

虚拟浮标：100

风力方差：0.2 流速方差：0.2

更新时间：1 仿真时长：5

初始位置：-20°N、100°E 初始时间：2014年3月8日

测试结果如下表4.4所示：

表4.4 复杂漂浮测试轨迹数据表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号： | 横坐标X 单位：m | 纵坐标Y 单位：m |
| 1 | -2227793 | 17233950 |
| 2 | -2274727 | 17255742 |
| 3 | -2321606 | 17277370 |
| 4 | -2367591 | 17298388 |
| 5 | -2414473 | 17319782 |

除了上述的测试外，本文以CCTV公布探测到的黑匣子信号基点基础上使用可靠数据做了30天的测试，该基点位于25.28°S，100.93E。测试得到MH370的飞机残骸漂移到澳大利亚的Lancelin市。根据珀斯第七新闻台2014年4月23日报道称，一些疑似飞机残骸的物体漂浮到西澳大利亚海岸，而珀斯则是位于Lancelin市南部不远的一个城市，所以残骸有极大可能漂向了西澳大利亚州的西海岸。[[[22]](#endnote-22)]

## 附加功能测试

附加功能有下载功能、数据分析功能和位置合成测试。前两者不需要进行测试，下表4.5是针对位置合成功能的测试：

表4.5 位置合成功能测试样例表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 测试用例 单位：m | 预期结果 单位：° | 测试结果。 单位：° | 测试状态 |
| 初始经纬度(0,0) | | | | |
| 1 | 坠落偏移：(5000,5000) | (0.024, 0.024) | (0.02415,  0.02425) | 与预期结果相符 |
| 2 | 坠落偏移：(10000,10000) | (0.052,0.052) | (0.05229,  0.05251) | 与预期结果相符 |
| 3 | 坠落偏移：(2000,-8000) | (-0.446,0.011) | (-0.4458,  0.01050) | 与预期结果相符 |
| 4 | 坠落偏移：(-7000,4500) | (0.023,-0.035) | (0.02253,  -0.03476) | 与预期结果相符 |

# 本章小节

本章是实现部分，首先讲解了如何将OSG的图形上下文嵌入到Qt中。接着分别详细的对飞机坠落过程、残骸漂移过程以及系统辅助部分内部的实现细节进行了阐述并展示了实现后的效果，最后对该系统分飞机坠落功能、残骸漂移功能、系统辅助功能三个部分做了具体测试。并使用相关数据得到MH70可能漂向珀斯附近的澳大利亚州西海岸。

结 论



本文对残骸搜寻的方法和三维仿真方面做了研究，在前人的研究基础上，提出了使用三个步骤来搜寻残骸的方法，在飞机坠落阶段计算得到飞机的坠落位移，在残骸漂移阶段计算得到残骸漂移位移，在最后的位移合成阶段，综合失事点、坠落位移、漂移位移得到残骸最终的全球坐标。本文的主要完成了以下几项工作：

(1) 本文论述了课题研究的背景和本文研究的目的，并介绍了国内外对于残骸搜寻工作的现状。

(2) 本文开创性的将飞机残骸搜寻工作分为了三个阶段。在第二章中对其中最重要的两个阶段涉及到的理论做了论述。对于飞机坠落阶段，本文阐述了空气密度计算方法以及飞机受到升力、重力和各种阻力的来源。然后建立了飞机的坠落模型即通过结合飞机的升力、阻力和自身重力进行受力分析得到飞机的各阶段的受力情况，算出飞机的加速度、速度和高度。最后得到飞机的坠落位移。对于残骸漂移阶段，本文对国际通用的Leeway模型内部细节进行了阐述，然后介绍了基于Leeway的动态漂移模型，最后引出了本文所使用的基于概率模型的Leeway漂移模型。

(3) 本文在上述的模型基础上实现了一款基于OSG引擎和Qt界面的仿真系统，在第三章中首先介绍了基于以上两个模型实现的系统所需要的环境，对这个系统进行了需求分析、概要设计和详细的设计，并对实现过程中的流程和复杂的算法进行了详细叙述。在第四章中本文在实现的系统的基础上给出了完成后的系统的展示并对系统进行了案例测试。并且基于CCTV公布的一项数据结合NASA的喷气推进实验室公布的数据得到了MH370可能漂向了澳大利亚州西海岸。

本系统虽然提出的方法在前人的基础上加入了对飞机坠落过程的探讨，并且对轨迹漂移中的相关性进行了改进，但是在这个残骸搜寻方法中，仍旧存在着很多的不足。在未来的研究中，可以从以下几方面加以考虑和改善。

(1) 飞机的坠落模型可以加以改善，本文所使用的方法是最简单的抛物模型，未来的研究中对于飞机的受力分析可以考虑得更复杂。

(2) 对于随机因素对残骸轨迹的影响需要加强，而不能仅仅只从简单的正态分布进行随机因素研究。

参考文献

攻读学士学位期间发表的论文和取得的科研成果

致 谢

时光飞逝，转眼从进入校门到现在已经将近四年快过去了，在这四年里，我成长了很多，从一个懵懂的小子，变成可以独当一面的成人。除了在心智上的发展，我在自己喜欢的领域也有很大的进步，对计算机有了总体的了解，但是时间是有限的，母校已经给了我太多太多,未来的发展还需要靠我自己。在这即将毕业的半年里，我综合所有我所学的知识完成了毕业设计，但是这份毕业设计不仅仅是我个人的，还凝结了众多老师、学长学姐们的智慧和汗水，因此我由衷的感谢每一个帮助和支持过我的人。

首先感谢我的指导老师张菁教授，张老师和蔼可亲、开朗大方，对学生总是笑脸相迎，教会了我很多专业上知识、生活职场中的技能。并且张老师学识渊博，砥砺前行，她认真负责的指导和帮助了我完成毕业设计。在每一次进度检查中，她都很仔细的为我挑出需要改进和完善的地方，激励我继续努力。没有张老师的支持，我是没办法独自走过从立题到答辩的艰难历程的，所以真诚的感谢张菁老师！

然后我要感谢实验室的学长学姐们，他们在我的毕设历程中扮演了重要的角色，他们不仅教会了我如何设计这款系统的功能、如何改进，还为我解决了在毕设时遇到的困难。我的毕设也是他们努力的成果！另外需要感谢我的父母对我的陪伴和鼓励，他们在毕业设计的这段路途中不断激励我做得更好，还给予了我在生病时及时的关怀。希望我的父母身体健康，工作顺心！

另外我还要感谢我的室友们，感谢他们四年内对我的理解。还有孙天旭和张艳丽同学，谢谢你们在毕设期间我生病时对我的陪伴、照顾和关怀让我可以有信心再次回到毕设中去。

最后感谢母校的唐滨老师，在他的帮助下，我才有机会进入计算机学院的实验室学习，在实验室里成长！没有他提供给我学习环境，我就没有机会接触到我所感兴趣的领域，也就不会具有完成本次毕设所需要的基础。希望唐滨老师工作顺利，事业成功！

1. [] Ashton C, Bruce A S, Colledge G, et al. The Search for MH370[J]. Journal of Navigation, 2015, 68(1):1-22. [↑](#endnote-ref-1)
2. [] 刘海峥, 赵怀慈, 赵春阳. 基于Monte Carlo方法的搜救区域预测算法[J]. 船海工程, 2010, 39(1):132-135. [↑](#endnote-ref-2)
3. [] Allen A A, Plourde J V. Review of Leeway: Field Experiments and Implementation[J]. Review of Leeway Field Experiments & Implementation, 1999. [↑](#endnote-ref-3)
4. [] 张笛, 万程鹏, 严新平. 基于事故特征分析的长江碍航风险研究[J]. 中国航海, 2013, 36(2):94-99. [↑](#endnote-ref-4)
5. [] 陈达森, 严金辉, 毕修颖. 湛江毗邻海域流场模型在海上搜救中的应用[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(1):16-21. [↑](#endnote-ref-5)
6. [] 肖文军, 堵盘军, 龚茂珣,等. 上海沿海海上搜救预测模型系统的研究和应用[J]. 海洋预报, 2013, 30(4):79-86. [↑](#endnote-ref-6)
7. [] Hodgins, D.O., Mak, R.Y. Leeway Dynamic Study, Phase I: Development and Verification of a Mathematical Drift Model for Four-person Liferafts. Seaconsult Marine Research Limited, 1995 [↑](#endnote-ref-7)
8. [] Øyvind Breivik, Allen A A. An operational search and rescue model for the Norwegian Sea and the North Sea[J]. Journal of Marine Systems, 2011, 69(1):99-113. [↑](#endnote-ref-8)
9. [] Allen A A. Leeway Divergence[J]. Leeway Divergence, 2005. [↑](#endnote-ref-9)
10. [] Brushett B A, Allen A A, Futch V C, et al. Determining the leeway drift characteristics of tropical Pacific island craft[J]. Applied Ocean Research, 2014, 44(1):92-101. [↑](#endnote-ref-10)
11. [] Øyvind Breivik, Allen A A, Maisondieu C, et al. Wind-induced drift of objects at sea: The leeway field method[J]. Applied Ocean Research, 2011, 33(2):100-109. [↑](#endnote-ref-11)
12. [] Geyer W R. Field Calibration of Mixed-Layer Drifters[J]. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology, 2009, 6(2):333-342. [↑](#endnote-ref-12)
13. [] Rabatel M, Rampal P, Carrassi A, et al. Impact of rheology on probabilistic forecasts of sea ice trajectories: application for search and rescue operations in the Arctic[J]. Cryosphere, 2018, 12(3):935-953. [↑](#endnote-ref-13)
14. [] Spaulding M L, Isaji T, Hall P, et al. A hierarchy of stochastic particle models for search and rescue (SAR): Application to predict surface drifter trajectories using HF radar current forcing[J]. Journal of Marine Environmental Engineering, 2006, 8(3):181-214. [↑](#endnote-ref-14)
15. [] Özgökmen, Tamay M, Griffa A, Mariano A J, et al. On the Predictability of Lagrangian Trajectories in the Ocean[J]. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology, 2000, 17(3):366-383. [↑](#endnote-ref-15)
16. [] Davidson F J M, Allen A, Brassington G B, et al. Applications of GODAE Ocean Current Forecasts to Search and Rescue and Ship Routing[J]. Oceanography, 2009, 22(3):176-181. [↑](#endnote-ref-16)
17. [] Mínguez R, Abascal A J, Castanedo S, et al. Stochastic Lagrangian trajectory model for drifting objects in the ocean[J]. Stochastic Environmental Research & Risk Assessment, 2012, 26(8):1081-1093. [↑](#endnote-ref-17)
18. [] Zhang J, Ângelo P. Teixeira, Soares C G, et al. Probabilistic modelling of the drifting trajectory of an object under the effect of wind and current for maritime search and rescue[J]. Ocean Engineering, 2017, 129:253-264. [↑](#endnote-ref-18)
19. [] 马瑞庆.浅谈科里奥利力[J]. 内蒙古科技与经济, 2008(22):373-373. [↑](#endnote-ref-19)
20. [] 曹腾之.伯努利方程在飞行器中的应用与简化推导[J]. 数字通信世界, 2017(2). [↑](#endnote-ref-20)
21. [] 李成智.飞机百年发展与空气动力学[J]. 力学与实践, 2003, 25(6):1-13. [↑](#endnote-ref-21)
22. [] 小唐.疑似飞机残骸被冲上西澳大利亚海岸，调查人员正在核实. [EB/OL]. (2018.06). [2014.04.23]. http://world.chinadaily.com.cn/2014/04/23/ content\_17458362.htm. [↑](#endnote-ref-22)