

# PX4&Ardupilot Position Controller



Beijing Institute of Technology

School of Aerospace Engineering

Zhou Yu

# 目录

---

## □ L1 Navigation

- A New Nonlinear Guidance Logic for Trajectory Tracking
- L1 Navigation in PX4&Ardupilot

## □ Total Energy Control System

## □ MATLAB Toolbox for Position Control

# L1 Navigation

## A New **Nonlinear** Guidance Logic for Trajectory Tracking

### ➤ The New Guidance Logic

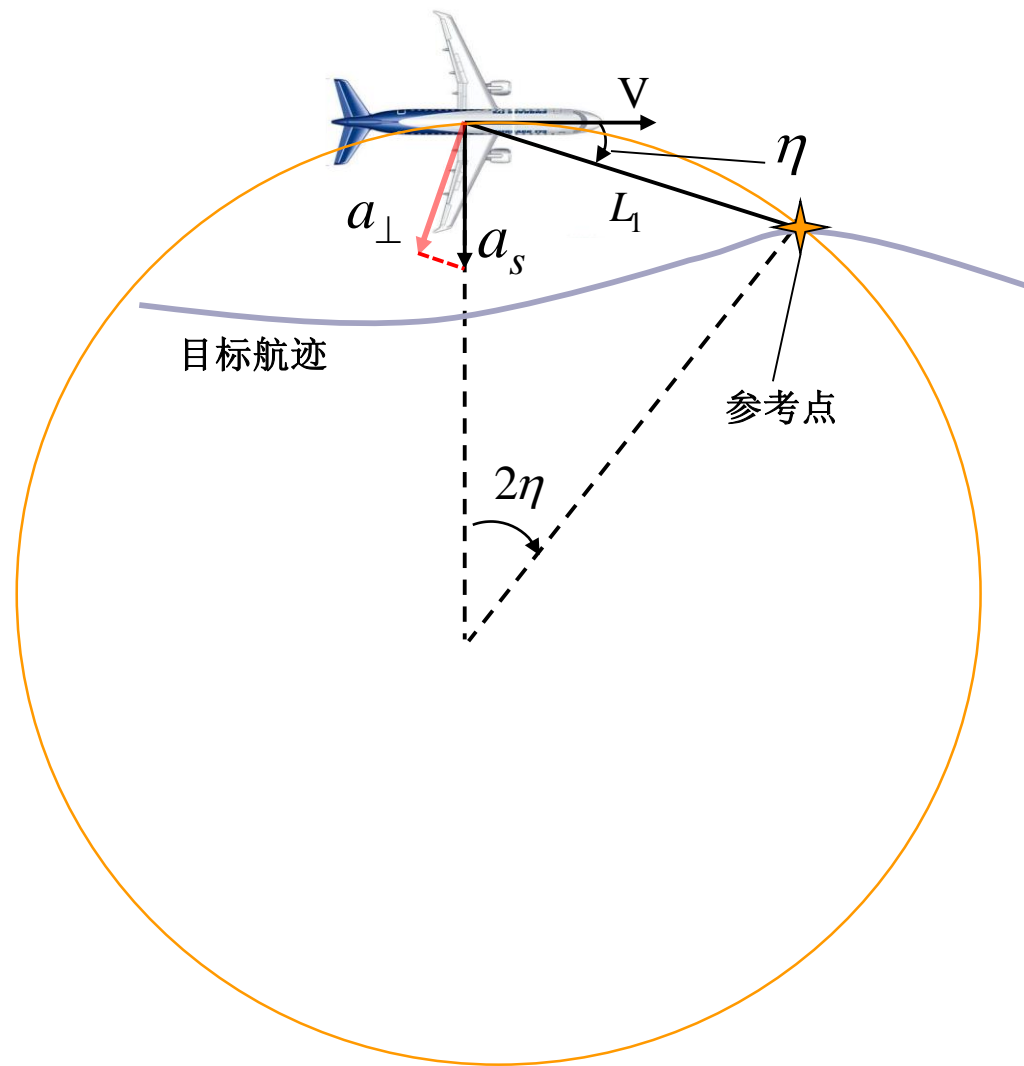
$$a_s = 2 \frac{V^2}{L_1} \sin(\eta)$$

### ➤ Relation to Proportional Navigation Guidance Laws

广义的比例导引法导引关系为需用法向过载与目标线旋转角速度成比例

$$a_{\perp} = 2 \frac{V^2}{L_1} \sin \eta \cos \eta = 2(V \cos \eta) \left( \frac{V}{L_1} \cos \eta \right)$$

一个典型的比例导引法结构，不过两种导引方式不同的是L1导引方案中由于L1距离不变所以飞行器与目标的接近速度为零



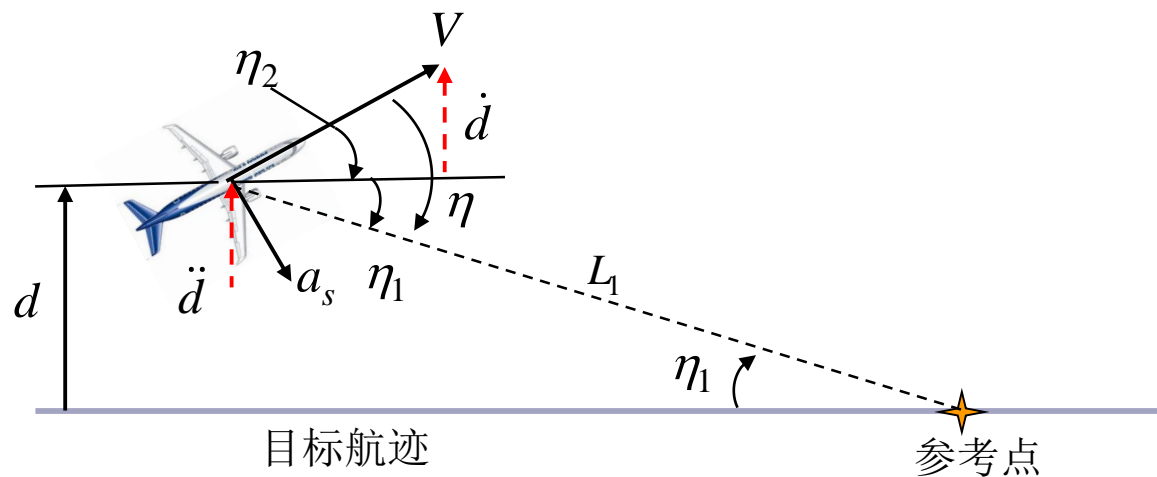
# L1 Navigation

## A New **Nonlinear** Guidance Logic for Trajectory Tracking

### ➤ Linear Analysis

作用：通过对三种典型路径下的导引方案线性化来确定L1距离

#### I. 直线路径



$$\sin \eta \approx \eta = \eta_1 + \eta_2 \rightarrow \eta_1 \approx \frac{d}{L_1}, \eta_2 \approx \frac{\dot{d}}{V} \rightarrow a_s = 2 \frac{V^2}{L_1} \sin(\eta) = 2 \frac{V^2}{L_1} \left( \frac{d}{L_1} + \frac{\dot{d}}{V} \right)$$

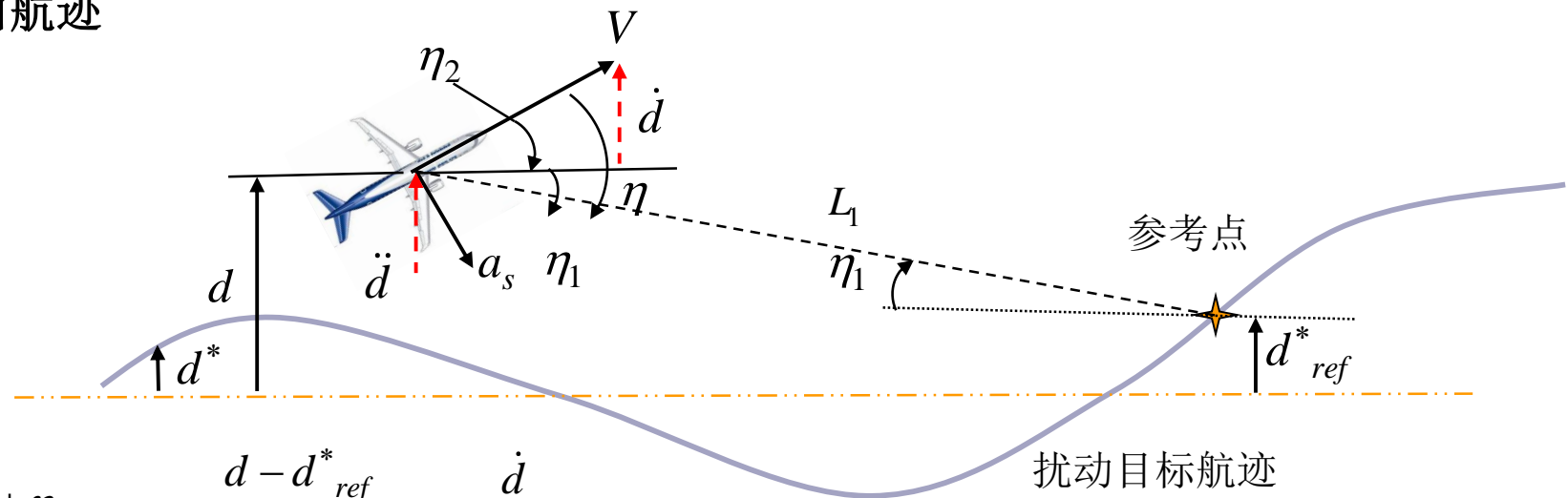
忽略内回路（姿态回路）动力学

$$a_s \approx -\ddot{d} \rightarrow \ddot{d} + 2 \frac{V^2}{L_1} \left( \frac{\dot{d}}{V} + \frac{d}{L_1} \right) = 0 \xrightarrow{\text{拉式变换}} \begin{cases} \ddot{d} + 2\xi\omega_n\dot{d} + \omega_n^2 d = 0 \\ \xi = 1/\sqrt{2}, \omega_n = \sqrt{2}V/L_1 \end{cases} \quad \text{阻尼自由运动}$$

# L1 Navigation

## A New **Nonlinear** Guidance Logic for Trajectory Tracking

### II. 扰动弯曲航迹



$$\sin \eta \approx \eta = \eta_1 + \eta_2 \quad \eta_1 \approx \frac{d - d_{ref}^*}{L_1}, \eta_2 \approx \frac{\dot{d}}{V}$$

$$a_s \approx -\ddot{d} \rightarrow \ddot{d} + 2\frac{V}{L_1}\dot{d} + \frac{(\sqrt{2}V)^2}{L_1^2}d = \frac{(\sqrt{2}V)^2}{L_1^2}d_{ref}^*$$

受迫阻尼运动

传递函数  $\rightarrow$

$$\frac{d(s)}{d_{ref}^*(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}, \zeta = \frac{1}{\sqrt{2}}, \omega_n = \frac{\sqrt{2}V}{L_1}$$

欠阻尼二阶系统

# L1 Navigation

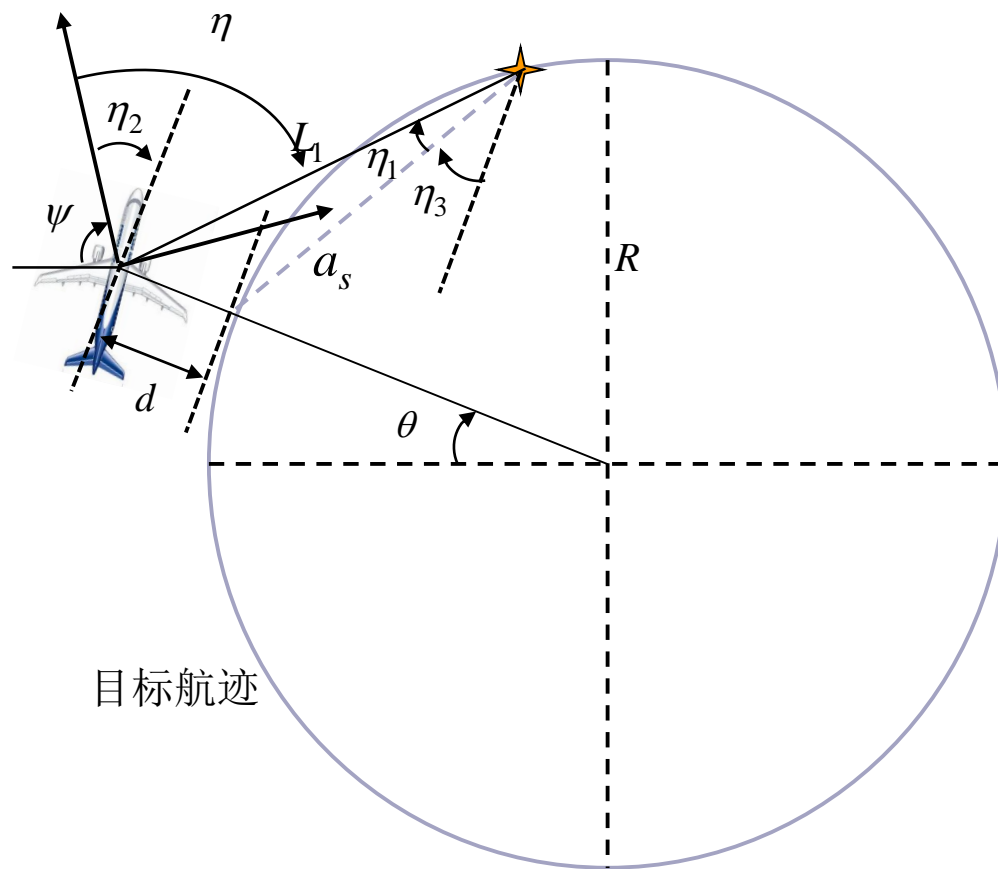
## A New **Nonlinear** Guidance Logic for Trajectory Tracking

### III、圆周航迹

$$\begin{cases} \ddot{d} + 2\xi\omega_n\dot{d} + \omega_n^2 d = 0 \\ \xi = 1/\sqrt{2}, \omega_n = \sqrt{2}Vc/L_1 \end{cases}$$

$$c \equiv \sin \eta_3$$

阻尼自由运动



# L1 Navigation

## A New **Nonlinear** Guidance Logic for Trajectory Tracking

---

### □ L1制导的优点

- 调试简单

相对于横向PID制导方案，L1制导只有L1距离这么一个参数，减小了航迹回路参数调试的难度

- 抗干扰能力强

在测风干扰情况下跟踪精度更高

- 可扩展能力强

对于跟随、避障、定航线飞行，只需要自行另外建立一个L1距离的函数即可。

### □ L1制导的步骤

- 在目标航迹上计算参考点

- 计算期望的横向加速度

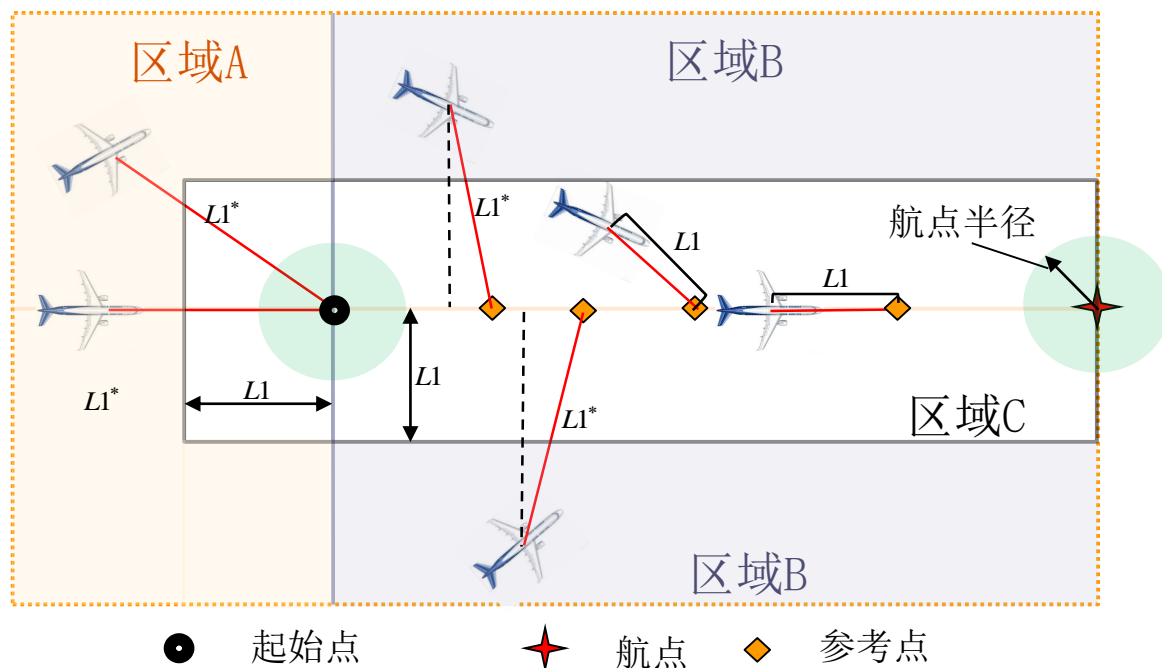
# L1 Navigation

## L1 navigation in PX4&ArduPilot

### ■ 参考点的选取方法

当飞行器位于区域A和区域B时，飞行器与参考点的接近速度不为零，在区域C中由于L1距离的存在接近速度为零。

每个航点都有一个航点半径，即飞行器与航点的距离小于航点半径时就认为飞行器已到达该航点。



	区域A	区域B	区域C
描述	进入第一个航迹点前，无需要跟踪的航迹，且飞行器与初始点距离大于L1距离	跟踪两个航点间的直线航迹，飞行器与航迹的垂直距离大于L1距离	飞行器与航迹的垂直距离小于L1距离
参考点	初始航迹点	飞行器与航迹垂足前（短距）	航迹上与飞行器距离为L1的点



# L1 Navigation

## L1 navigation in PX4&ArduPilot

$$\begin{array}{lcl} a_s = 2 \frac{V^2}{L_1} \sin(\eta) & \rightarrow & \left\{ \begin{array}{l} a_s = K \frac{V^2}{L_1} \sin(\eta) \\ K = 4\zeta^2 \end{array} \right. \\ \text{引入时间周期T} & & \\ \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\sqrt{2}V}{L_1} & \rightarrow & L_1 = \frac{V \cdot T}{\sqrt{2}\pi} = \frac{1}{\pi} \zeta T V \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} a_s = 2 \frac{V^2}{L_1} \sin(\eta) \\ \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\sqrt{2}V}{L_1} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} a_s = 4\pi \frac{\zeta}{T} V \sin(\eta) \\ \\ \text{NAVL1\_DAMPING} \Leftrightarrow \zeta \\ \text{NAVL1\_PERIOD} \Leftrightarrow T \end{array}$$

对于一个欠阻尼的二阶系统，其最大超调量为： $\sigma_p \% = e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}} \times 100\%$

$\Delta = 0.02$  其调节时间为： $t_s \approx \frac{4}{\zeta\omega_n}$

阻尼比主要根据对系统超调量的要求确定，所以调节时间主要由自然频率决定

# L1 Navigation

## L1 navigation in PX4&ArduPilot

---

### ■ 细节

$$\begin{cases} a_s = K \frac{V^2}{L_1} \sin(\eta) \\ K = 4\zeta^2 \end{cases}$$

$\zeta = 1/\sqrt{2}$  时横向加速度与初始时一致，但是在跟踪直线航迹的时候会出现超调，为了调节超调量需要对阻尼比进行调节，但是阻尼比调节后跟踪圆周航迹时加速度存在偏差，解决方案有：当跟踪圆周航迹时将阻尼比恢复；采用其他控制方案。

PX4&ArduPilot中采用的是两套控制方案在RTL, GUIDED  
和LOITER模式中侧向控制采用的是PD控制

---

所述的速度均为地速，PX4&ArduPilot飞行器的采用的是将GPS测到的速度、空速和飞行航向进行互补滤波后，该方案利用了GPS测速的精确性，同时克服了GPS测速的延迟问题

未完待续.....