问题的研究背景

21 世纪初，以美国为代表的一些军事强国开始研发无人机载武器，且发展较为快速。无人机载武器主要有空地导弹、空空导弹、制导炸弹、火箭弹等，其中空地导弹用途较为广泛。在武器测试阶段需要对导弹的飞行速度、飞行姿态的估计，其中飞行速度的估计是针对导弹从发射到接近目标的过程进行实时估计。飞行姿态主要是针对导弹即将击中目标前的俯仰角，偏航角以及滚动角的估计。

图 1.1

我国在无人机载武器起步较晚，发展空间较大。目前基于视觉的导弹飞行参数估计主要有三种：单目视觉、双目视觉以及深度视觉。基于双目视觉虽然提高了精度但是每次都要进行校准，在实际应用中时间损耗太大，深度相机不适合在室外场景中的应用，所以基于单目视觉的飞行速度估计更加实用。

在实际的问题研究中，我们可以先针对无人机的飞行参数进行估计，代替实际飞行的导弹目标。首先进行无人机的飞行速度的估计，本文也只介绍速度估计的部分。我用的是大疆 M100 系列无人机，实验场地在刘长春前面的大草原。摄像机放在三脚架上距离地面 1.2m，摄像机的仰角为 20°。编程用 matlab2014a，计算机 4G 内存。

图 1.2

问题分析

通过分析我们不难发现，摄像机镜头中心扫过的直线形成的其实是一个锥面，无人机飞行时间有限，所以我们可以把这个曲面近似看成一个平面去做进一步的研究。

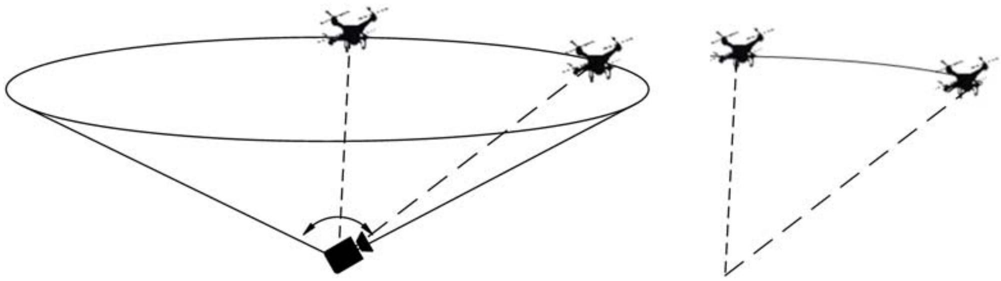

图 2.1

通过展开曲面，我们可以得到一个近似的三角形。其中 O 点是摄像机的位置，A 点为无人机的起始飞行点，B 点是无人机的终止飞行点，P 点是中间任意时刻的点。

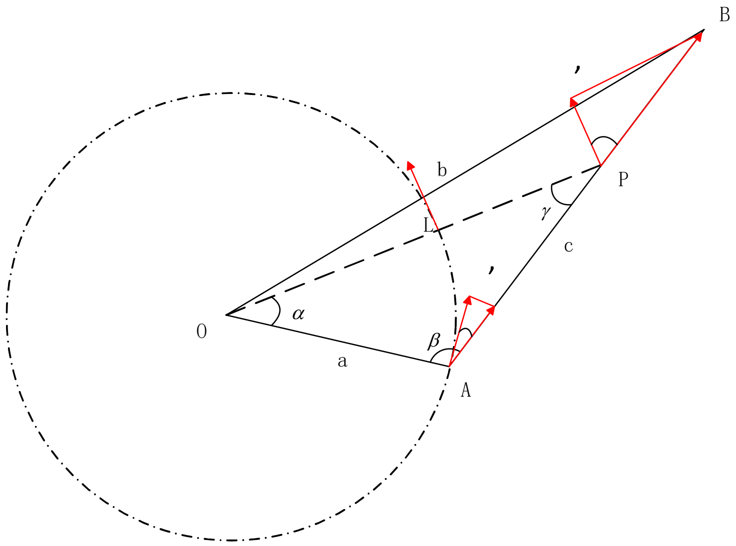

图 2.2

我们在实验场地实地测的三个边的边长，假设 A 点有一动点，随着摄像机的转动沿着圆 O 进行运动，它的速度为v_0'，而此刻的无人机速度为v_0。φ_0是v_0'和v_0的夹角。同理 P 点处的v_1'和φ_1以及v_1。

飞行速度的估计

为了研究问题方便，我们首先假设，摄像机的拍摄是匀速的。所谓匀速就是指α随时间的变化量一定，用时一定的时候角速度便已知。假设时间为 T，对于任意时刻 t 则有：
t=0 存在：

$$\overline{\omega}=\frac{\theta}{T} \tag{3.1}$$

$$\varphi_0 = \beta - \frac{\pi}{2} \tag{3.2}$$

$$v_0 = \frac{v_0'}{\sin\varphi_0} \tag{3.3}$$

$$v_0' = \overline{\omega} \cdot \mathrm{a} \tag{3.4}$$

任意 t 时刻：

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} - \gamma \tag{3.5}$$

$$\alpha = \overline{\omega} t \tag{3.6}$$

$$\gamma = \pi - \alpha - \beta \tag{3.7}$$

$$L = \frac{\mathrm{a} \cdot \sin\beta}{\sin\gamma} \tag{3.8}$$

进而求得v_1, v_1'：

$$v_1' = \overline{\omega} \cdot \mathrm{L} = \overline{\omega} \cdot \frac{\mathrm{a} \cdot \sin\beta}{\sin\gamma} = \overline{\omega} \cdot \frac{\mathrm{a} \cdot \sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)} \tag{3.9}$$

$$v_1 = \frac{v_1'}{\cos\varphi_1} = \overline{\omega} \cdot \frac{\mathrm{a} \cdot \sin\beta}{\sin^2(\alpha+\beta)} \tag{3.10}$$

把$\alpha = \overline{\omega} t$代入整理得：

$$v_1' = \overline{\omega} \cdot \frac{\mathrm{a} \cdot \sin\beta}{\sin(\overline{\omega} t+\beta)} \tag{3.11}$$

$$v_1 = \overline{\omega} \cdot \frac{\mathrm{a} \cdot \sin\beta}{\sin^2(\overline{\omega} t+\beta)} \tag{3.12}$$

以上的推导都是基于摄像机的旋转的角速度是不变的，当角速度随着时间变化时，我们假设 L 和 a 的夹角随时间有一定的关系，即$\Phi(\mathrm{t})$。

摄像机旋转角速度的估计

所以接下来的问题就是如何去得到$\Phi(\mathrm{t})$。通过建立仿真模型，我们尝试得到$\Phi(\mathrm{t})$的数学模型。

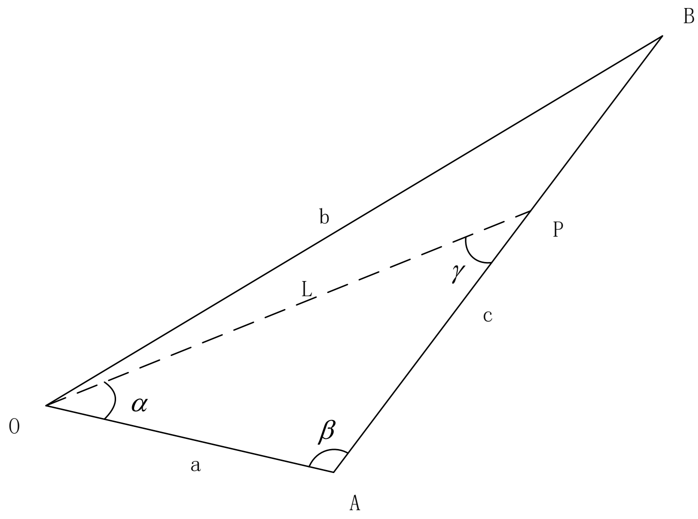

图 4.1

在这个模型中，我们使 P 点实时运动，我们去观测 α 值的变化，得到 $\Phi(\mathrm{t})$ 的仿真数据，它的形状更像饱和模型。

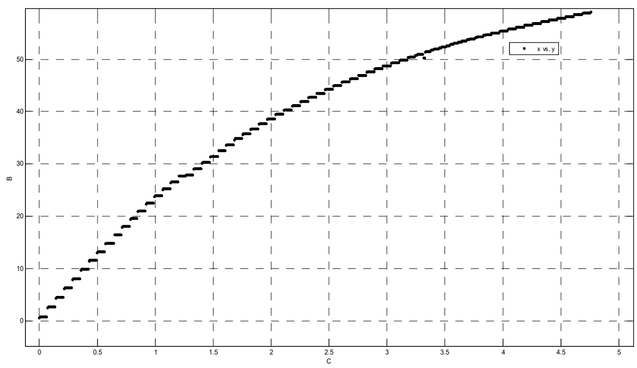

图 4.2

在研究的过程中，我研究了很多饱和函数的模型，有 $y=\dfrac{a}{1+e^{bx+c}}$ 类型的，它得到的结果是：

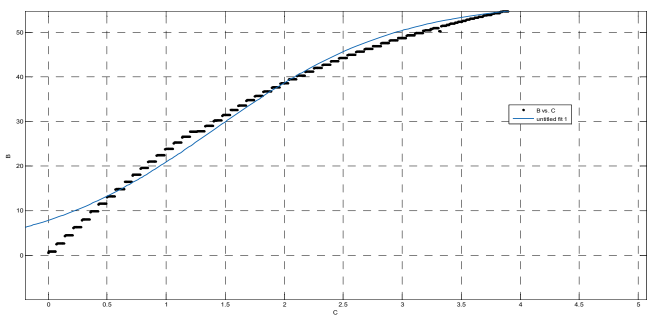

图 4.3

可以看到在原点附近，函数模型和数据偏差非常大，后来我又想到了 $y=a\sqrt[b]{x}+c$ 模型，它的拟合结果是：

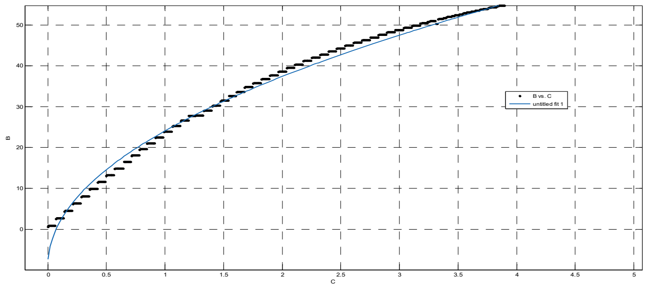

图 4.4

可以看到这个拟合结果除了几个点，基本上都不在拟合曲线上，所以我想到了将两个模型放在一起，即 $y=\dfrac{a}{1+e^{bx+c}}+d\sqrt[e]{x}+f$ ，它的结果是这样的：

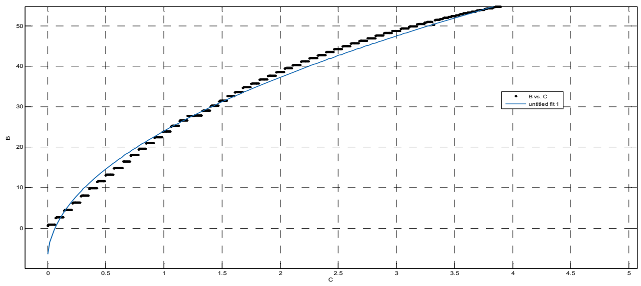

图 4.5

可以明显的看到，偏差非常大。我想到了非常好用的多项式函数，$y=ax^3+bx^2+cx+d$ 它的结果是这样的：

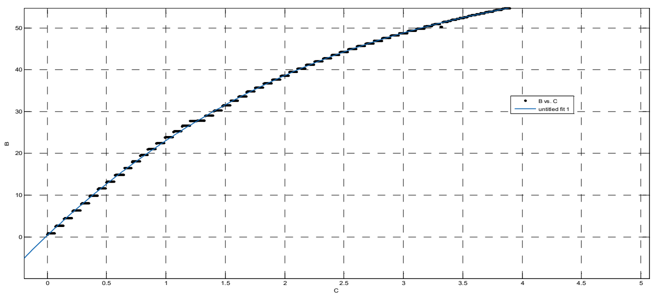

图 4.6

虽然拟合的结果非常好，但是实际上，并不符合实际问题，因为多项式函数的极限是无穷大，而我要拟合的函数是一个饱和的模样，后来看到了一个这样的模型，$y=a+\dfrac{b}{x+c}$ 它的拟合结果如下：

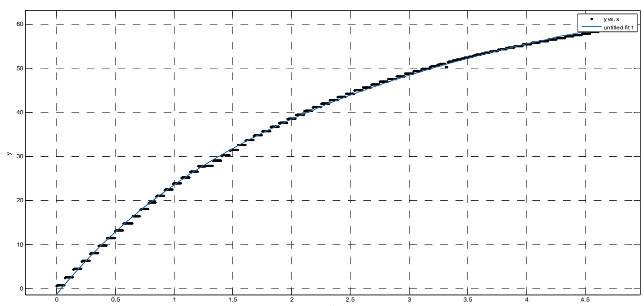

图 4.6

这个结果非常好，经过拟合后，结果为$y=98.29+\dfrac{-300.3}{x+3.017}$到此为止，我们已经得到$\Phi(\mathrm{t})$的函数模型。

无人机目标跟踪

以上的推理都是基于摄像机拍摄镜头中心与无人机中心重合，也就是摄像头完美跟踪无人机。

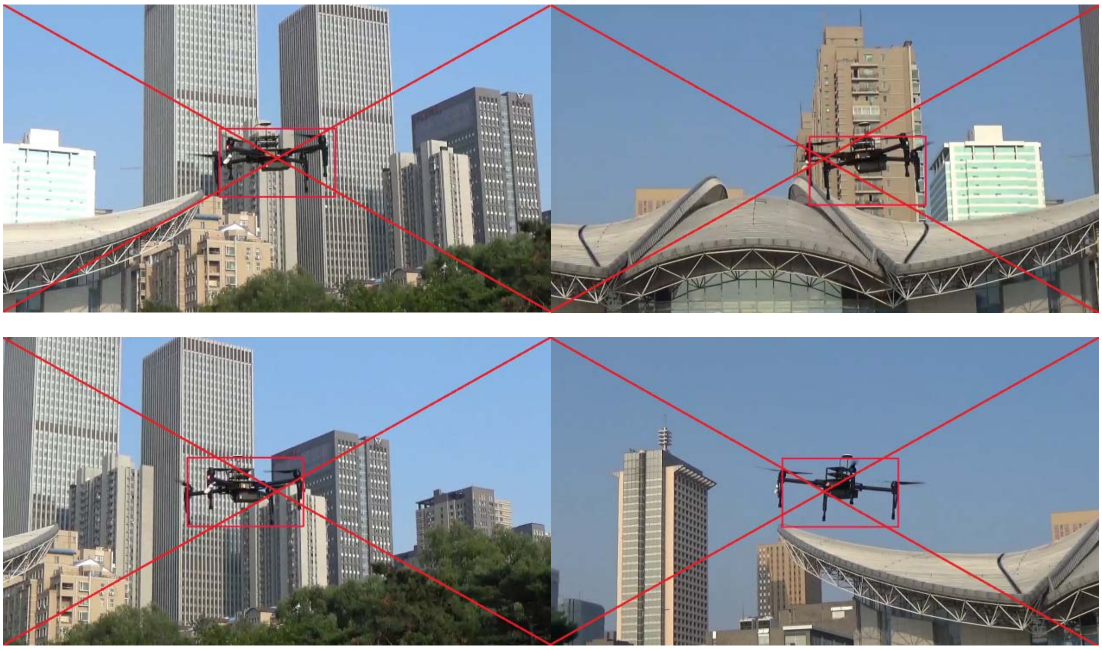

图 5.1

可以看到我们拍摄的无人机并没有完全跟踪到无人机，也就是说，镜头中心没有完全和无人机中心重合。也就是说，我们之前推导的公式中的α角是不准确的，无人机中心和镜头中心有偏差。

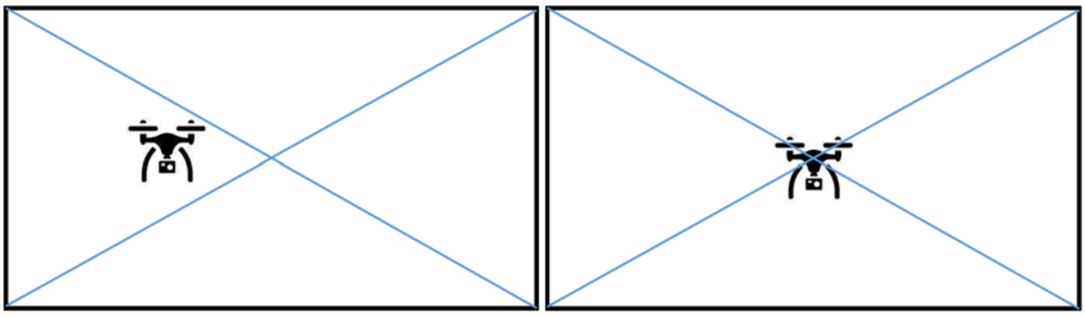

图 5.2

现在的问题是怎么将这个偏差求得，我们的摄像机的视角为 45°，所以我们可以考虑到我们采用的摄像机的视角，我们可以通过偏移量去计算无人机偏差的角度，准确的说是横向和纵向的两个方向，但是为了简化理解与计算，此次汇报展示只进行了横向偏移的计算，纵向的先不考虑。

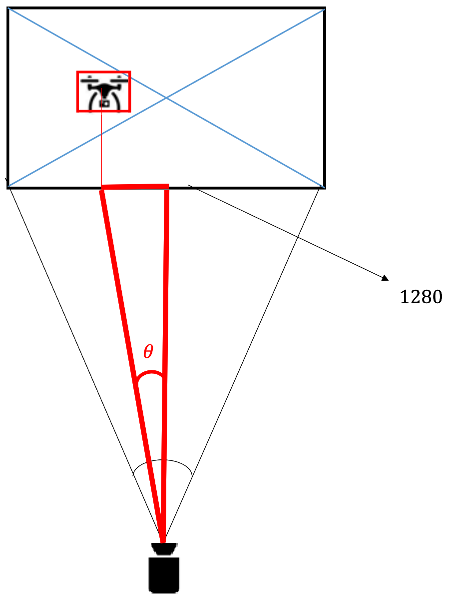

图 5.3

由上面的图可以知道，我们可以求得：

$$\tan\theta = \frac{x}{1545.1}$$

$$\theta = arc\tan\frac{x}{1545.1}$$

综上，我们将所有的问题都解决了。

结论与展望

将所有已知代入得到无人机的速度曲线

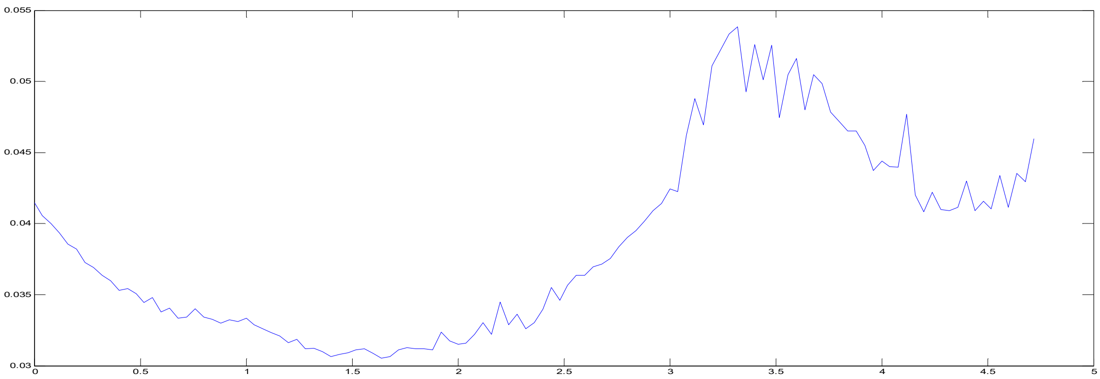

图 5.4

对上结果求数值积分，Path = 11.5739 m 原拍摄位移为 10.4 m 存在一定误差。未来的工作可以考虑以下三个方面：

1. 求无人机中心与相机镜头中心只考虑横向偏移，可以将纵向偏移考虑进去。
2. 无人机的目标跟踪可以进行优化使之更准确。

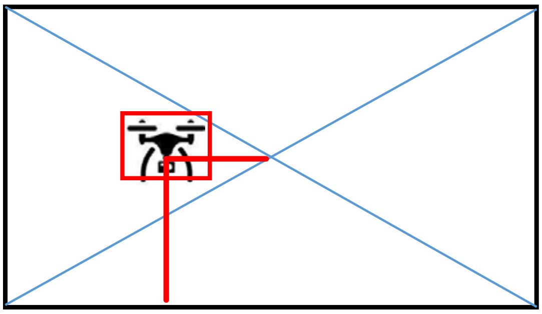

图 5.5

3. 可以考虑将场景识别和地理信息系统考虑进去。

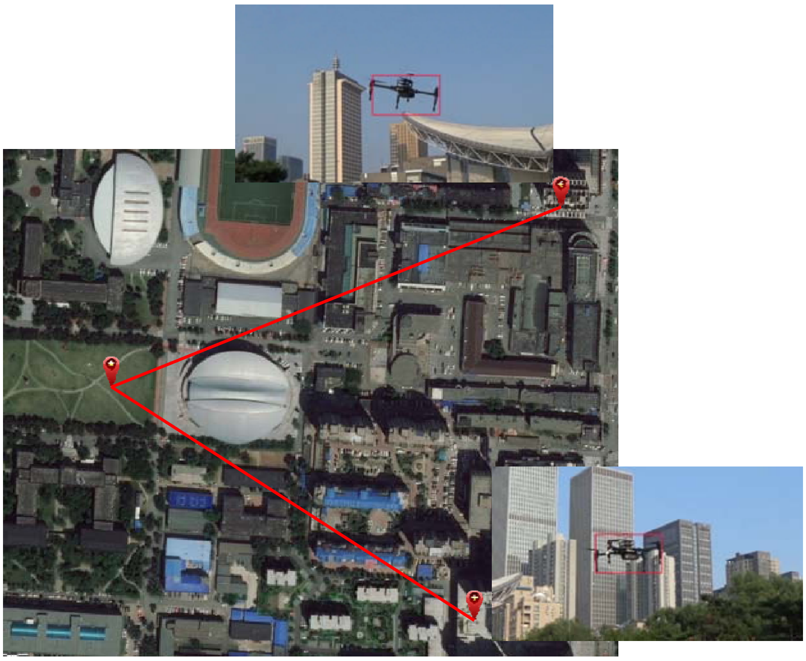

图 5.6