

寻找失踪的MH370

目录

- 引言1：中英文赛题
- 引言2：参赛及获奖情况
- 一、问题背景
- 二、前人研究：法航AF447失踪
- 三、我们的模型
- 四、灵敏度分析
- 五、优缺点分析
- 六、评论
- 七、原文及个人感想

英文赛题

-
- Recall the lost Malaysian flight MH370. Build **a generic mathematical** model that could assist “searchers” in planning a useful search for a lost plane feared to have crashed in open water such as the Atlantic, Pacific, Indian, Southern, or Arctic Ocean while flying from Point A to Point B.
 - Assume that there are no signals from the downed plane. Your model should recognize that there are many different types of planes for which we might be searching and that there are many different types of search planes, often using different electronics or sensors.
 - Additionally, prepare a 1-2 page non-technical paper for the airlines to use in their press conferences concerning their plan for future searches.

中文翻译

- 回忆失踪的马来西亚MH370飞机。建立一个通用的数学模型，协助“搜寻者”规划的一个有用的搜寻方案，寻找一架从A点飞到B点失踪的飞机，飞机可能坠毁在开放水域如大西洋、太平洋、印度、南或北冰洋。
- 假设有从坠落的飞机上没有收到任何信号，你的模型应该确认我们可能搜索到的飞机有许多不同类型的，也有许多不同类型的搜索用飞机。这些飞机经常使用不同的电子设备或传感器。
- 另外，准备一个1-2页的非技术性计划，作为航空公司在他们的新闻发布会使用的、关于他们未来搜索的计划。

参赛及获奖情况

2015MCM数据统计 (7636)

- A题 (5356) : 埃博拉病毒 (70.14%)
- B题 (2280) : 失踪的MH370 (29.86%)
- 特等奖: 10 (0.13%)
- 特等奖提名: 12 (0.16%)
- 一等奖: 641 (8.39%)
- 二等奖: 2266 (29.68%)
- 成功参赛: 4685
- 不成功参赛: 22

2015MCM B题特等奖

- Colorado-Boulder大学 (SIAM)
- Bethel 大学 (MAA & Frank)
- Colorado-Boulder大学
- Colorado大学 (INFORMS)
- 清华大学

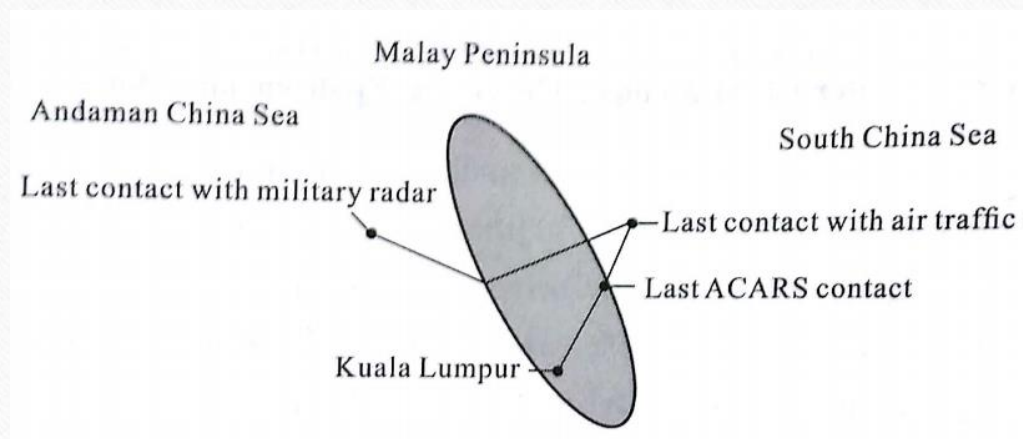
一、问题背景

- 2014年3月8日，马来西亚航空航班370(MH370)飞离了马来西亚的Kuala Lumpur 国际机场。按日程安排，MH370应在临近中午的时候到达中国北京，但是它没有到达，并且再也没有出现。
- MH370飞到南海上空时，与空中交通管制中心联络。随后MH370就从空交管的雷达视线中消失了，在接下来的一个小时，马来西亚军队雷达仍然可以检测到MH370。随后飞机偏离航线，穿越马来半岛，最后一次在安达曼海被探测到。



一、问题背景

- 对MH370的搜索从南海开始，到飞机最后一次被空中交通管制探测到的地方，随即将搜索范围扩展到了安达曼海（雷达探索到的最后地点），最终将搜索范围扩大到了南印度洋，这是马来西亚政府认定的航线终止地点。
- 尽管相关猜测很多，但是目前仍没有人确定MH370偏离航线与最终失踪的原因。解决这些问题的关键在于，找到消失的MH370。



二、前人研究：法航AF447失踪

- 2009年5月31日，AF447飞离里约热内卢，前往巴黎，这是一架A330飞机，机舱内有228名乘客和机务人员。坠入大西洋后，整个AF447失踪。
- AF447与空中交通管制的最后一次联系发生在6月1日早晨，大约起飞3小时后，AF447出现在大西洋旁的巴西东北部，随后它飞离了巴西的雷达范围。
- 这架飞机具有飞机通信寻址及报告系统(ACARS)，能够定期和自动传输数据。飞离巴西雷达范围约20分钟后，ACARS发送了飞机最后一个已知位置：位于巴西和非洲之间的大西洋。在ACARS持续发送了4分钟的信息后，飞机在世界时10点14分坠入海里。

二、前人研究：如何搜索AF447

- SAROPS: Metron航空帮助美国海岸警卫队设计的最优救援规划系统。
- 2010年7月, BEA (法国事故调查委员会) 要求Metron制作一份AF447的概率地图, 即关于AF447可能分布的地区说明, 包括一个说明失踪飞机分布在不同地区的可能性的概率分布函数。Metron用SAROPS的改良版制作了一份地图, 他们首先用搜索之前的已知信息来制作初始地图, 然后在搜索结果的基础上, 用贝叶斯法则来修正得到最终的地图。

二、前人研究：如何搜索AF447

- 贝叶斯法则

- 贝叶斯法则是一种基于已知信息进行概率调整的方法。假定 A 与 B 为两个事件， $P(A)$ 和 $P(B)$ 分别表示事件 A 和 B 发生的概率，用 $P(A|B)$ 表示在事件 B 发生的情况下事件 A 发生的概率。贝叶斯法则表明，当 A 与 B 为不同事件时：

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}. \quad P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{\sum_{k=1}^N P(B|A_k)P(A_k)}.$$

-
- 假设丢失的物品（目标）位于 N 个部分之一，且目标在部分 n 的概率为 $w(n)$ ，由于目标不容易被发现，所以很有可能我们搜索目标所在的区间时没有发现目标，用 $p(n)$ 表示目标位于部分 n 且被找到的概率。
 - 假设我们搜索了所有区间仍然没有找到目标，根据贝叶斯法则，目标在部分 n 的概率 $w(n)$ 将会被修正为

$$w'(n) = \frac{(1 - p(n))w(n)}{\sum (1 - p(k))w(k)}$$

这个公式是怎么得来的？

二、前人研究：搜索AF447中的先验PDF

- 初始的概率分布函数(PDF)，也就是未经过贝叶斯法则调整的函数，叫做先验PDF。函数 w 就是先验PDF，经过一次搜索之后，分布会做相应的调整，新的概率分布函数，称为后验PDF，函数 w' 即为后验PDF。

二、前人研究：搜索AF447中的先验PDF

飞行动力学部分（70%）

- 基于当AF447在最后已知地址失去动力后，理论上有可能发生的飞行去向
 - 以飞机的最后已知地点为中心，半径为40海里的均匀分布。
 - 以飞机的最后已知地点为中心的环形正态分布，标准偏差为8海里。

反向追踪部分（30%）

- Metron有较好的遗体研究模型，因此他们在这里采用了遗体进行追踪，没有选择其他飞机残骸。每一具遗体都被回溯追踪到一些可能的起始地点，求出遗体起始于这些地点的概率，即得到先验PDF的反向追踪部分。

二、前人研究：搜索AF447中的首个后验PDF

- Metron通过浅层搜索的结果调整前期PDF。为了实现调整，他们需要考虑来自飞机残骸的运动。洋流会带动漂浮物漂流，所以漂浮物可能会运动到已搜索过的区域。
- 为了考虑飞机残骸对位置改变的影响，Metron将搜索区域（以最后已知地点为圆心，40海里为半径的圆）看成由许多个质点组成，根据先验PDF对每一个质点进行赋权。从事故开始一直到2009年6月6日，SAROPS系统一直用于确定每个质点可能在哪里。在事故开始到6月6日之间，如果质点占据的位置没有成功被找到，则根据贝叶斯法则对权重进行调整，这项工作直到6月6日找到第一片残骸为止。将权重与初始位置相结合，并进行水面搜索，得到首个后验PDF。

二、前人研究：搜索AF447中的最终后验PDF

- Metron将飞行动力学和首个后验PDF按照70%和30%进行合成，得到第二个后验PDF，然后基于深水搜索对第二个后验PDF进行调整。
- 首次深水搜索采用无源声纳搜索，如果声纳与黑匣子充分接近的话，将由90%的概率能够被探测到。搜索的失败让Metron怀疑黑匣子是不是被摧毁了，为了验证这一设想，他们考虑两种独立的情形：（1）黑匣子有80%的概率在坠毁后不被损坏；（2）黑匣子未处于工作状态。最开始的PDF基于方程(3.1)进行修正，Metron在修正PDF的时候也考虑了其他水下搜索的失败案例。
- Metron最终得到两个后验PDF：一个假设黑匣子在坠机后未损毁的可能性为80%，另一个假设黑匣子未处于工作状态。基于前一种假设找到了一些残骸，基于后一种假设在高概率区域中也找到了部分残骸。
- 如果残骸没有找到的话，那么每一次搜索之后，都要对概率方程(3.1)进行修正。

三、我们的模型

- 主要参考Colorado-Boulder大学和Colorado大学的获奖论文

（一）如何解决问题

- 贝叶斯法则仅仅告诉我们如何根据搜索结果调整PDF，为了应用该准则，我们还需要确定如下两点：
 - **先验PDF**：在准备搜救计划时，最关键性的步骤就是对目标区域的分配进行构造。
 - **如何实施搜索**：这一点很大程度上取决于我们的资源。假如仅有一架飞机可以使用，那么我们应该以怎样的顺序，选择哪些地区？如果我们有多辆飞机可用，应该怎样分配？

1.3 Simplifying Assumptions

The accuracy of our models rely on certain key, simplifying assumptions. These assumptions are listed below:

- The plane is precisely tracked until the moment that contact is lost. At that point, it is no longer powered (i.e. the engines provide no thrust and no signals are transmitted).
- The plane lost contact during the cruise phase of its flight.
- The pilot can make a single turn of no more than 180° in either direction immediately after losing contact. This turn is assumed to occur instantaneously, as the theoretical range lost during this turn is insignificant.
- There is no wind.
- There are no ocean currents.
- The plane/debris will float indefinitely.
- The entire search area is water (i.e. the search area does not extend on to land).
- The search planes only search in their search area. Although their flight from the runway to their specified search area may be over other search areas, the plane is assumed to not be searching during this time.
- The search planes can make instantaneous turns.
- There is no local curvature of the earth – the search area is a perfectly flat, two-dimensional surface.
- On a given search day, there are 12 hours of daylight during which a search aircraft can be flying.

There are also several parameters of the search that were defined arbitrarily in order to present consistent results in this report. These parameters, however, can be easily varied to accommodate a specific case of a missing aircraft:

- The plane is flying due North when it loses contact.
- A runway, from which search and rescue efforts can be based, lies exactly 400 miles South of the point of lost signal.

(二) 假设

6.4.2 假设

- 已知失踪飞机的计划航线、最后的已知地点，以及飞机的型号。
- 飞机失踪是因为它失去能量后坠毁，尽管他也可能是被挟持，但是我们假定是能量不足导致失踪的。
- 搜索工作由搜索飞机完成。

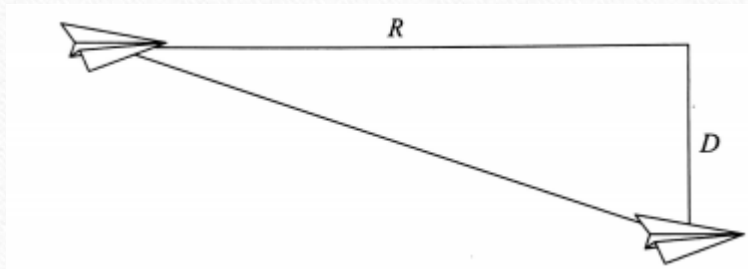
搜索工具可以按速度、范围、可以检测目标多远、在有效范围内找到目标物品的可能性来区分。我们能将这特性应用于其他工具，但是为了更明确，在本文里，研究范围限定于飞机。

- 对每一架用于搜索的飞机，存在一个距离 d 和一个概率 β ，若飞机与目标的距离在 d 以内，则飞机找到目标物品的概率为 β (见图6.2)。
- 失踪飞机在它最后已知地点或是沿计划航线稍后的位置失去动力。在该情况下考虑了两种的情况：
 - 失踪飞机在最后已知位置失去动力。许多参赛队伍都做了该假设，由于飞机能够自动定时地传输其位置信息，所以假设飞机停止发送位置信息即为失去动力是合理的。
 - 在经过最后已知地点后，失踪飞机继续沿着计划航线飞行。该假设考虑到了飞机失去动力后还能由于惯性飞行一段时间，此时我们仍认为飞机失去动力后还是沿着既定航行路线飞行。

这两种情况我们都将考虑。

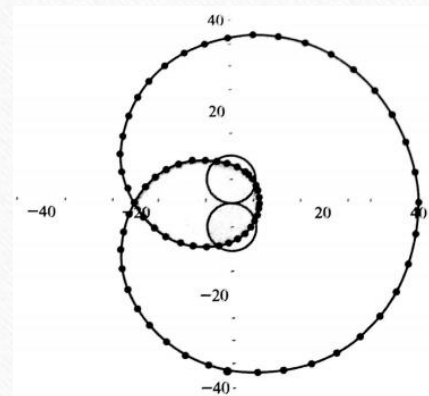
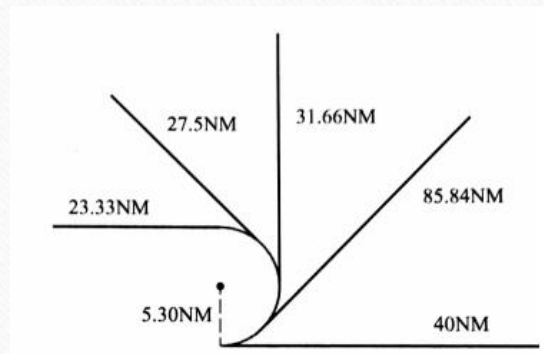
（三）确定搜索区域

- 假如我们知道一架飞机的巡航高度 D 和滑翔比 G ，则飞机无动力后能继续滑翔的距离为 $R = G \times D$ ，称 R 为滑翔距离。例如，商业航班一般巡航高度大致为35,000英尺，滑翔比为15/1，则滑翔距离 $R = 15 \times 35,000 = 525,000$ 英尺，约为 85 海里。



（三）确定搜索区域

- 为了确定区域，我们注意到飞机在最后已知地点的航向限定了它在特定方向的滑翔距离。滑翔距离还取决于飞机失去动力时改变方向的快慢，转弯半径越大，滑翔距离越短。
- 转弯半径取决于多种因素，许多参赛队伍不考虑这些因素，有些参赛队伍假设飞机可以瞬时完成转弯，Bethel大学赛队选择了后一种，下右图是他们确定的一个搜索区域。



（三）确定搜索区域

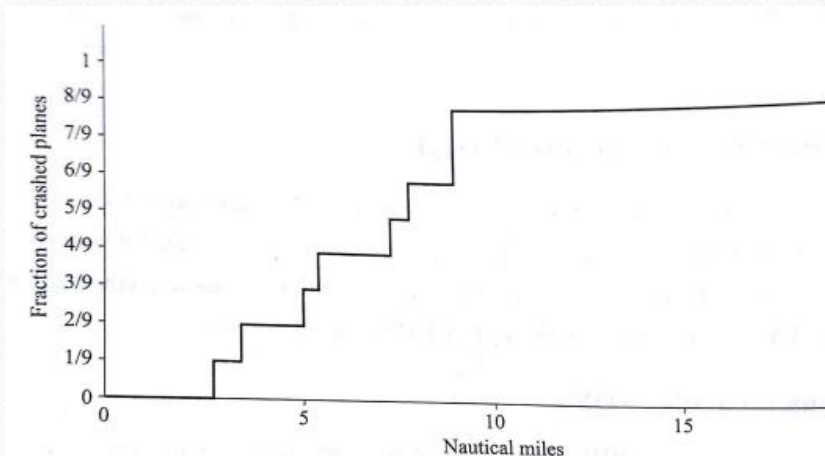
- 如果假设飞机在最后已知地点失去动力，搜索区域的形状是以最后已知地点为中心，以滑翔距离 R 为半径的圆盘，及其子集。
- 如果假设飞机是在最后已知地点之后的航线上失去动力，则需要确定它失去动力后能继续飞行的距离。
- 当飞机与海岸线的距离不足200英里时，能够用民用雷达探测到。Colorado大学参赛队经过分析认为飞机失去动力的位置是在距离航行路线最近的海岸线的200英尺范围以内，他们考虑到飞机可能偏离预计轨道，给出了一个矩形搜索区域。
- Colorado大学的领一支参赛队伍采用了另一种方法求出飞机经过最后已知地点后航行距离，他们注意到FAA(美国联邦航空管理局)规定如果一架飞机30分钟没有与地面联系，就会直接报警。因此他们假设飞机在从最后已知地点到在航线上飞行30分钟位置之间的某一点失去动力。一旦飞机失去动力，飞机能够滑翔至多距离 R ，由此他们给出了一个卵圆形的搜索区域，为了使搜索更为方便，他们将搜索区域加上了边角，使其更趋向于矩形。

（四）确定初始PDF

- 讨论两种形状搜索区域：圆形(或近似圆形)和矩形，并确定对应情况下的合理PDF。

（四）确定初始PDF：圆形搜索区域

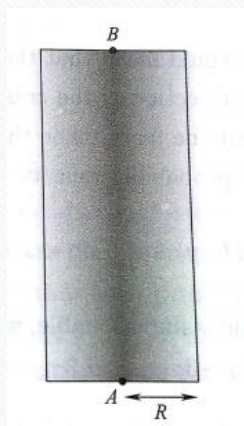
- Metron首先构造一个均匀分布，然后根据九架由于失控导致失事的商务飞机数据修正PDF，考虑到这些失事飞机不同的飞行高度，Metron根据比例对数据进行缩放，使得每个飞机失事时的高度均为35,000英尺。图6.8 显给出了给定距离内发生事故的比例。



Metron将这些数据加入标准偏差为8英尺的正态分布数据。当然，也可以使用别的分布进行融合，不一定需要使用正态分布。例如，清华大学参赛队拟合了Metron的数据，并创建了一个径向对称分布。

（四）确定初始PDF：矩形搜索区域

- Colorado-Boulder大学和Colorado大学参赛队考虑飞机在经过最后已知地点时之后才失去动力的情况，确定了一个矩形搜索区域，需要确定这些区域的PDF，不失一般性，假设飞机的预计航线方向为坐标系中的 y 方向。



（四）确定初始PDF：矩形搜索区域

- Colorado大学参赛队假设灾难发生于进入雷达监测范围之前，则最后已知地点是最有可能的事物发生地点，在这个地点的概率最大，其他地点的概率以距离的平方为单位下降。由于坠毁发生在 A 和 B 之间用 D 表示 A 和 B 之间的距离， y 表示 A 与坠毁发生地点的距离，则概率分布函数PDF可以表示为

$$f_y(y) = \begin{cases} \frac{3}{D^3}(y-D)^2 & 0 \leq y < D, \\ 0 & \text{elsewhere.} \end{cases}$$

用PDF在某一区间上的积分来刻画随机变量落在这个区间中的概率

（四）确定初始PDF：矩形搜索区域

- Colorado大学参赛将飞机偏移距离当做正态随机变量处理，认为航道偏离 $\pi/8$ 时是很大的偏移，所以取 $\delta_{CC} = R \sin \pi/8$ 为标准偏差，从而得到偏移角变量 x 的概率分布为

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_{CC}\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-x^2}{2\sigma_{CC}^2}}$$

- 为了简化，假设随机变量 x 与 y 是独立的。因此联合概率密度方程为

$$p(x, y) = f_x(x)f_y(y), -\infty < x < \infty, 0 \leq y < D$$

- 在讨论搜索计划时，将 x 限制在 $-3\sigma_{CC}$ 到 $3\sigma_{CC}$ 中。

（四）确定初始PDF：矩形搜索区域

- Colorado-Boulder大学参赛队假设从 $y = A$ 到 $y = B$ 的每一点都是相同的，假设在 x 方向上的概率分布为正态分布，由于搜索区域为 $x = -R$ 到 $x = R$ ，根据 3σ 准则，有99.7%的数据在平均值的政府三个标准偏差以内，因此概率密度方程变为：

$$p(x, y) = \frac{1}{D\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-x^2}{2\sigma_{UCB}^2}},$$

此处有误

（五）搜索可能性

- 使用贝叶斯准则进行搜索的一个要求是将搜索区域分为若干个小区域，每个区域都有一架飞机在搜索，并且需要知道如果残骸在这个区域，能够被找到的概率。我们假设飞机在每个方向的探测距离为 d ，若残骸碎片在这个距离内，那么飞机能找到它的概率为 β 。
- 根据文献[32]，如果飞机的速度为 v ，飞行时间为 t ，则任意搜索区域 A 的一个地区，找到目标物的概率是（假设目标确实在这个区域）

$$1 - \exp(-2d\beta vt/A)$$

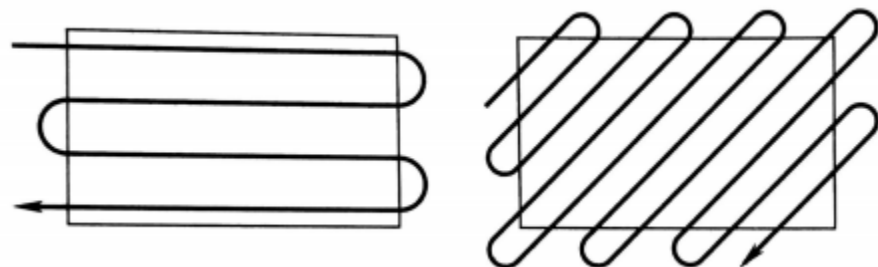
Koopman公式，意义和局限性？

（六）搜索策略

- 有些参赛队伍建立的模型要求整个区域都被均匀搜索。这一想法为什么在操作上不是最好的。
 - 这一设想从理论上是非常完美的，但是需要足够数量的飞机在相当短的时间内覆盖整个地区，实际操作难度非常大。实际上，有些区域之前被搜索过，仍要继续搜索，有些地区的搜索程度应该更加彻底，PDF就是考虑了残骸分布概率，帮助帮助我们确定哪些区域应该被优先搜索，哪些区域应该搜索更彻底

(六) 搜索策略

- 贝叶斯准则要求将搜索区域划分为多个小区域，使得在短时间内能够被覆盖。由于贝叶斯准则需要根据离散搜索进度对PDF进行修正。最简单的方法是将区域划分为大小合理的矩形。Colorado-Boulder大学参赛队将搜索区域划分为若干个1平方英里的正方形，Colorado大学参赛队将搜索区域划分为边长为飞机行驶30分钟长度的矩形。
- Koopman公式表明，确切地按照矩形进行搜索并不重要，重要的是飞机行驶的穿越距离 vt 。有些队伍讨论多种以最小的穿越距离覆盖搜索矩形的搜索模式，有的沿纵长反复飞行，有的是更加斜对地飞行，甚至有的是螺旋转出。



（六）搜索策略

- 大部分参赛队都证明了往返搜索矩形的长边行是较好的选择，有些队伍通过仿真证明了这种方法的可行性以及如何完全覆盖这个区域。
- 清华大学参赛队假定有许多不同类型的飞机参与搜索，他们根据飞机的效率对飞机进行排序，并安排效率高的飞机搜索概率大的区域。
- Colorado大学参赛队假定只有一架飞机去搜索这片地区。根据他们的模型，飞机搜索最大概率的区域，如果没有找到，则根据贝叶斯法则进行调整。

（六）搜索策略：搜索时间

- 除了确定飞机的位置之外，还可以考虑搜索时间。Colorado大学的一支参赛队讨论了在不同的搜索阶段中，找到飞机所需要的时间。
- 他们的搜索区域是矩形，先验PDF在 y 方向是均匀分布，在 x 方向是正态分布。在他们的搜索模型中，要么随即搜索，要么平行于 y 方向搜索，搜索宽度为 $2d$ 。
- 从最简单的情况开始，即如果碎片在这个区域，就一定能找得到（ $\beta = 1$ ），他们按照下列各种搜索方法进行模拟，均模拟了100次。

(六) 搜索策略：搜索时间

| 搜索可能性 | 搜索路径 | 平均用时 | 被找到频率 | 95%置信区间 |
|---------------|------------------------|-------|---------|---------------|
| $\beta = 1$ | 随机搜索 | 42.7h | 500/500 | [33.2h,52.2h] |
| $\beta = 1$ | 从左开始平行搜索 | 7.1h | 500/500 | [6.6h,7.6h] |
| $\beta = 1$ | 从航线开始平行搜索 | 3.6h | 500/500 | [3.0h,4.2h] |
| $\beta = 0.8$ | 从航线开始平行搜索 | 4.7h | 399/500 | [4.4h,5.5h] |
| $\beta = 0.8$ | 从航线开始平行搜索 并用贝叶斯法则调整 | 6.2h | 475/500 | [5.6h,6.7h] |

四、灵敏度分析

- 清华大学：调整飞行动力学和反向追踪的权重
- Colorado-Boulder大学：调整 β 的大小
- 总体而言，模型是鲁棒的

五、优缺点分析

优点

- 大部分特等奖论文都参考了成功寻找AF447所使用的方法和模型。
- 模型只需要少量的信息
- 模型结果成功的可能性很高（用仿真来模拟）
- 模型是鲁棒的

不足

- 飞机的滑行距离只是近似值。在滑行率等于升降比时，失去动力的飞机滑行的距离实际上比我们计算出来的距离更远
- 洋流没有被纳入考虑范围。只有很少的参赛队伍考虑到飞机残骸漂浮物会随着洋流移动
- 有些参数无法得到精确的值，比如偏离概率 β
- 在应用于一些实例时，需要搜索的地区可能会偏大

六、评论

- 并不是每个参赛队都将贝叶斯法则用于他们的模型中。Bethel大学参赛队通过讨论多种搜寻方法，确定了一个随洋流移动的搜索区域，并且预测出了寻找到失踪飞机所需时间，他们将整个地区作为一个单元进行搜索，而不是集中注意力于失踪飞机有可能存在的部分地区。
- Bethel大学参赛队按天来计数寻找失踪飞机所需时间，Colorado-Boulder参赛队则按小时进行了讨论。
- 许多特等奖论文的模型结合了不同形式的贝叶斯法则，但这些队伍并未以相似的前期PDF或相似的搜索区域作为终结。这符合我们的预期结果。如同Lawrence Stone所写:设计目标位置的概率分布更像是艺术，而不是科学

七、原文及个人感想

- 低水平论文看格式，高水平论文看内涵
 - 格式上的优势仅在初评和前几轮复评中有效，在后几轮复评中几乎不太重要
 - 对我们而言，提高内涵，和优化格式，哪个更容易速成

7 Allocation Model

Taking all data available as well as associated uncertainties into consideration, we have formed an analytic prediction of the debris distribution for next increment of search effort. Then, we are scheduled to deal with the allocation of search forces in this subsection.

On the foundation of Quicksort algorithm and branch-and-bound algorithm, our goal is to develop a method matching search planes with search cells.

7.1 Review on Algorithms

Quicksort is a sorting algorithm with the time complexity of $O(n \lg n)$. It is an efficient divide and conquer algorithm, rearranging an array in ascending or descending order by recursive partition.

Branch-and-bound algorithm is a widely used algorithm for solving large scale NP -hard combinatorial optimization problems [14]. For a maximization problem, the key idea of the branch-and-bound algorithm is:

- The maximum lower bound seen among all candidates examined so far are recorded.
- If the upper bound for certain set of candidates (A) is smaller than the upper bound for some other set (B), then A may be safely discarded from the search.
- The recursion stops when the current candidate set S increases to a single element, or when the upper bound for set S matches the lower bound. Either way, any element of S will be a maximum of the function within S. [15]

7.2 Allocation of Search Planes

We implement the task of allocating planes to certain search cells with the following steps:

- Match planes with search areas. Rank the search areas based on updated PDF applying the Quicksort Algorithm in descending order. Meanwhile, rank the available search aircrafts based on their search capability also in descending order. Thus, search cells with larger PDFs will be allocated to better with a higher priority, which helps us to find a better solution earlier, instead of wasting time on inferior ones.

- Optimize the allocating plan. Compute the cumulative probability of detection which is the sum of probabilities at each point and make it the objective function. Apply the branch-and-bound algorithm to fulfill the maximization task.

Take the water surface search as an example. The accessible search aircrafts are generally classified as of better detection capability and of minor detection capability. Figure 10 is depicted to show the allocation plan. (In the upper left corner, the larger rectangle accords with the better planes.)

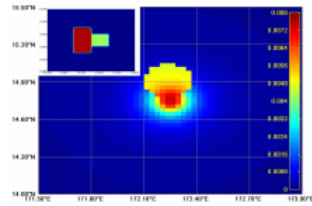


Figure 10: Allocation Plan of the Search Aircrafts

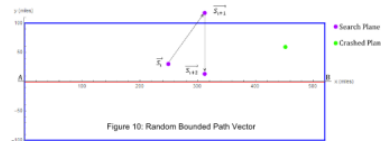
8 Applying of Model

As is described before, the previous model is concerned about the entire process of searching for a disappeared plane. In the former part of this section, we apply our model to the case of AF447, evaluating and analyzing the performance. Then, we propose a possible search plan for the further detection of MH370 on the basis of our model and accessible data.

8.1 Application on AF447

As is described before, the previous model is concerned about the entire process of searching for a disappeared plane. In the former part of this section,

This redirection method is illustrated below:



A sample simulation:

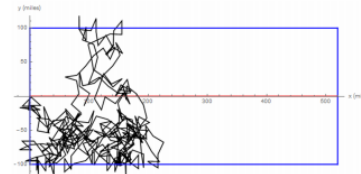


Figure 11: Example Bounded Random Flight Path

Figure 11 shows a typical solution as it moves according to the bounded random flight path. Although the search plane does have some overlap in its path, this is a vast improvement from the random search method and we can accurately provide statistical data collected from our simulations.

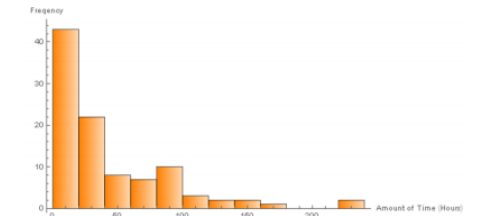
Simulation Data:

This solution was able to complete 100 simulations; the data is listed below. These data describe the amount of time it took each of the simulated planes to find the crashed plane using this solution:

Number of trials = 100
Median = 24.425 hours

Mean = 42.7105 hours
Standard deviation = 47.3783 hours
Standard error = 4.73783 hours
95% Confidence interval about the mean: [33.2348, 52.1862] hours

The distribution within the sample is plotted in the following histogram:



Conclusion:

The most important of the data above is the 95% confidence interval, which says that the mean time required of a sample of 100 simulations has a 95% chance of falling between 33.2 and 52.2 hours. The difference between the mean (42.7 hours) and the median (24.4 hours) demonstrate the heavy skew within the sample distribution. This skew is visible in the histogram, where a few exceptionally long searches drag out the mean search time. The positive skew reflects well on the model, because most simulations require a low amount of time, with only some outliers that drag out the mean; however, it also has negative implications, because the solution is ineffective at locating some planes.

This solution is crucial, because it establishes a baseline with which to compare other solutions. Ideally, more sophisticated solutions should have a lower average time than this solution.

七、原文及个人感想

- 学习中的粗与细
 - 核心的基础模型，对里面的细节要搞懂
 - 获奖论文不是完美的，有些地方难以一探究竟
- 一定要多读原文，读得越多，写法和布局上才越洒脱
- 具体的建模和求解，与MH370一点关系都没有