

无人机路径规划仿真

本文主要研究无人机的路径规划，并从多个方面进行介绍，包括无人机运动模型（动力学和运动学）的确定、路径规划算法的设计与路径规划仿真代码的编写、仿真代码的运行以及仿真结果的分析。首先，我们将研究无人机的运动特性和形态展示，以建立适用于无人机动力学和运动学的模型。然后，我们将设计两种非常实用的航点规划算法（方形和圆形），以便能基于这些信息生成安全且高效的飞行路径。其次，我们编写仿真代码，导入无人机模型，并尝试让无人机在新的轨迹中运行。最后，通过运行仿真代码得到无人机的飞行轨迹，并对仿真结果进行详细的分析与讨论。最终结果表明，该无人机路径规划算法能够控制无人机的飞行轨迹，研究无人机运动路径规划具有重要意义。



2. 引言：

无人驾驶飞行器（UAV）是一种无人驾驶航空器，主要通过无线电遥控设备和固定路径规划来操作。在日常生活中，我们可以通过遥控器操作无人机。在农业或军事工业中，无人机主要按照规定路径自主行动，一来是为了隐蔽，二来是为了安全。为了进行拍摄，它配备了高清传感器，用于军事地形测绘以及农业建筑业的土地测量。无人机的高效性和精确性使其成为测绘领域的重要工具。其对植物进行自动授粉的效率也非常高。无人驾驶飞行器（UAV）是一种无人驾驶航空器，主要通过无线电遥控设备和固定路径规划来操作。在日常生活中，我们可以通过遥控器操作无人机。在农业或军事工业领域，无人机主要按照规定路径自主行动，一来是为了隐蔽，二来是为了安全。为了进行拍摄，它配备了高清传感器，用于军事地形测绘以及农业建筑业的土地测量。无人机的高效性和精确性使其成为测绘领域的重要工具。植物自动授粉的效率也非常高。自主轨迹规划是无人机实现自主飞行的关键技术，具有安全、高效、精确和自主的优点。

本文从五个关键方面重点研究无人机轨迹规划：无人机运动模型的确定、航点规划算法的设计、仿真代码的编写、仿真代码的运行以及仿真结果的分析。以下各节将详细描述每个部分。首先是无人机运动模型的确定，其次是航点规划算法的设计，我们提出了一种有效的算法来为无人机轨迹规划生成最佳航点。该算法考虑了任务要求、避障、能效等因素，以确保飞行的安全和高效。第三部分是仿真代码的编写，在这部分中，运用适当的编程技术在 MATLAB 中实现了所开发的航点规划算法。最后，我们对通过执行代码得到的仿真结果进行分析，以评估所提出的轨迹规划方法的有效性。



3. 主体部分：

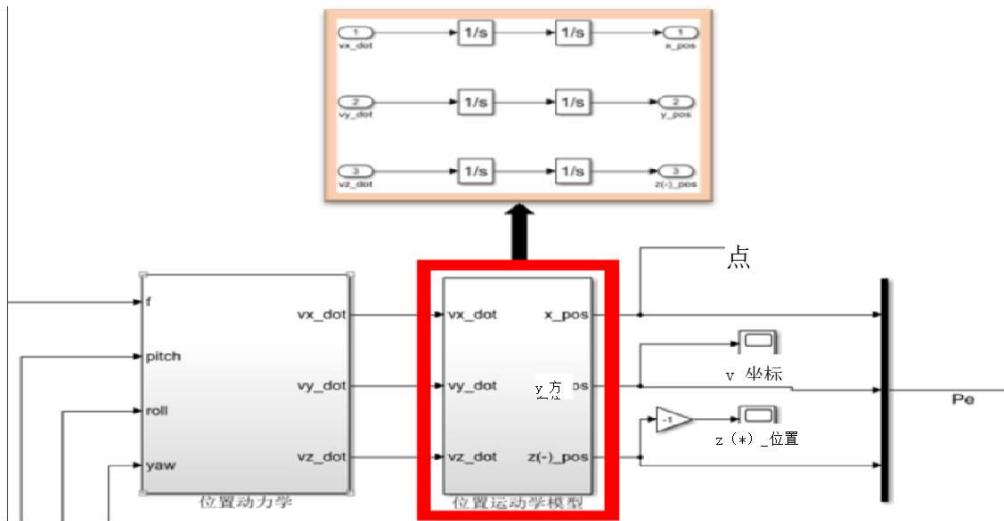
3.1：确定无人机的运动模型：

我们需要确定无人机的运动模型。这是仿真的第一步，我们确认的模型包括其动力学和运动学模型。这些模型通常由一组微分方程组成，描述了无人机的运动状态（如位置、加速度等）与其控制输入（如推力、扭矩等）之间的关系。运动模型是无人机轨迹规划的基础。通过深入研究无人机的运动特性，我们可以建立完整的数学模型。

第一个是运动学模型。用“ P_e ”表示无人机在空间坐标系中的位置，用“ V_e ”表示无人机在空间坐标系中的速度。位置和速度满足以下关系，且动态输出为加速度信息，因此需要进行两次积分才能得到位置。得到以下公式。

$$P_e = V_e$$

接下来，我们将使用 Simulink 模型进行构建。输入：空间坐标系中的三个加速度 V_e 。输出：空间坐标系中的位置 P_e 。



\mathbf{w}_b 用于表示无人机在机体坐标系中的速度， θ_e 用于表示三个欧拉角 ϕ 、 θ 、 ψ 。它们之间存在以下关系。 $\Theta_e = W \cdot \mathbf{w}_b$

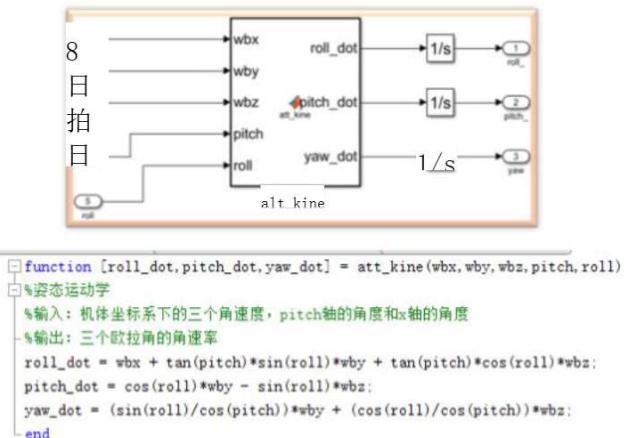
$$\Theta = [\phi \ \theta \ \psi]^T, W = \begin{bmatrix} 1 & \tan\theta \sin\phi & \tan\theta \cos\phi \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi / \cos\theta & \cos\phi / \cos\theta \end{bmatrix}, \mathbf{w}_b = [w_{bx}, w_{by}, w_{bz}]$$

在这一推导过程中，三个欧拉角的变化率被投影到机械坐标系上，从而得到了机械坐标系下的角速度。因此存在如下关系。

$$\begin{bmatrix} \omega_{xb} \\ \omega_{yb} \\ \omega_{zb} \end{bmatrix} = R^{-1}(\phi)R^{-1}(\theta) \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta} \\ 0 \end{bmatrix} + R^{-1}(\phi) \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\phi} \\ 0 \end{bmatrix} + I_3 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

一旦你有了这个关系，你还需要对欧拉角的角速度进行积分以得到欧拉角。所以，你输入 ϕ 、 θ ，以及体坐标系中的三个角速度 \mathbf{w}_b ，输出就是三个欧拉角 ϕ 、 θ 、 ψ 。 ϕ 、 θ 、 ψ

接下来，使用 Simulink 构建一个姿态模型。



其次是运动学模型。对于无人机所受的力，我们当然会首先想到重力和螺旋桨的升力，但也会考虑一些阻力。为简单起见，这里只考虑重力和螺旋桨升力。根据 $f=ma$ 。

$$m\dot{V}_e = mg - f_e$$

由于空间坐标系的 z 轴向下， f_e 前带有一个负号。注意这里 g 是一个向量，且只在 ze 方向上有分量； f_e 也是一个向量，但无法直接得到。需要用体坐标系中的 f_b 来表示 f_e ，它们之间的关系如下。

$$f_e = R_h^e f_b$$

$$m\dot{V}_e = mg - R_h^e f_b$$

$$\dot{V}_e = g - R_h^e \dot{f}_b$$

我们将其展开得到。

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_{xe} \\ \dot{v}_{ye} \\ \dot{v}_{ze} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & \cos\psi\sin\theta\sin\phi - \sin\psi\cos\phi & \cos\psi\sin\theta\cos\phi + \sin\psi\sin\phi \\ \cos\theta\sin\psi & \sin\psi\sin\theta\sin\phi + \cos\psi\cos\phi & \sin\psi\sin\theta\cos\phi - \cos\psi\sin\phi \\ -\sin\theta & \sin\phi\cos\theta & \cos\phi\cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_b \\ f_b \\ f_b \end{bmatrix}$$

由上述方程可知，要计算无人机在空间坐标系中的加速度，我们需要重力加速度 g 、质量 m 、升力 f_b 以及三个欧拉角 ϕ 、 θ 、 ψ 。

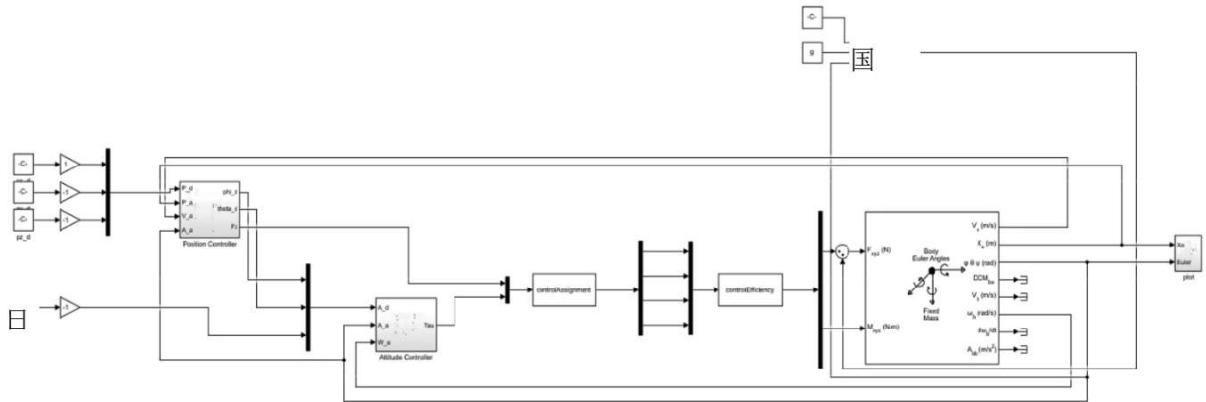
无人机螺旋桨产生的拉力会在机体坐标系的三个轴上产生扭矩，旋转部件还会产生陀螺扭矩 G_a 。因此，姿态动力学方程如下

$$G_a + \tau = J\dot{\omega}^b + \omega^b \times J\omega^b$$

由上述公式可知，要得到无人机在机体坐标系下的角加速度，还需要三个力矩以及绕三个轴的转动惯量。



然后，我将使用 Simulink 构建一个无人机模型。由于我们的主要任务是无人机的路径规划，这里我们将简单展示一下，不做详细介绍。



3.2：无人机航点算法规划：

我们设计了一种航点规划算法。该航点规划算法是一种用于确定无人机从起点到终点最优路径的算法。常见的航点规划算法包括 A * 算法和 RRT 算法。我们会根据无人机的飞行模型选择合适的航点规划算法。航点规划算法也是生成无人机飞行轨迹的关键，它需要根据无人机的运动模型和环境信息生成安全且高效的飞行轨迹，并能在复杂环境中生成满足任务要求的飞行轨迹。

在 MATLAB 环境中，我们可以利用其强大的数学计算和图形绘制功能来实现无人机航点规划算法。无人机航点规划的基本步骤如下：确定无人机飞行任务，包括起飞点、着陆点、飞行区域、飞行高度、飞行速度等。建立飞行环境模型：包括地形、建筑物等。选择或设计航点规划算法：常用算法有 A * 算法、狄克斯特拉算法、遗传算法、粒子群优化算法等。运行航点规划算法：在 MATLAB 环境中，编写相应的程序代码并运行航点规划算法。优化航点规划结果：根据飞行任务要求和飞行环境模型对航点规划结果进行优化。验证航点规划结果：通过无人机的实地飞行实验和仿真，验证其正确性。



以及结果的可靠性。

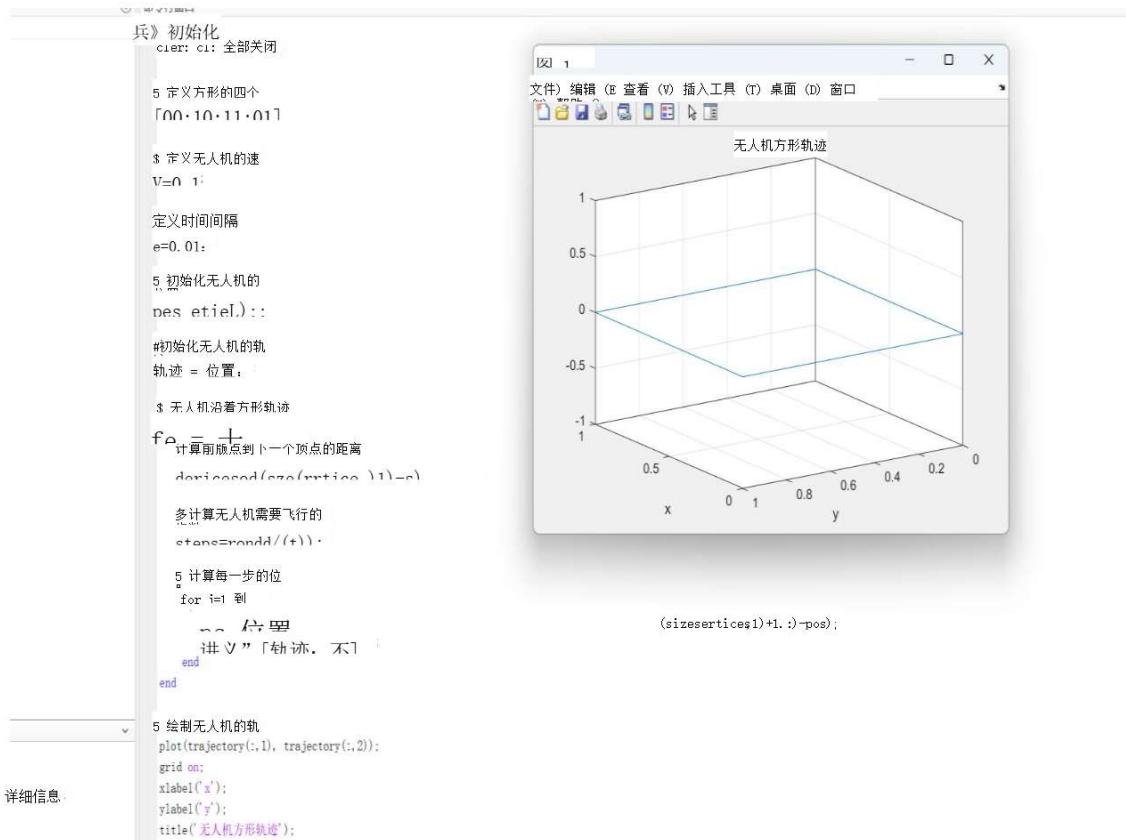
在 MATLAB 环境中，我们可以采用以下方法来实现无人机的航点规划算法：利用 MATLAB 的图形用户界面功能设计一个交互式界面，供用户输入飞行任务，然后借助 MATLAB 的图形绘制功能实现航点规划算法的可视化。最后，利用 MATLAB 的仿真功能进行无人机的飞行仿真，并对航点规划结果进行验证。在航点规划结果的验证方面，我们可以使用 MATLAB 的仿真功能（如 Simulink）来模拟无人机的飞行。我们可以将航点规划结果输入到无人机飞行模型中，通过观察无人机的飞行轨迹来验证航点规划的正确性。最终，通过合理的算法选择与优化，得到满足飞行任务要求的目标规划结果。

3.3：编写仿真代码并运行仿真：

为了验证我们的无人机运动模型和航点规划算法的准确性，我们开发了一套独特的仿真代码。该代码能够在计算机上模拟无人机的飞行过程，并为确认我们的模型和算法的准确性和效率提供了一种途径。在仿真代码中，我们实现了无人机的飞行模型和航点规划算法。通过运行此仿真，我们可以监控无人机的飞行路径和状态变化。通过反复仿真，我们能够优化飞行性能。

让我们举个例子。我们为无人机设定了一个正方形轨迹。假设正方形的四个角分别位于坐标 $(0, 0)$ 、 $(1, 0)$ 、 $(0, 1)$ 和 $(1, 1)$ 处。无人机开始沿着这个正方形轨迹飞行。当它到达每个角时，会计算到下一个角的距离，并相应地调整飞行路径。无人机在每次计算后更新其当前位置，并将目标位置添加到新轨迹中。这段代码提供了无人机轨迹的详细可视化效果。在这个仿真代码中，我们首先确定一个圆的半径和圆心。然后，我们定义无人机的初始位置和速度。我们打开一个新的图形窗口，并在一个连续的循环中不断更新和绘制无人机的位置。在每个循环中，我们清除图形窗口的内容，根据无人机的当前位置绘制圆形轨迹，更新无人机的位置，并确保 Matlab 及时更新图形窗口。我们在循环之间添加了短暂的停顿，以增强无人机运动的稳定性。通过使用这个仿真代码，我们可以直观地观察到无人机的飞行轨迹和各种状态信息。仿真结果提供了有价值的

数据并验证我们的运动模型和航点规划算法的准确性与效率。



在设计圆形轨迹时，我们使用小点而非无人机模型来进行以下模拟。



命令行窗

```

    » 定义圆的半径和中心
    r = 10; 半径
    center=[0, 0]; 5 同心

    5 定义无人机的初始位置
    drone_pos = [r, 0];

    5 定义无人机的速度 (单位: 弧度 /
    speed=0.1;

    5 创建一个新的图形窗口
    图窗;

    创建一个无限循环。可以通过按 Ctrl+C 来停止
    while true
        $ 清除当前图形窗口的内容
        清除;

        .、绘制圆形轨迹
        0 = 内空间 (0, 2*pi, 100);
        theta=0:pi/100:(+b+e);
        v=cos(theta) + r*sin(theta);
        plot(x, s);

        保持当前;

        绘制无人机的当前位置
        plot(drone_pos(1), drone_pos(2), "ro");

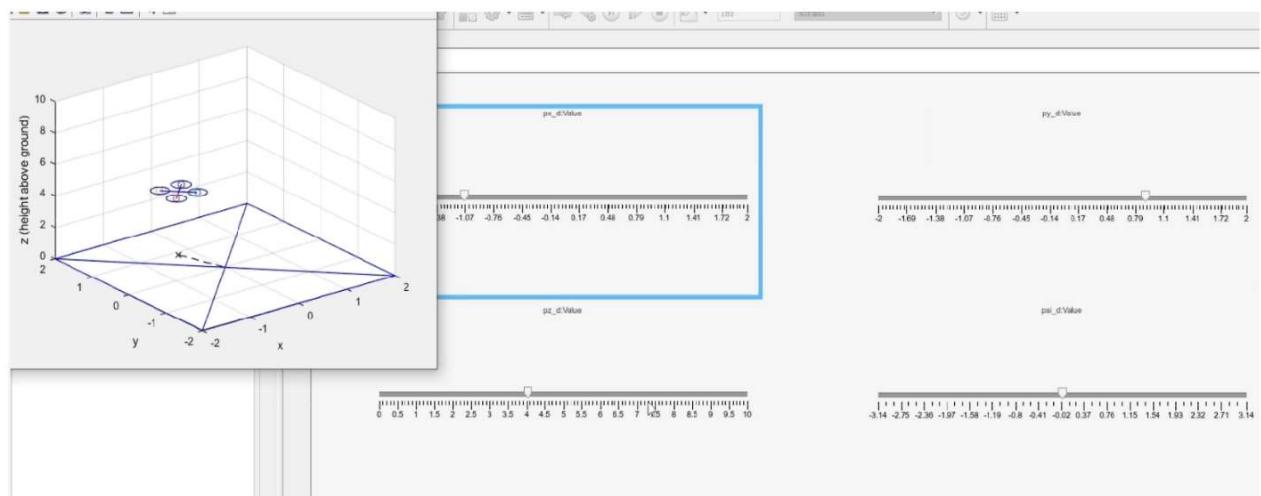
        5 更新无人机的位置
        angle = atan2(drone_pos(2) - 中心(2), 中心(1) - 中心(1));
        angle = angle + speed;
        drone_pos = 中心 + r * [cos(angle), sin(angle)];

        .、强制 tla 立即更新图窗口
        刷新;

        $ 暂停一小段时间, 使得无人机的移动看起来更平滑
        pause(0.01);
    end

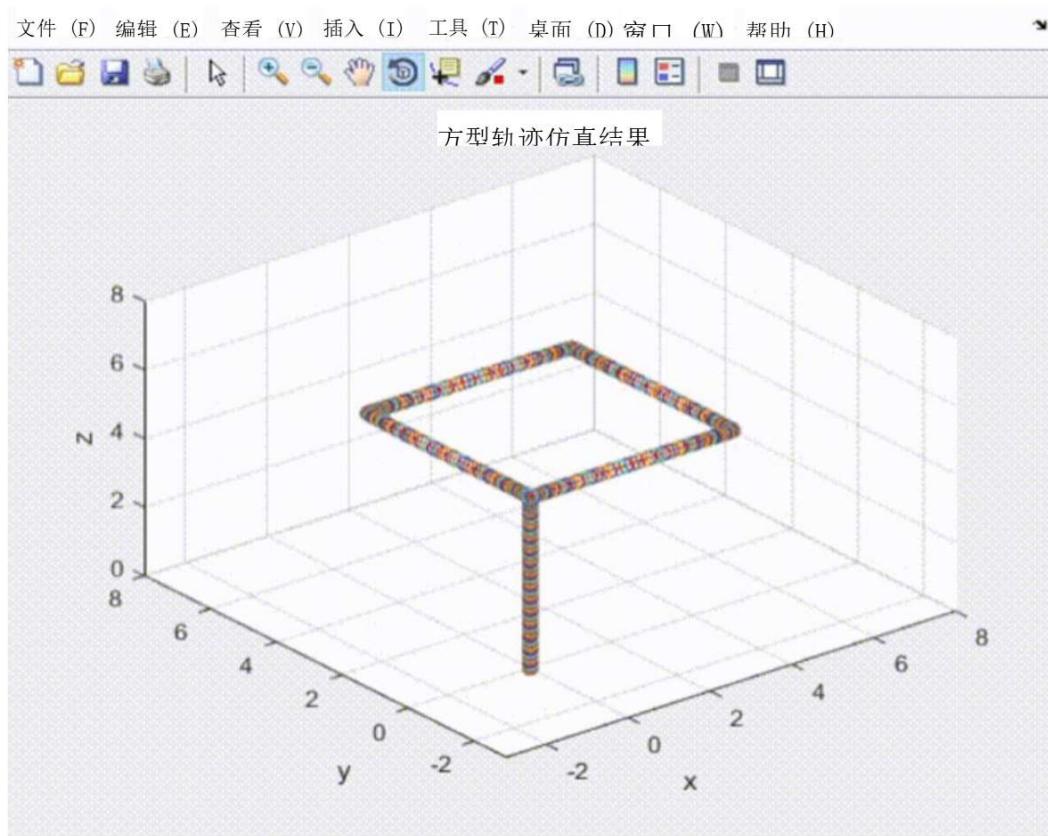
```

既然我们已经确定了两条路径，我们就导入之前制作的无人机模型，首先在方形轨迹上进行仿真。我们通过四个电机的转速来控制无人机的姿态，内环用于姿态控制，外环用于位置控制。下面两张图片展示了手动控制无人机的轨迹以使其移动的过程。

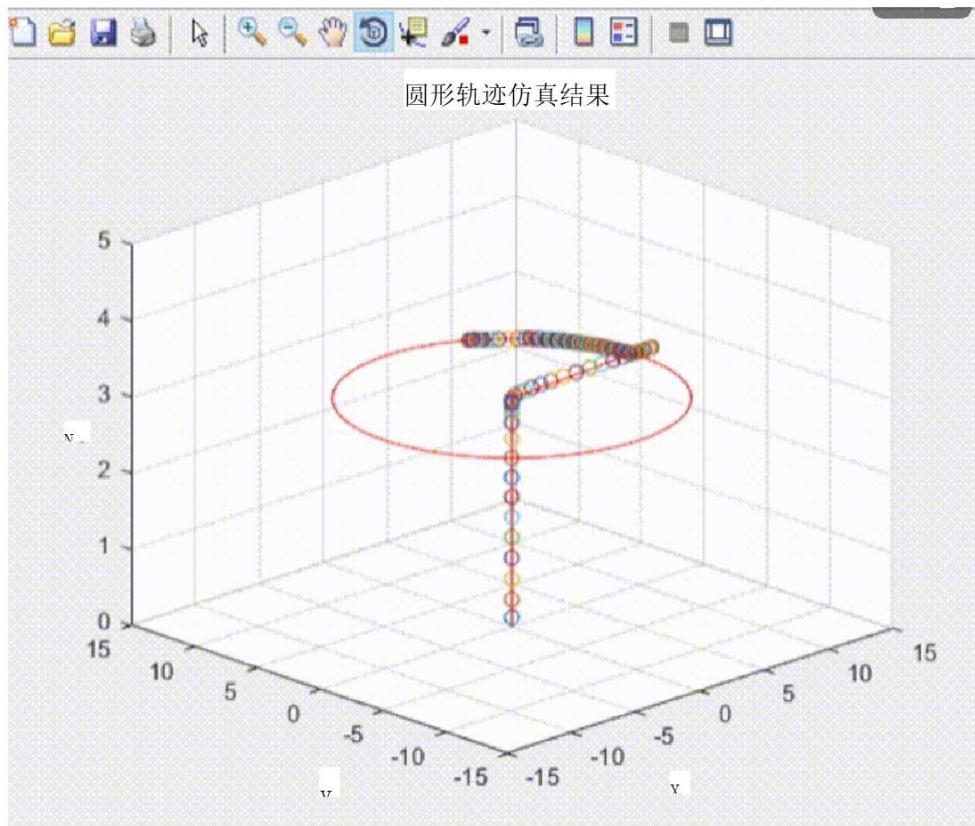




以下展示了无人机在无控制情况下沿正方形轨迹自主移动的仿真结果。



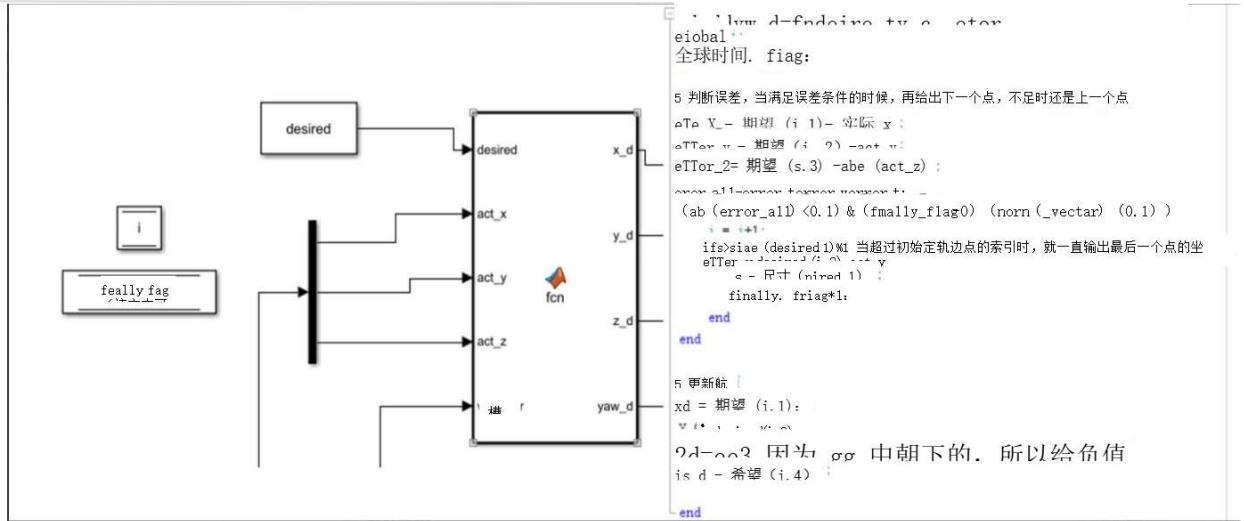
以下展示了无人机在非受控圆周轨迹中自主运动的仿真结果。



在此，我们已完成无人机圆形和方形路径规划，并为实验报告进行了模拟。

3.4 无人机航迹点的更新：

函数运行时，会先计算当前的位置误差，然后判断当前的位置误差、速度误差以及航点是否已运行完毕。不过，位置误差和航点误差是很好理解的。判断速度误差是因为无人机到达指定航点时速度应为 0，而该程序用于判断速度矢量的模长是否为 0。



3.5 无人机路径规划技术的生命周期与可持续发展战略：

无人机路径规划的产品周期通常包括以下几个方面。第一步是分析客户需求。我们首先需要确定用户需求和具体使用场景，以便为路径规划制定明确的目标。其次，要重视路径的仿真与测试。我们通常使用 Matlab 对路径规划算法进行测试和仿真，并长期记录仿真结果，以便在观察期内更好地发现问题。但这并不能证明我们的路径不存在问题，因此我们应加大研究力度，综合考虑多方面因素，使无人机能够更好地运行。最后，我们还会进行现场测试。我们将在自然环境中开展无人机路径规划测试，持续收集数据、进行误差分析、评估无人机性能，在做好所有工作后最终完成实验。

为确保无人机的安全高效运行，实施可持续发展战略至关重要。在此过程中，优化探测环境十分关键。通过运用先进的传感技术，无人机能够快速感知周边环境，调整路径轨迹，避免与障碍物发生碰撞。这不仅能保护无人机本身，还能保障附近物体的安全。技术优化是无人机可持续发展的另一个关键方面。由于我们生活在一个技术驱动的时代，增强算法和无人机整体技术显得尤为重要。在这方面的持续创新和改进，能使无人机适应各种应用领域，并提升其整体性能。此外，保障无人机的安全



路径规划也是防止飞行过程中对人员或基础设施造成任何潜在伤害的不可或缺的一部分。通过支持路径规划算法并实施可靠的安全措施，可以显著降低无人机操作的风险。总之，无人机的可持续发展战略包括优化探测环境、推动技术进步以及加强路径规划中的安全措施。通过持续的技术创新和改进，无人机能够提升自身性能，并有效满足不同的应用领域需求。

4. 结论：

在我们的实验中，我们成功模拟了无人机的圆形和方形飞行路径。通过持续且细致地调整无人机的控制，我们成功在飞行轨迹的效率与精度之间取得了平衡。通过这次实验，我们对无人机的动力学特性和设计理念有了深刻的理解。我们还发现，圆形飞行路径非常适合那些需要平稳、连续运动且要求高精度的任务。相反，方形飞行路径更适用于需要快速改变方向的场景。这些不同的轨迹形式为无人机的实际应用提供了更多选择和灵活性，从而提升了它们的潜在应用价值，实现了无人机的多样化，更好地造福人类。

在当前的科技时代，我们知道无人机技术正在飞速发展。随着无人机在农业、军事和建筑行业的广泛应用，人们对更高效、更安全的无人机系统的需求日益增长。或许在未来，我们能够研发出更精准的轨迹规划算法、卓越的自主飞行能力以及更强大的通信系统。此外，我们还发现，无人机技术的发展需要与其他相关技术相结合。例如，人工智能和大数据分析的发展将为无人机的自主性提供更多可能性。同时，无人机的安全性和隐私保护也是人们非常关注的问题。我们需要制定相应的规则，以确保无人机能够安全可靠地运行。

总之，通过这次实验，我们对无人机的轨迹设计有了更深入的理解。我们相信，无人机技术将在科技领域发挥越来越重要的作用，为人类带来更多便利。我们非常希望在未来的研究中，能够进一步研究无人机的路径导航，为其应用做出贡献。

