

8-14-2020

Research on Autonomous Intercept Method for UCAV Based on Lead Attack Aiming

Huaxing Wu

1. Marine College, NWPU, Xi'an 710072, China;;2. Aeronautics & Astronautics Engineering Institute of AFEU, Xi'an 710038, China;;

Huang Wei

2. Aeronautics & Astronautics Engineering Institute of AFEU, Xi'an 710038, China;;

Fengju Kang

1. Marine College, NWPU, Xi'an 710072, China;;

Hongbao Mao

2. Aeronautics & Astronautics Engineering Institute of AFEU, Xi'an 710038, China;;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Research on Autonomous Intercept Method for UCAV Based on Lead Attack Aiming

Abstract

Abstract: For the problem of autonomous intercepting moving target with air-to-air missiles for an unmanned combat air vehicle, *autonomous guiding method based on lead attack aiming errors was studied. The aiming errors were computed by building the motion model of UCAV and the model of lead attack aiming. Then to meet the goal of decreasing the aiming errors during flight control, two maneuver strategies based on model predictive control approach were presented: one used proportional navigation method and the other employed simulated annealing particle swarm optimization algorithm.* The simulation result shows that both strategies can implement autonomous intercept for targets with various maneuvers and the later method is better than the former if given the condition of periodic absence of target parameters.

Keywords

unmanned combat air vehicle, autonomous intercept, lead attack aiming, model predictive control, proportional navigation, particle swarm optimization

Recommended Citation

Wu Huaxing, Huang Wei, Kang Fengju, Mao Hongbao. Research on Autonomous Intercept Method for UCAV Based on Lead Attack Aiming[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(9): 2246-2253.

基于前置攻击瞄准的 UCAV 自主拦截方法研究

吴华兴^{1,2}, 黄伟², 康凤举¹, 毛红保²

(1. 西北工业大学航海学院, 西安 710072; 2. 空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038)

摘要: 针对无人作战飞机使用空空导弹对空中机动目标实施自主拦截的问题, 提出了一种基于前置攻击瞄准偏差的自主引导策略。通过建立飞机运动模型和前置攻击瞄准模型, 计算得到瞄准偏差, 然后以减少瞄准偏差为飞行控制的目标, 基于模型预测控制思想分别对采用比例引导和模拟退火粒子群优化方法的两种自主机动策略进行了仿真研究。仿真结果表明, 在目标信息有缺失时, 两种策略都能实现对不同机动目标的自主拦截, 且后者拦截效果更好。

关键词: 无人作战飞机; 自主拦截; 前置攻击瞄准; 模型预测控制; 比例引导; 粒子群优化

中图分类号: V279

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2016) 09-2246-08

Research on Autonomous Intercept Method for UCAV Based on Lead Attack Aiming

Wu Huaxing^{1,2}, Huang Wei², Kang Fengju¹, Mao Hongbao²

(1. Marine College, NWPU, Xi'an 710072, China; 2. Aeronautics & Astronautics Engineering Institute of AFEU, Xi'an 710038, China)

Abstract: For the problem of autonomous intercepting moving target with air-to-air missiles for an unmanned combat air vehicle, *autonomous guiding method based on lead attack aiming errors was studied. The aiming errors were computed by building the motion model of UCAV and the model of lead attack aiming. Then to meet the goal of decreasing the aiming errors during flight control, two maneuver strategies based on model predictive control approach were presented: one used proportional navigation method and the other employed simulated annealing particle swarm optimization algorithm.* The simulation result shows that both strategies can implement autonomous intercept for targets with various maneuvers and the later method is better than the former if given the condition of periodic absence of target parameters.

Keywords: unmanned combat air vehicle; autonomous intercept; lead attack aiming; model predictive control; proportional navigation; particle swarm optimization

引言

空中截击是现代空战的一种主要作战样式, 而自主作战能力是无人作战飞机(UCAV, Unmanned Combat Air Vehicle)执行对空作战任务的关键。要在激烈的空中战场中夺取制空权, UCAV 必须具备

一定自主拦截作战能力。因此, UCAV 在空战中的自主机动策略一直是近年来的研究热点之一。

如文献[1-2]对 UCAV 执行各种敏捷机动的控制策略进行了研究, 给出了一种在轨迹规划基础上利用多模控制的自主机动方法。文献[3]采用了近似动态规划方法来计算次优的 UCAV 空战机动策略。文献[4]给出了一种按目标视线角比例引导的 UCAV 空战引导方法。文献[5]给出了一种利用空战优势函数来控制 UCAV 机动的方法。文献[6]给出了一种利用模糊推理规则控制 UCAV 战术机动



收稿日期: 2015-03-29 修回日期: 2015-07-24;
基金项目: 国家自然科学基金(61472441);
作者简介: 吴华兴(1978-), 男, 湖北人, 博士生, 讲师, 研究方向为系统仿真实论及应用; 黄伟(1980-), 男, 黑龙江人, 博士生, 研究方向为航空火力控制系统理论及应用。

<http://www.china-simulation.com>

• 2246 •

的方法。文献[7]提出一种UCAV 近距对抗占位策略与导引方法, 采用了三维变结构导引律, 引导无人机完成近距作战占位机动。文献[8]给出了一种考虑导弹攻击区、采用滑模变结构导引的UCAV 自主攻击占位方法。

不同于上述文献中的自主引导策略, 本文的UCAV 引导方法借鉴有人驾驶战斗机中距拦截作战方法^[9], 在此基础上提出了一种根据拦截过程的前置攻击瞄准偏差来对UCAV 实施自主引导的控制方法, 并基于偏差修正原理对UCAV 的机动策略进行仿真研究。

1 UCAV 运动模型

本文研究对象为具备一定隐身性能、携带空空拦截导弹、配备机载探测跟踪雷达、采用飞翼布局的亚音速UCAV, 这种UCAV 有望成为未来空中截击作战的主力之一。为研究它的自主空战方法, 首先需要建立其运动模型。

由于UCAV 机动过载有限, 此处采用式(1)所示的简化运动方程组来建立运动模型^[10], 假定UCAV 质量不变, 忽略侧滑角, 并采用北天东地理坐标系来表示质心位置, 采用X 轴为速度矢量方向、Y 轴沿铅垂方向指向天的航迹坐标系来描述飞机运动。

$$\begin{cases} \dot{V} = g(F_\eta \cos \alpha - C_D - \sin \theta) \\ \dot{\theta} = g(n_y \cos \gamma - \cos \theta) / V \\ \dot{\psi} = -gn_y \sin \gamma / (V \cos \theta) \\ \dot{x} = V \cos \theta \cos \psi \\ \dot{y} = V \sin \theta \\ \dot{z} = V \cos \theta \sin \psi \\ n_y = F_\eta \sin \alpha + C_L \\ F_\eta = f_1(\eta, V, y) \\ \alpha = f_2(\delta_e) \\ \gamma = f_3(\delta_r) \end{cases} \quad (1)$$

式中: θ 为航迹倾角; ψ 为相对正北方向的航向角 (向东为正, 向西为负); C_D 为气动阻力产生的过

载; C_L 为气动升力产生的过载, 其值与攻角、马赫数和高度 y 相关, 通常表示为表格函数; F_η 为推力产生的过载, 表示为与油门 η 、速度和高度有关的表格函数; α 为攻角, 表示为升降舵偏角 δ_r 的函数。法向过载 n_y 与航迹坐标系 Y 轴的夹角即为速度滚转角 γ , 它是方向舵偏角 δ_e 的函数。

最终本文UCAV 运动模型的3个控制量为 η 、 δ_r 和 δ_e , 且控制量和攻角 α 满足以下约束条件:

$$\begin{cases} \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max} \\ 0 \leq \eta \leq 1 \\ -1 \leq \delta_r \leq 1 \\ -1 \leq \delta_e \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

2 UCAV 前置攻击瞄准模型

对有人驾驶战斗机中距拦截过程, 前置攻击瞄准是一种使速度矢量指向目标前置点的引导方法, 在目标作匀速直线运动的理想情况下可使发射的导弹以直线弹道命中目标, 在目标做机动时仍能以极大概率杀伤目标^[9]。将这一方式用于UCAV, 即图1所示的前置攻击瞄准路线^[11]。

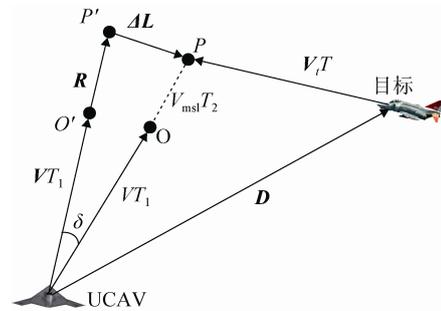


图1 UCAV 前置攻击瞄准矢量图

图1中, 由UCAV 当前位置指向瞄准点P 的飞行路线即为完全瞄准的理想攻击路线, 它表示UCAV 以当前速度沿正确方向飞行 T_1 时间、并在O 点发射导弹、导弹沿理想直线弹道飞行距离R 后命中P 点, 且P 点刚好为目标此时到达位置。

然而在实际飞行时, UCAV 的速度矢量总是会理想的攻击路线之间存在的偏差。这个偏差即用图1中的瞄准偏差矢量 ΔL 。

令 V 为某一时刻 UCAV 的实际速度矢量, D 为指向目标的距离矢量, V_t 为目标机速度矢量。若 UCAV 沿当前速度矢量飞行 T_1 时间后发射导弹时, 导弹若仍沿理想直线弹道飞行距离 R , 则命中点为 P' 。由 P 指向 P' 的矢量即瞄准偏差矢量 ΔL 。它与当前速度矢量的夹角 δ 即为角度偏差^[11]。

前置攻击瞄准的偏差矢量方程为:

$$\begin{cases} VT_1 + R + \Delta L = D + V_t T \\ T = T_1 + R / V_m \end{cases} \quad (3)$$

式中: V_m 为导弹沿理想弹道飞行距离 R 的平均飞行速度; T 为总飞行时间。为便于计算偏差, 将式(3)表示为:

$$\Delta L = D + \dot{D}T + V \cdot R / V_m - R \quad (4)$$

式中, \dot{D} 即 UCAV 与目标的相对速度矢量。

将偏差矢量 ΔL 向 UCAV 的航迹坐标系投影, 即可得到 3 个偏差分量为:

$$\begin{cases} \Delta x = (D + \dot{D}T) \cos \mu \cos(\alpha + \nu) - R(1 - V / V_m) \\ \Delta y = (D + \dot{D}T) \cos \mu \sin(\alpha + \nu) \\ \Delta z = (D + \dot{D}T) \sin \mu \end{cases} \quad (5)$$

式中: D 和 \dot{D} 分别为雷达测得的目标距离和距离变化率(即相对速度); μ 和 ν 分别为 UCAV 机载雷达测得的目标方位角和俯仰角, 且假定雷达坐标系的 X 轴与机体坐标系纵轴重合, Y 轴沿铅垂方向指向天。

当导弹飞行距离 R (根据导弹性能设定)已知时, 通过改变飞行时间 T_1 , 总可以使偏差分量 Δx 为 0。故在导弹飞行距离和平均速度已知的情況下, 由 Δx 为 0 又可以求解出时间 T 。

$$T = \frac{R(1 - V / W_m) - D \cos \mu \cos(\alpha + \nu)}{D \cos \mu \cos(\alpha + \nu)} \quad (6)$$

从而可以由 T 求出偏差分量 Δy 、 Δz 。由于 Δx 为 0, 故偏差矢量 ΔL 垂直于航迹坐标系 X 轴, 可以由 Δy 、 Δz 得到偏差角度 δ_y 和 δ_z 。

$$\begin{cases} \delta_y = \arctan \frac{\Delta y}{VT + R(1 - V / V_m)} \\ \delta_z = \arctan \frac{\Delta z}{VT + R(1 - V / V_m)} \end{cases} \quad (7)$$

δ_y 和 δ_z 的计算不仅考虑了 UCAV 雷达探测到的目标相对位置和相对运动, 也考虑了与导弹攻击能力密切相关的导弹飞行距离因素。UCAV 对目标实施自主拦截的目标就是在使目标进入导弹的射程的同时, 使瞄准偏差减小至满足攻击条件。

因此, 利用它们来引导 UCAV 的拦截过程, 可以实现飞控、传感器和武器系统的一体化综合控制, 进而提升 UCAV 的自主作战能力。

3 UCAV 自主引导策略

偏差角度 δ_y 和 δ_z 是相对于航迹坐标系的两个角度, 可被用来控制运动模型的输入量 δ_r 和 δ_e , 实现对 UCAV 机动方向的自主引导。

3.1 比例引导策略

最直接的方法即按瞄准偏差进行比例引导:

$$\begin{cases} \delta_e = K_1 \delta_y \\ \delta_r = K_2 \delta_z \end{cases} \quad (8)$$

式中, K_1 和 K_2 为比例引导系数。

当 UCAV 所测的目标参数准确连续时, 采用比例引导方法对于各种机动目标的跟踪瞄准效果都较好^[4]。然而实战中 UCAV 对目标的参数测量存在不确定性, 尤其是因某些干扰而出现目标参数周期性缺失时, 易导致偏差角度 δ_y 和 δ_z 增大, 直接采用比例引导方法, 难以达成攻击条件。为消除这种周期性缺失的影响, 并使 UCAV 在对目标连续跟踪瞄准时仍能达成较好的攻击效果, 可采用模型预测控制思想^[12]。

3.2 模型预测控制

将模型预测控制(MPC)用于 UCAV 自主拦截的思路为: 根据前面时刻测得的目标参数来预测下一时刻的目标参数, 以某个控制参量来计算下一时刻 UCAV 的参数, 得到 UCAV 对目标的前置瞄准误差, 并将这个瞄准误差作为目标函数, 从而运用非线性规划方法得到使目标函数最优的当前控制参量。其中, UCAV 自身的参数按前述运动模型计算, 目标参数则按式(9)来计算。

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{X}_t \\ \dot{Y}_t \\ \dot{Z}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_t^x \\ V_t^y \\ V_t^z \end{bmatrix} = T_v^e \times \begin{bmatrix} V - \dot{D} \cos \mu \cos(\alpha + \nu) \\ -\dot{D} \cos \mu \sin(\alpha + \nu) \\ \dot{D} \sin \mu \end{bmatrix} \\ T_v^e = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & -\cos \psi \sin \theta & -\sin \psi \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ \cos \theta \sin \psi & \sin \theta \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \\ V_t = \sqrt{V_t^x \times V_t^x + V_t^y \times V_t^y + V_t^z \times V_t^z} \\ \theta_t = \arcsin(V_t^y / V_t) \\ \psi_t = \arcsin(V_t^x / (V_t \cos \theta_t)) \end{cases} \quad (9)$$

式中 V_t^x , V_t^y 和 V_t^z 为根据 UCAV 所测距离变化率 \dot{D} 计算得到的目标在北天东地理坐标系的速度分量, V_t 为目标速度大小。 T_v^e 为 UCAV 航迹系到地理系的转换矩阵, 矩阵内的 θ 和 ψ 为 UCAV 自身的航迹倾角和航向角。 θ_t 和 ψ_t 分别为目标航迹倾角和航向角。

由于 UCAV 和目标运动的非线性动态特性, 难以采用传统传递函数或状态空间方程来进行瞄准偏差的估计, 故采用多步预估技术^[12]。采用 MPC 方法进行瞄准偏差计算和自主引导的步骤为:

(1) 初始化 UCAV 与目标的性能参数、状态量、控制量, 设定导弹飞行距离 R 和平均飞行速度 V_m 等常数。

(2) 以步长 h 开始计算 UCAV 与目标的状态量。利用前面 K 步(K 为用于预估的过去步数)测得的目标参数 μ , ν 和 \dot{D} , 按式(9)来计算目标参数, 对目标进行轨迹预测。

(3) 根据预估的目标轨迹参数及 UCAV 当前控制量 δ_r 和 δ_e , 计算第 $K+N$ (N 为预估步数)步时 UCAV 和目标的状态参数, 从而计算得到预计步长对应的瞄准偏差 δ_y 和 δ_z 。

(4) 若 $\sqrt{\delta_y^2 + \delta_z^2} < \delta_{\max}$, 则不改变 UCAV 的当前控制量 δ_r 和 δ_e ; 否则更新 δ_r 和 δ_e , 返回第(3)步。

(5) 判断运行状态是否满足截止条件(偏差角过大, 丢失目标)。若满足则结束计算。

(6) 判断 UCAV 是否满足导弹发射条件 $T-R/V_m \leq 0$ 。若满足则结束模型预测计算; 否则更新 UCAV 与目标的状态量、控制量, 回到步骤(2)。

3.3 MPC-PN 策略

对于上述 MPC 步骤, 将 N 取 0, 得到当前步长对应的预计瞄准偏差 δ_y 和 δ_z , 并采用式(8)来更新当前 δ_r 和 δ_e , 则可认为是加入即时目标运动预测的比例引导策略, 此处命名为 MPC-PN 策略。

通过本文的研究, 采用 MPC-PN 策略和瞄准偏差来对每一时刻的 UCAV 控制量进行控制, 只要比例系数合理, 也能够一定程度上消除目标参数缺失的影响, 实现对 UCAV 的正确引导, 使飞行过程变成瞄准过程, 从而在动态变化的空战环境下保持对目标的跟踪和瞄准, 达成攻击条件。但是针对不同机动目标, 采用 MPC-PN 自主引导策略时, 固定的比例系数对结果影响很大, 使得 UCAV 的飞行轨迹往往不是最优或次优的。

3.4 MPC-PSO 策略

因此, 本文在 MPC 方法基础上, 针对步骤(4), 研究了基于模拟退火的粒子群优化方法的控制量搜索策略, 提出了一种将 MPC 方法和模拟退火的粒子群优化方法相结合的自主引导策略, 此处命名为 MPC-SAPSO 策略。

由于 UCAV 拦截目标的模型存在非线性和干扰, 采用传统搜索方法效率不高且易陷入局部极小值, 而 MPC-SAPSO 策略可以减少误差和提高控制量的搜索效率, 从而得到次优的自主攻击轨迹。

采用 MPC-SAPSO 策略首先需要将 UCAV 自主引导问题转化为使瞄准偏差最小的约束优化问题^[13]:

$$\begin{aligned} \min f(x) \\ \text{s.t. } l \leq x \leq u \end{aligned} \quad (10)$$

其中 $x = [\delta_r; \delta_e]$ 为需要优化的 UCAV 控制量; 约束变量 $l = [-1; -1]$, $u = [1; 1]$; 目标函数 $f(x)$ 为:

$$f(x) = \sqrt{\delta_y^2(x_k, t_k + Nh) + \delta_z^2(x_k, t_k + Nh)} \quad (11)$$

式中 δ_y 和 δ_z 即为 UCAV 沿用当前控制量 \mathbf{x}_{tk} 时在未
来时刻 t_k+Nh 将产生的瞄准偏差, 由上述 MPC 方
法计算得到。

然后, 可针对在每一时刻和预测步长计算得
到的目标函数值, 采用基于模拟退火的粒子群
(SAPSO)算法搜索最优的 UCAV 控制量。SAPSO
算法步骤如下^[14]:

(1) 随机初始化种群中各粒子的位置和速度;

(2) 用式(11)计算每个粒子的适应度, 将当前
各粒子的位置和适应值存于各粒子的 p_i 中, 将所有
 p_i 中适应值最优个体的位置和适应值存于 p_g 中;

(3) 确定初始温度 $t_0=f(p_g)/\ln 5$;

(4) 根据下式确定当前温度下各 p_i 的适配值:

$$TF(p_i) = \frac{e^{-(f(p_i)-f(p_g))/t}}{\sum_{i=1}^N e^{-(f(p_i)-f(p_g))/t}}$$

(5) 采用轮盘赌策略从所有 p_i 中确定全局最优
的某个替代值 p_g' , 然后根据下式更新各粒子的
速度和位置:

$$v_{i,j}(t+1) = \varphi\{v_{i,j}(t) + c_1r_1[p_{i,j} - x_{i,j}(t)] + \\ c_2r_2[p'_{g,j} - x_{i,j}(t)]\}$$

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1)$$

$$\varphi = \frac{2}{\sqrt{2-C-\sqrt{C^2-4C}}}$$

$$C = c_1 + c_2$$

(6) 计算各粒子新的适应度, 更新各粒子的 p_i
值及群体的 p_g 值;

(7) 进行退温操作: $t_{k+1}=\lambda_k*t_k$

(8) 若满足停止条件(目标函数值小于指定值
 δ_{\max} , 或迭代次数超过 100 次), 搜索停止, 输出
结果, 否则转至步骤(4)。

在本文中, 取粒子数目为 20、迭代最大次数
为 100, 将 SAPSO 算法搜索得到的 UCAV 控制量
归一化后用于 MPC 算法步骤(4), 更新 δ_r 和 δ_e , 继

续执行 MPC 算法过程, 控制 UCAV 自主机动, 直
到 UCAV 达成导弹发射条件或满足截止条件。

4 仿真分析

为验证 UCAV 基于前置攻击瞄准偏差对不同
机动目标的自主拦截效果, 针对目标作直线运动
和 S 机动两种典型情况, 分别采用 MPC-PN 策略
和 MPC-SAPSO 进行仿真。

4.1 仿真 1: 目标作直线运动

设定仿真步长为 0.1 s。导弹飞行距离 R 为 30
km、平均速度 V_m 为 600 m/s, 目标初始航向角
90°、速度 300 m/s、高度 5 000 m, UCAV 初始航
向角 0°、速度 300 m/s、高度 6 000 m, 速度通过
对油门 η 的 PID 控制稳定在 300 m/s 左右。目标参
数 μ 、 ν 和 \dot{D} 有效的周期为 1 s (即 10 个步长内只能
得到一次有效数据), 且假定测量值存在均值为 0、
方差为 0.3% 的正态分布误差。

图 2(a)和(b)分别给出了采用普通比例导引策
略时 UCAV 对直线运动目标的自主拦截轨迹, 拦
截过程中的瞄准偏差、姿态角和控制量变化情
况。仿真结果表明, 由于 10 个步长内只能得到一
次有效目标信息, 且存在误差, 使瞄准偏差 δ_y 的
计算值存在角度误差, 导致控制量 δ_r 存在震荡。
因此虽然 UCAV 对目标的瞄准方位大致正确, 但
是随着离目标的距离越来越近, 瞄准偏差变得不
可接受, 最终导致在 339.0 s、距离目标 24.294 km
时目标丢失, 不能达成攻击条件。

图 3 和图 4 则分别给出了采用 MPC-PN 策略和
MPC-PSO 策略时的仿真结果。仿真结果表明, 采
用 MPC-PN 策略和 MPC-PSO 策略均可以实现
UCAV 对直线运动目标的自主拦截。这是因为当采
用 MPC 方法对目标运动预计之后, 丢失的目标数
据被有效的预计数据填充, 减少了误差的影响。

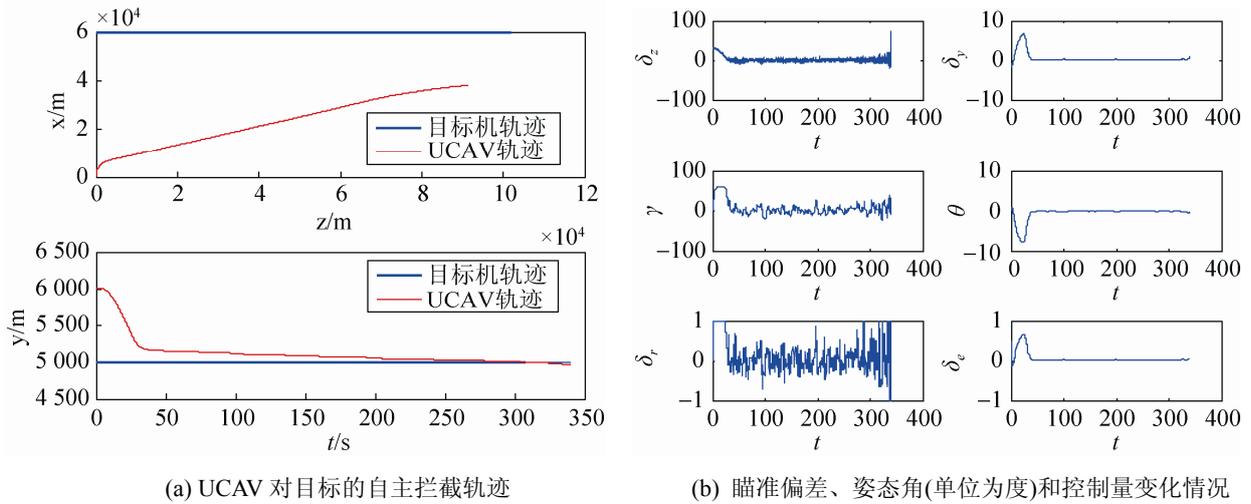


图 2 比例导引仿真结果

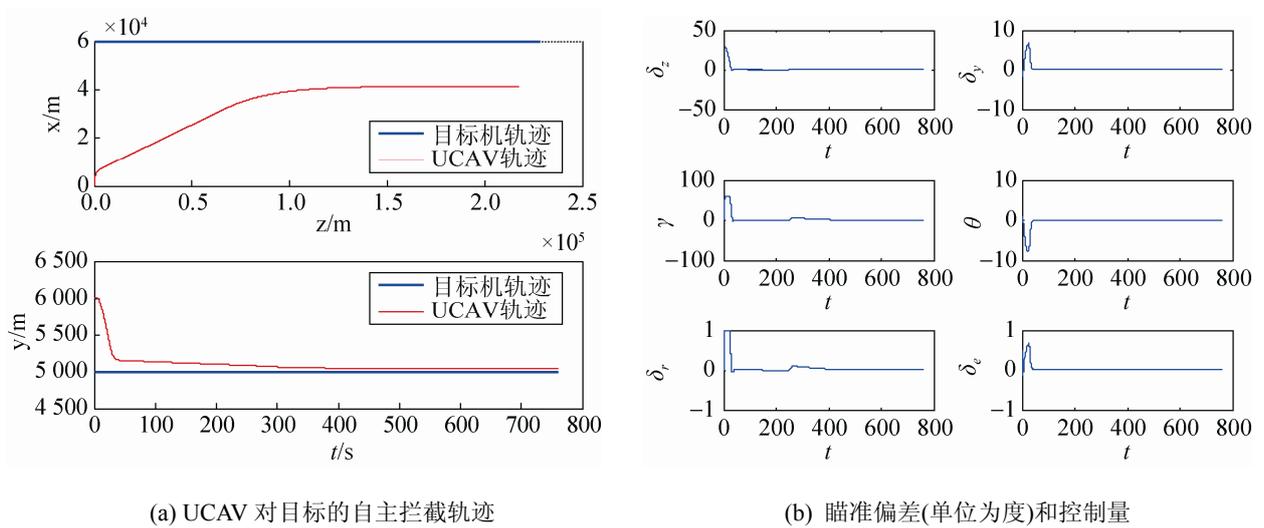


图 3 MPC-PN 仿真结果

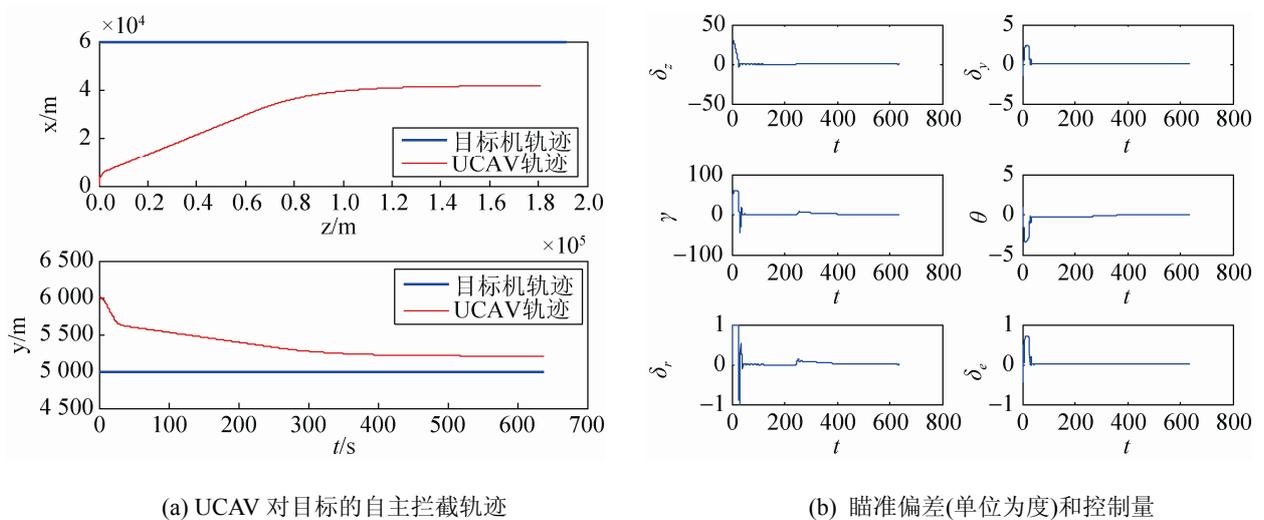


图 4 MPC-PSO 仿真结果

此外,对于直线运动目标,MPC-PN策略在760.4 s、距离目标21.41 km时达成攻击条件;MPC-SAPSO策略在637.9 s、距离目标21.038 km时达成攻击条件。这是因为MPC-PN策略由于采用固定的比例系数,无法保证UCAV自主拦截轨迹最优,而MPC-SAPSO策略由于采用SAPSO进行控制量寻优,对自主拦截轨迹进行了优化,得到了相对较优的轨迹。

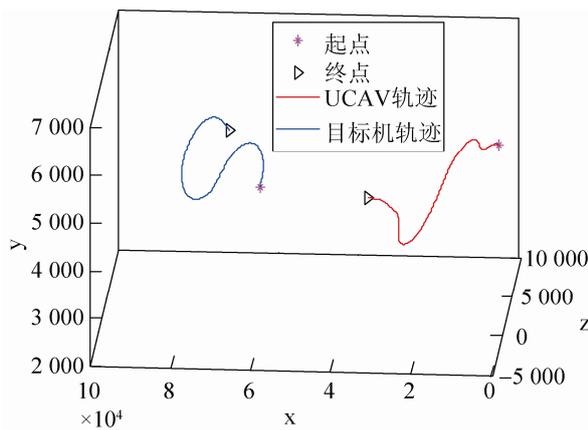
4.2 仿真2:目标作S机动

其他条件同仿真1,目标作S机动。此时MPC-PN策略和MPC-PSO策略的仿真结果分别如图5和图6所示。

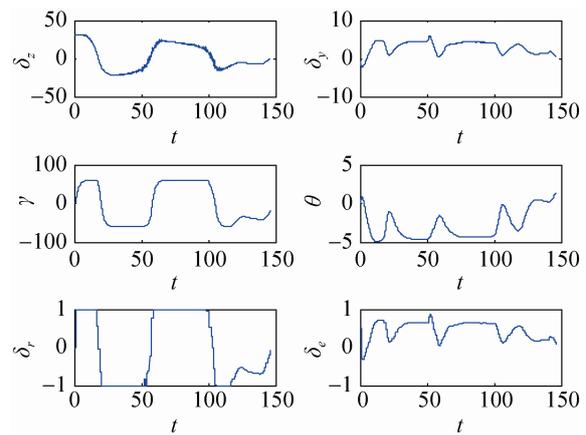
仿真结果表明,MPC-PN策略和MPC-PSO策

略均成功实现了UCAV对该机动目标的自主拦截。其中MPC-PN策略在146.3 s、距离目标30.0 km时达成攻击条件;MPC-SAPSO策略在142.8 s、距离目标30.0 km时达成攻击条件。而且,自主拦截过程中,MPC-SAPSO策略对目标的瞄准偏差 δ_y 小于MPC-PN策略。

总之,以上仿真结果说明,在UCAV自主拦截不同机动目标时,这两种基于MPC的策略都能达成攻击条件,且MPC-PSO策略总体上优于MPC-PN策略,能使UCAV以更短的时间达成攻击条件。当然,由于迭代计算次数增加,MPC-PSO策略算法的实时性远远不如MPC-PN策略,目前仍难以满足实时计算需求。

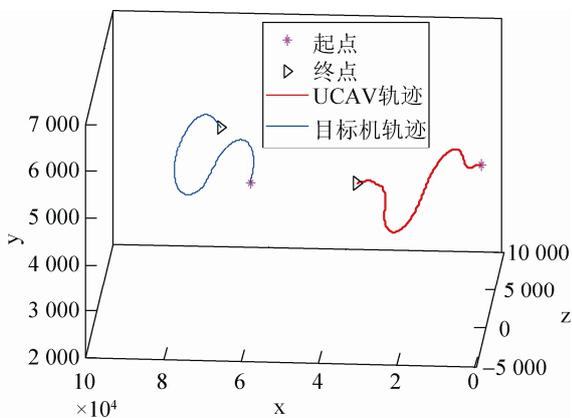


(a) UCAV对目标的自主拦截轨迹

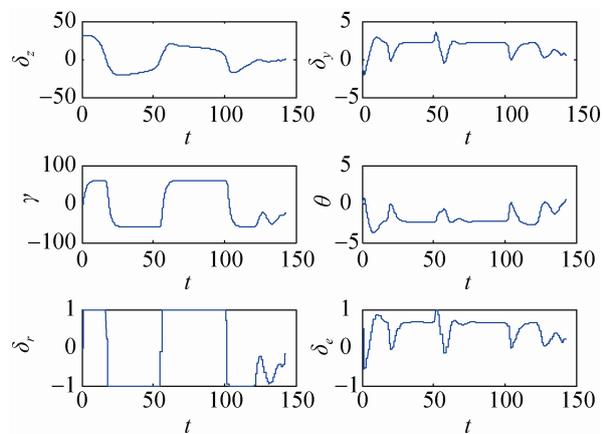


(b) 瞄准偏差(单位为度)和控制量

图5 MPC-PN仿真结果



(a) UCAV对目标的自主拦截轨迹



(b) 瞄准偏差(单位为度)和控制量

图6 MPC-PSO仿真结果

5 结论

本文针对 UCAV 使用空空导弹对空中机动目标实施自主拦截的问题, 建立了 UCAV 的运动模型和前置攻击瞄准模型, 给出了基于前置攻击瞄准偏差矢量方程的偏差角计算方法。为达成导弹攻击条件, 采用了 MPC 方法来消除目标信息周期性缺失的影响, 并在其基础之上提出了 MPC-PN 和 MPC-PSO 两种策略来实现 UCAV 自主拦截。针对直线运动目标和 S 机动目标的自主拦截仿真结果表明, MPC-PN 和 MPC-PSO 两种策略都能较好地满足攻击条件, 且 MPC-PSO 的拦截效果更好。

参考文献:

- [1] N K Ure, G Inalhan. Autonomous Control of Unmanned Combat Air Vehicles: Design of a Multimodal Control and Flight Planning Framework for Agile Maneuvering [J]. IEEE Control Systems Magazine (S1066-033X), 2012, 32(10): 74-95.
- [2] N K Ure, G Inalhan. Feasible Agile Maneuver Identification and Generation Algorithms on Multi Modal Control Framework [C]// AIAA Conf. Guidance Navigation and Control, Chicago, IL, USA, Aug. 21-24, 2009, paper no AIAA-2009-5757. USA: AIAA, 2009: 1-18.
- [3] James S McGrew, Jonathan P How. Air Combat Strategy Using Approximate Dynamic Programming [C]// AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, 18-21 August 2008, Honolulu, Hawaii, USA, paper no. AIAA-2008-6796. USA: AIAA, 2008: 1-20.
- [4] Y Baba, H Takano. Air Combat Guidance Law for an UCAV [C]// AIAA's 1st Technical Conference and Workshop on Unmanned Aerospace Vehicles, 2002, 5, 20-23 May 2002, Portsmouth, Virginia, USA, paper no. AIAA-2002-3427. USA: AIAA, 2002: 1-11.
- [5] 郭昊, 周德云, 张堃. 无人作战飞机空战自主机动决策研究 [J]. 电光与控制, 2010, 17(8): 28-32.
- [6] 张立鹏, 魏瑞轩, 李霞. 无人作战飞机空战自主战术决策方法研究 [J]. 电光与控制, 2012, 19(2): 92-96.
- [7] 黄可栋, 周德云, 周灿辉, 等. 无人作战飞机近距对抗占位策略与方法 [J]. 指挥控制与仿真, 2013, 35(4): 44-48.
- [8] 罗畅, 黄长强, 蔡亚伟, 等. 无人作战飞机对空自主攻击占位研究 [J]. 电光与控制, 2014, 21(9): 19-25.
- [9] 周志刚. 航空综合火力控制原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [10] 钱杏芳, 林瑞雄, 赵亚男. 导弹飞行力学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2011.
- [11] 赵雨, 张斌, 隋永华, 等. 带容许偏差的战斗机近似最优接敌策略 [J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2014, 15(6): 10-14.
- [12] 李国勇. 智能预测控制及其 MATLAB 实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [13] 焦巍, 刘光斌, 张艳红. 求解约束优化的模拟退火 PSO 算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(7): 1532-1536.
- [14] 龚纯, 王正林. 精通 MATLAB 最优化计算 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.