

# Project2

王铎磊、袁文璐、赵钊

2023 年 3 月 28 日

## 1 数据清洗与选取

从网络上查询到的数据中，包含了 timestamp（时间戳）、seconds before last contact（失联时间）、lat、lng、altitude（海拔）、speed（速度）、vs（vertical speed，垂直速度）、heading（机头朝向）、squawk（飞机应答机编码）、no-position（定点模式/位置模式）、track（接地点距离）、fpm（飞行速度）、x、y、AOA（飞机运营区）

该分析主要是对飞机运动状态的分析，因此 timestamp、lat、lng、squawk、no-position、x、y、AOA 与飞机运动状态关联较小，不会被选取。在剩余的数据中，选取 seconds before last contact、altitude、speed、heading、track 作为研究数据。

对数据进行筛选和清洗，为以下进行分析做准备。

## 2 拟合

### 2.1 拟合假设

1. 假设坠机时的海拔高度是 0（实际上接近海平面高度）
2. 拟合我们关注的是函数的尾部也就是坠机时刻附近的性质，因此拟合的函数头部的敛散性不作为拟合优度评估的参考指标

### 2.2 时间-高度拟合

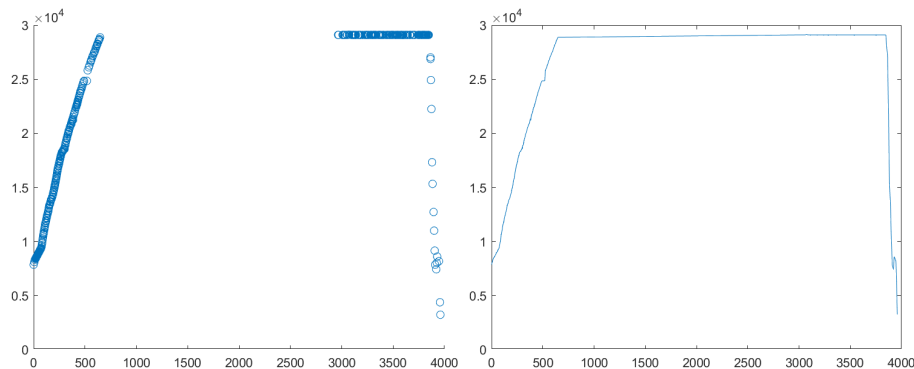


图 1: 原始数据

观察原始数据发现，原始数据的图线具有明显的分段性，不易拟合，因此我们选取末尾坠机的数据进行多项式拟合。

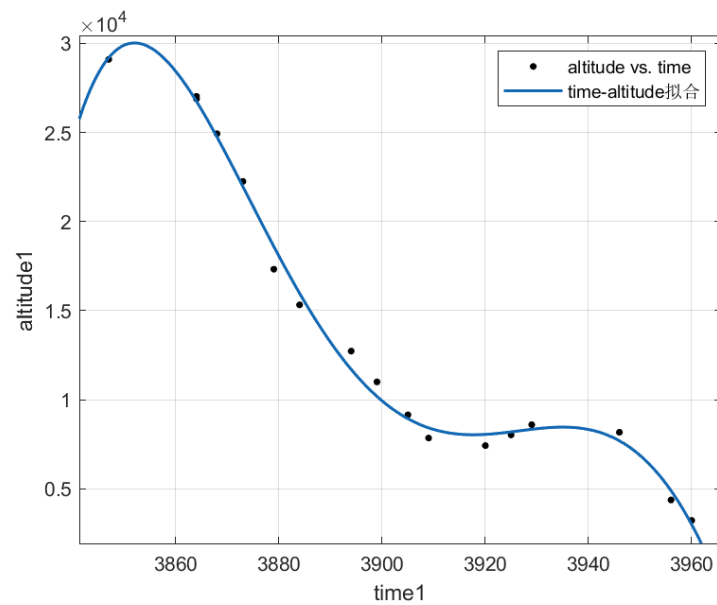


图 2: 时间-高度拟合

得到的拟合效果较好的多项式为 4 次多项式

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5$$

其中

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$-1.088 \times 10^{13}$	$1.382 \times 10^{10}$	$-7.025 \times 10^6$	1785	-0.2267	$1.152 \times 10^{-5}$

表 1: 多项式系数

该拟合的  $R^2 = 0.9954$ . 并且  $f(x) = 0$  时,  $x = 3964$

## 2.3 时间-速度拟合

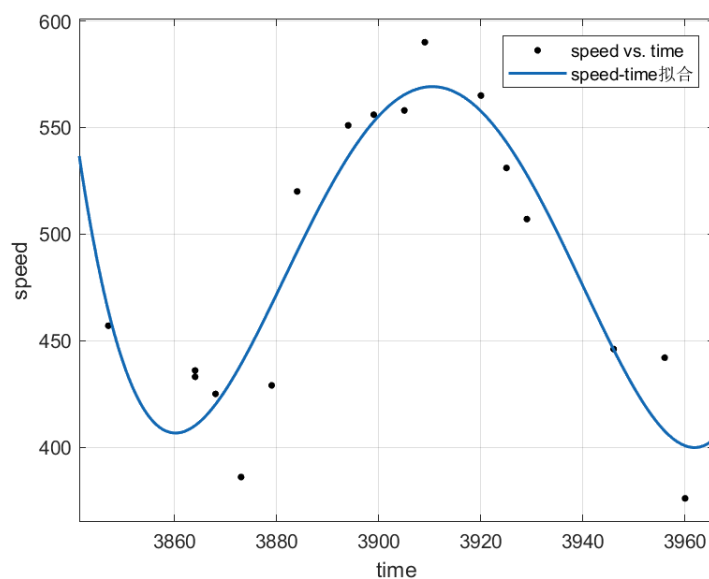


图 3: 时间-速度 5 次多项式拟合

运用 5 次多项式进行拟合发现，其尾部并不收敛，所以增加 1 次至偶数最高次项。

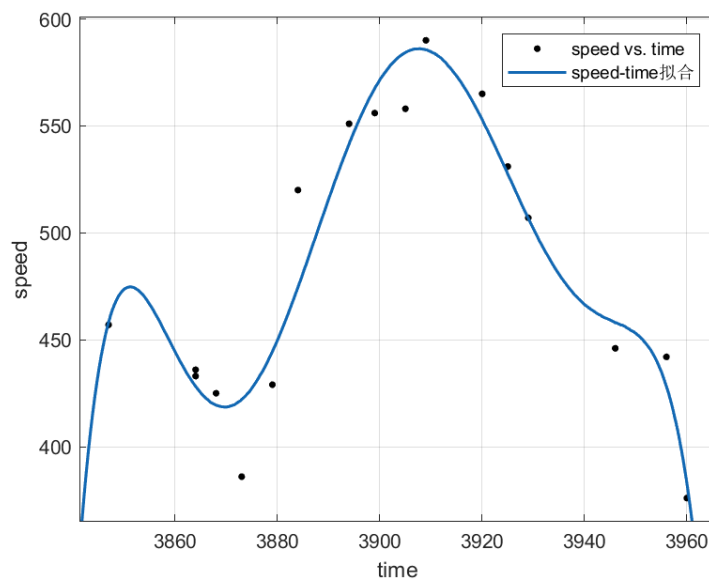


图 4: 时间-速度 6 次多项式拟合

得到的多项式为

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 + a_6x^6$$

其中

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$
$-8.958 \times 10^{13}$	$1.377 \times 10^{11}$	$-8.816 \times 10^7$	$3.011 \times 10^4$	$-5.784$	$5.926 \times 10^{-4}$	$-2.53 \times 10^{-8}$

表 2: 多项式系数

拟合的  $R^2 = 0.9293$ , 当  $x = 3964$  时, 飞机速度为 305

## 2.4 时间-方向拟合

观察到方向变化趋向于震荡的过程, 因此采取傅里叶拟合。

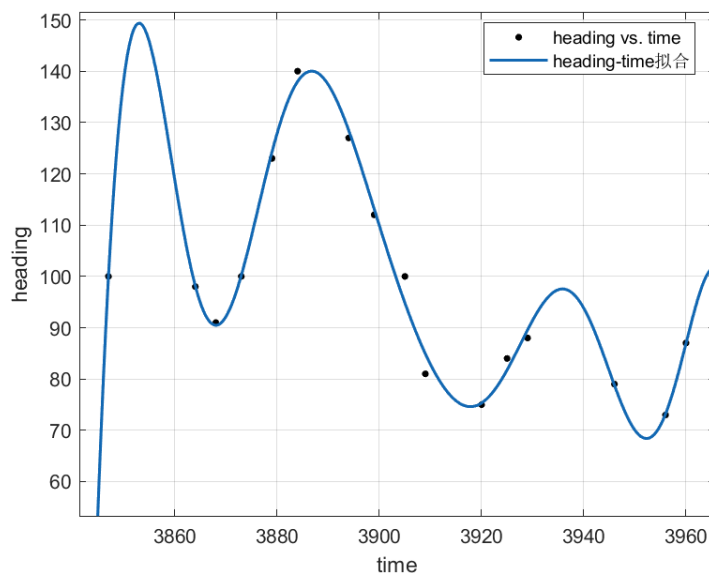


图 5: 5 次傅里叶拟合

拟合的函数形式为

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^5 (a_n \cos(n\omega x) + b_n \sin(n\omega x))$$

系数为

n	0	1	2	3	4	5
$a_n$	-63.45	223.8	-54.73	-80.21	90.72	-26.97
$b_n$		-207.5	242.6	-146.8	48.99	4.452

表 3: 傅里叶系数

其中  $\omega = 0.03518$

拟合优度  $R^2 = 0.9896$ , 且  $x = 3964$  时,  $f(x) = 100$

## 2.5 时间-目的地距离分析

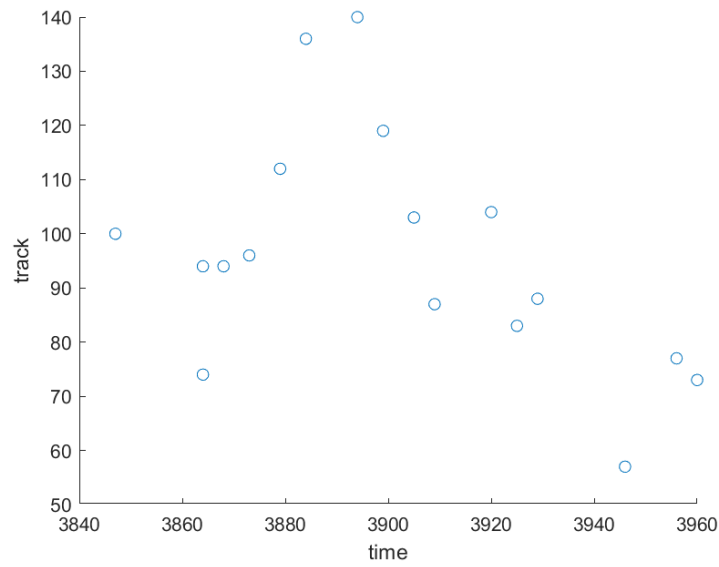


图 6: 5 次傅里叶拟合

飞机随时间变化与目的地距离的变化应该为一个连续的函数，但从散点图上观察，发现点的发散程度较大。推测可能是飞机在即将坠机时信号和讯息及其不稳定导致数据不准确，因此不对时间-目的地距离进行拟合分析。

## 3 坠机原因分析

### 3.1 机械故障

水平尾翼脱落：故障一开始会导致直接大头冲下，随着速度提高，飞机出现了抬头力矩，有一段时间抬起来越过了天地线，后因为速度下降，再次下沉直到坠毁，这可以解释 CES5735 的飞行轨迹以及航向。

### 3.2 人为因素

方向舵故障导致左满舵：模拟波音 737 祖传的 PCU 故障后的飞机行为，会导致飞机不可控，老故障了，航材上都有相应的解决方式的，如果飞行员没有意识到是方向舵故障，那就有可能处置不当，在高速情况下尾舵的舵面效应会变差，这就能解释为什么飞机有 30-40 秒的可控时间，进而又进入俯冲。