

基于人工势场启发粒子群算法的空战机动决策

张涛^{1,2}, 于雷¹, 周中良¹, 李飞¹

(1. 空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038; 2. 中国人民解放军94831部队, 浙江衢州 324001)

摘要: 以敌我双机空战为背景, 基于滚动时域控制思想对空战机动决策进行研究。借鉴人工势场的思想构建了空战人工势场, 重点分析了人工势场函数的构建, 变权重函数的建立, 提出了人工势场启发粒子群算法的空战机动决策方法, 最后进行仿真验证。仿真结果表明, 该方法能有效消除人工势场的局部极小值问题, 同时也改善了粒子群算法全局搜索能力, 避免了早熟, 得到的结果是有效的。

关键词: 空战; 机动决策; 人工势场; 粒子群算法; 变权重

中图分类号: V271.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)01-0077-06

Decision-Making of Air Combat Maneuvering Based on APF and PSO

ZHANG Tao^{1,2}, YU Lei¹, ZHOU Zhongliang¹, LI Fei¹

(1. Engineering College of Aeronautics and Astronautics, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. No. 94831 Unit of PLA, Quzhou 324001, China)

Abstract: In order to solve the complicated problem of decision-making in modern air combat, a decision-making model based on receding horizon control was established considering a scenario of air combat involving two opposed fighters. Adopting the thought of Artificial Potential Field (APF), the air combat APF was built up, and the establishment of artificial potential function and weight function was studied. A decision-making method for air combat maneuvering based on APF and Particle Swarm Optimization (PSO) was proposed. Simulation results show that this algorithm can avoid the trap of local minimum of APF, improve the global optimization ability of PSO, and can also prevent early maturity.

Key words: Artificial Potential Field (APF); Particle Swarm Optimization (PSO); maneuvering decision-making; variable weight

0 引言

当前, 随着战斗机、机载武器和机载传感器性能不断提高, 现代空战范围不断扩大, 目标、武器以及本机之间的相互关系也变得越来越复杂。为了减轻驾驶员负担, 提高空战效能, 对空战机动决策的研究愈显重要^[1]。针对现代空战的需求, 世界各军事大国都在加紧对空战机动决策及其生成技术的研究和应用开发。空战机动决策问题是 NP 难问题, 目前求解此问题的方法有: 矩阵对策、微分对策、神经网络法、影响图法、

Petri 网法、蚁群算法以及遗传算法等。其中: 矩阵对策与实际空战有较大差距; 微分对策由于求解困难, 难以用于空战机动决策^[2]; 神经网络法很难获得真实的空战数据用以对神经网络进行学习训练; 影响图法及蚁群算法等智能算法的计算时间均较长, 难以满足空战的实时性要求。

滚动时域方法的实质是用随时间反复进行的一系列小规模优化问题求解的过程取代一个静态的大规模优化问题求解的结果, 以达到在优化的前提下降低计算量并适应不确定性变化的目的^[3]。

本文将空战过程分为多个决策过程, 利用滚动时域控制的理论进行求解^[4]。通过建立空战人工势场, 引入威力概念, 利用人工势场启发粒子群算法解决空战机动决策问题。人工势场法与粒子群算法的结合可以有效消除人工势场的局部极小值问题, 同时也克服

收稿日期: 2011-12-26

修回日期: 2012-02-04

基金项目: 航空科学基金(20095196012); 博士生创新基金(Dx2010106)

作者简介: 张涛(1982—), 男, 山东新泰人, 博士生, 研究方向为航空武器系统总体、仿真与控制、空战机动决策。

了粒子群算法容易陷入局部最优的缺点。

1 人工势场和粒子群算法概述

1.1 人工势场

人工势场法(Artificial Potential Field, APF)是由Khatib于1986年提出的一种虚拟场的方法。基本思想是在区域中建立引力场及斥力场共同作用的人工势场,通过搜索势函数的下降方向来寻找无碰撞路径^[5]。

空战中的任何物体都具有一定的威力,作战单元可以攻击、干扰目标,威力显而易见。空中作战单元对周围空域具有一定的威力,为描述威力,借用场的概念引入人工势场。

定义1 战斗机人工势场是指空战中的战斗机,由于本身及其携带武器设备的性能、状态及功能等,对周围作战空域中的每一点产生不同程度的影响,通过势场来定量描述其影响程度,从而形成一种抽象的虚拟场。战斗机人工势场可分为引力势和斥力势^[6]。

定义2 引力势是战斗机依靠本身及机载设备武器对作战空域产生的作用,表示接近对方并将对方置于自己威力最大范围内的趋势。斥力势是空域中的战斗机对其他战斗机产生的威胁作用^[7],任何一架战斗机都产生引力势和斥力势,引力势与斥力势的关系如图1所示。本文研究背景为敌我双机空战,因此不涉及友机之间的斥力势。

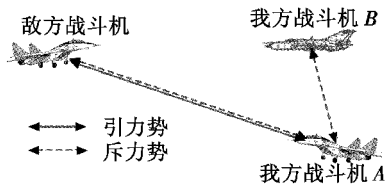


图1 引力势与斥力势示意图

Fig.1 The gravitation potential and repulsion potential

1.2 标准粒子群算法

粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)是Kennedy等在1995年提出的一种智能计算方法^[8]。与其他智能算法相比,PSO容易实现、收敛速度快且可调整参数较少,因此被广泛应用^[9-10]。

在 n 维空间, t 次迭代中,第 i 个粒子的位置表示为 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$,当前速度为 $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$,粒子 i 在过去位置中最优位置为 $P_i^t = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})$,群体中最优位置为 $G_i^t = (g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{in})$ 。在下一轮迭代中,粒子通过式(1)和式(2)调整速度及位置,经过 N 次迭代寻找全局最优解作为问题解。

$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 r_1 (p_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2 r_2 (g_{id}(t) - x_{id}(t)) \quad (1)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t) \quad (2)$$

式中: ω 为惯性权重; c_1 、 c_2 为加速常数; r_1 、 r_2 为 $(0,1)$ 上均匀分布的随机数。

2 空战人工势场的建立

2.1 空战人工势场函数的构建

对战斗机来说,空战人工势场函数主要由以下几个因素构成:角度指数、机动能力指数、隐身能力指数、攻击能力指数、探测能力指数及干扰能力指数。其中机动能力指数、隐身能力指数与战斗机本身固有性能相关,在敌我双方确定后,参数不发生改变;而攻击能力指数、探测能力指数以及干扰能力指数与敌我距离及相关角度有关。因此,构建空战人工势场函数为

$$E = \eta \cdot S_j \cdot S_M \cdot S_S (\omega_1 S_A + \omega_2 S_D + \omega_3 S_I) \quad (3)$$

式中: η 为正比例增益系数; S_j 为角度影响指数; S_M 为机动能力指数; S_S 为隐身能力指数; S_A 为攻击能力指数; S_D 为探测能力指数; S_I 为干扰能力指数; ω_i 为加权系数, $\sum \omega_i = 1$ 。

1) 角度指数。

战斗机要进行目标搜索、跟踪及武器发射、制导,必须控制载机使目标在我机前方一定角度范围内,角度的大小直接影响我机雷达、武器的性能发挥,因此,角度指数的建立主要考虑与雷达最大探测角及空空导弹发射角的关系,角度影响指数表示为^[11]

$$S_j = \begin{cases} 1 - \frac{Q_I}{5\alpha_{\max}}, & |Q_I| \leq 0.5\alpha_{\max} \\ 0.8 - \frac{Q_I - \alpha_{\max}}{2(\beta_{\max} - \alpha_{\max})}, & 0.5\alpha_{\max} < |Q_I| \leq 0.5\beta_{\max} \\ 0.3 - \frac{3(Q_I - \beta_{\max})}{10(\pi - \beta_{\max})}, & 0.5\beta_{\max} < |Q_I| \leq \pi \end{cases} \quad (4)$$

式中: Q_I 为我机速度矢量与目标线的夹角; α_{\max} 为空空导弹最大发射角; β_{\max} 为雷达最大探测角。

2) 机动能力指数。

机动性反映了战斗机迅速改变飞行状态的能力,高机动性可使战斗机快速占据有利攻击位置或摆脱敌机。

机动能力参数通过战斗机最大允许过载 $n_{y_{\max}}$ 、最大稳定盘旋过载 $n_{y_{\text{旋}}}$ 和最大单位剩余功率 P_{SEP} (m/s)来计算^[12]

$$B = n_{y_{\max}} + n_{y_{\text{旋}}} + \frac{3P_{\text{SEP}}}{100} \quad (5)$$

$$S_M = \left(\frac{B}{B_{\max}} \right)^2 \quad (6)$$

式中, B_{\max} 为现役飞机中机动参数最大值。

3) 隐身能力指数。

战斗机的雷达反射面积RCS的大小,直接影响敌机对我机的探测距离、攻击区大小等,也直接关系我机的安全性,因此隐身能力指数对人工势场的形成有至

关重要的作用。隐身能力指数可表示为

$$S_s = \frac{1}{1 + e^{-0.25R_{CS_t}(R_{CS_t} - R_{CS_i} - 0.5R_{CS_s})}} \quad (7)$$

式中: R_{CS_t} 为目标机的雷达反射面积; R_{CS_i} 为我机的雷达反射面积; R_{CS_s} 为门限 RCS 差值。

4) 攻击能力指数。

攻击指数的主要决定因素是载机所携带中距空空导弹及近距格斗弹的射程及发射角, 攻击指数表示为

$$S_A = p_1 \cdot W_{mid} + p_2 \cdot W_{clo} \quad (8)$$

$$\begin{cases} W_{mid} = \begin{cases} 0, & Q_I > 0.5\alpha_{mid,max} \\ e^{\frac{-D^2}{0.32R_{mid}^2}}, & Q_I \leq 0.5\alpha_{mid,max} \end{cases} \\ W_{clo} = \begin{cases} 0, & Q_I > 0.5\alpha_{clo,max} \\ e^{\frac{-D^2}{0.32R_{clo}^2}}, & Q_I \leq 0.5\alpha_{clo,max} \end{cases} \end{cases} \quad (9)$$

式中: W_{mid} 为中距空空导弹性能指数; W_{clo} 为近距格斗弹性能指数; p_i 为加权系数, $\sum p_i = 1$, 具体见式(14); $\alpha_{mid,max}$ 为中距空空导弹最大发射角; $\alpha_{clo,max}$ 为近距格斗弹最大发射角; R_{mid} 为中距空空导弹的射程; R_{clo} 为近距格斗弹的射程; D 为势力源至目标点的距离。

5) 探测能力指数。

一般战斗机机载探测设备有全向告警器、雷达及红外探测器等, 因此, 探测能力主要考虑机载全向告警器、雷达、红外探测器的性能参数, 探测能力指数表示为

$$S_D = \rho_1 \cdot W_{ala} + \rho_2 \cdot W_{rad} + \rho_3 \cdot W_{in} \quad (10)$$

$$\begin{cases} W_{ala} = e^{\frac{-D^2}{0.32R_{ala}^2}} \\ W_{rad} = \begin{cases} 0, & Q_I > 0.5\beta_{max} \\ e^{\frac{-D^2}{0.32R_{rad}^2}}, & Q_I \leq 0.5\beta_{max} \end{cases} \\ W_{in} = \begin{cases} 0, & Q_I > 0.5\gamma_{max} \\ e^{\frac{-D^2}{0.32R_{in}^2}}, & Q_I \leq 0.5\gamma_{max} \end{cases} \end{cases} \quad (11)$$

式中: W_{ala} 为全向告警器性能指数; W_{rad} 为雷达探测能力指数; W_{in} 为红外探测器探测能力指数; ρ_i 为加权系数; $\sum \rho_i = 1$ 具体见式(14); β_{max} 为雷达最大搜索方位角; γ_{max} 为雷达最大搜索方位角; R_{ala} 为全向告警器的作用距离; R_{rad} 为雷达最大探测距离; R_{in} 为红外探测器的最大探测距离。

6) 干扰能力指数。

电子战已经成为现代战争中必不可少的重要组成部分, 发挥的作用愈显重要, 干扰方式种类繁多, 本文主要考虑机载电子干扰吊舱的干扰作用, 干扰能力指数表示为

$$S_I = \begin{cases} 0, & |Q_I| > 0.5\theta \\ e^{\frac{-D^2}{0.32R_{I}^2}}, & |Q_I| \leq 0.5\theta \end{cases} \quad (12)$$

式中: R_{min} 为电子干扰吊舱最小有效干扰距离; θ 为有效干扰扇面。

2.2 变权重的确定

空战态势是决策者进行空战决策的依据, 空战态势以及时间阶段的不同对各指数的敏感度也就不同, 为体现决策者的经验和偏好^[13], 以及不同作战态势及作战阶段下各指数重要程度的变化, 对加权系数进行调整。根据空战机动决策过程中各指数的重要性, 确定第 i 指数的权重为

$$\omega_i = \omega_{i0} + k_i e^{-\frac{D^2}{0.32(1.5R_{mid})^2}} \quad (13)$$

式中: ω_{i0} 为第 i 影响因素的初始权重 $\sum \omega_{i0} = 1$; k_i 为其调节系数, $\sum k_i = 0$ 。

不同作战环境下, 对各种传感器、武器的使用也不尽相同, 因此, 本文中攻击指数及探测指数中的加权系数 p 和 ρ 也根据空战态势及时间阶段的不同, 进行加权系数的调整。

$$\begin{cases} p_i = p_{i0} + l_i e^{-\frac{D^2}{0.32(1.5R_{mid})^2}} \\ \rho_i = \rho_{i0} + m_i e^{-\frac{D^2}{0.32(1.5R_{mid})^2}} \end{cases} \quad (14)$$

式中: p_{i0}, ρ_{i0} 为初始权重; l_i, m_i 为调节系数; $\sum p_{i0} = 1$; $\sum \rho_{i0} = 1$; $\sum l_i = 0$; $\sum m_i = 0$ 。

3 机动决策模型的建立

通过人工势场确定威力概念, 分情况结合威力及粒子群算法, 建立空战机动决策模型。

3.1 人工势场的威力

威力表示战斗机对于作战空域内某点的威胁程度的变化趋势, 其本身并不存在, 是一种虚拟力。根据人工势场的不同, 威力又可分为引力和斥力。假设在作战空域内, 战斗机位置为 $A(x_a, y_a, z_a)$, 产生的引力势为 U_A , 某点的位置为 $B(x, y, z)$, 则战斗机对 $B(x, y, z)$ 点产生的引力为

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{graA}(B) &= -\text{grad } U_A(B) = \\ &= -\left(\frac{\partial U_A(B)}{\partial x}i + \frac{\partial U_A(B)}{\partial y}j + \frac{\partial U_A(B)}{\partial z}k\right) \end{aligned} \quad (15)$$

人工势场的梯度表示该点人工势场的最大变化率和变化方向, 负方向则表示人工势场的最大减小率方向, 斥力的计算方法相同。

在空战中, 战斗机机动决策的目的是占据有利战术位置并实施攻击。在一对一空战中, 设我方战斗机在 A 点, 目标战斗机在 B 点, 我方战斗机对 B 点目标战斗机的引力势为 $U_A(B)$, 目标对 A 点我方战斗机的引力势为 $U_B(A)$, 目标战斗机对我机的引力为 $\mathbf{F}_{graB}(A)$, 对我机的斥力为 $\mathbf{F}_{repB}(A)$ 。

$$\begin{cases} F_{\text{gra}B}(A) = -\text{grad } U_A(B) \\ F_{\text{rep}B}(A) = -\text{grad } U_B(A) \end{cases} \quad (16)$$

如图 2 所示,将 $F_{\text{gra}B}(A)$ 平移至我方战斗机,则合威力 F 为 $F_{\text{gra}B}(A)$ 和 $F_{\text{rep}B}(A)$ 的矢量和,则

$$F = F_{\text{gra}B}(A) + F_{\text{rep}B}(A) \quad (17)$$

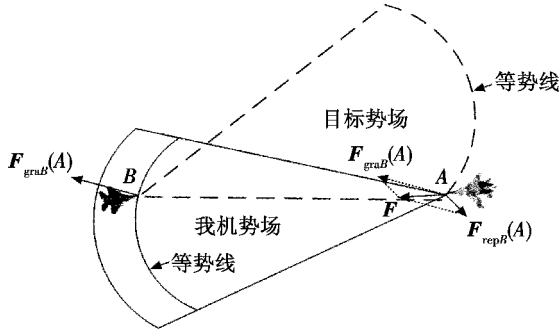


图 2 一对一人工势场示意图

Fig. 2 The artificial potential field of two opposed fighters

3.2 控制量分析

本文假设飞机质量为常数,将飞机视为质点,在地理坐标系(北-天-东)中,用 3 个描述质心运动的运动学方程确定飞机的运动规律。假设飞机侧滑角和迎角均为 0° ,发动机安装角为 0° ,则飞机的运动学方程为

$$\begin{cases} dx/dt = V \cos \theta \cos \varphi \\ dy/dt = V \sin \theta \\ dz/dt = V \cos \theta \sin \varphi \end{cases} \quad (18)$$

$$\dot{V} = a; \dot{\theta} = \Delta\theta; \dot{\varphi} = \Delta\varphi \quad (19)$$

式中: V 为飞机的速度; θ 为飞机航迹俯仰角; φ 为飞机航迹偏转角; a 为飞机加速度; $\Delta\theta$ 为飞机航迹俯仰角变化率; $\Delta\varphi$ 为飞机航迹偏转角变化率。

为方便计算,假设敌我双方保持某水平面内恒速运动。定义状态向量为 $s = [x_r, z_r, \varphi_r, x_b, z_b, \varphi_b]^T$, x_r, z_r, φ_r 分别为我机在 x 方向、 z 方向的位置坐标和航迹偏转角, x_b, z_b, φ_b 分别为敌机在 x 方向、 z 方向的位置坐标和航迹偏转角。

其中,我机位置坐标 x_r, z_r 可由我机的航迹偏转角 φ_r 及我机速度计算得到。由于假设我机速度恒定,因此,飞机的运动轨迹主要取决于每时刻的航迹偏转角 φ_r , 而 φ_r 的变化则取决于我机的角速度 $\dot{\varphi}_r$ 。假设我机的可用盘旋角速度 $\dot{\varphi}_r$ 范围已知,则可确定一定时间内我机的可达域,如图 3 中 \widehat{AB} 所示。

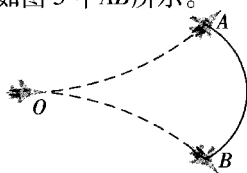


图 3 飞机水平可达域示意图

Fig. 3 The attainable field of fighter

3.3 机动决策控制

空战是高速行动,战机稍纵即逝,因此计算效率在实际机动决策中尤为重要。为提高机动决策的效率,根据我方战斗机是否在敌机势场范围内,将空战态势分为两种情况分别进行机动决策研究,决策流程见图 4。

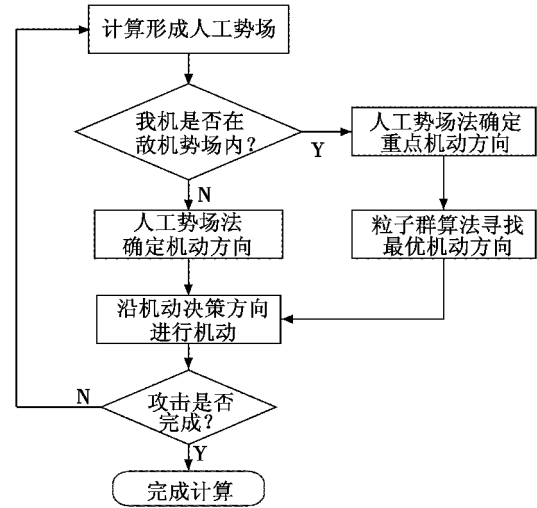


图 4 机动决策流程图

Fig. 4 The flow chart of decision-making for maneuvering

1) 我机不在敌机的人工势场的范围内时,我机只受引力势的作用,此时,我机机动方向很明确,尽可能沿引力方向机动,使敌机落入我方人工势场最大的区域。此时,按照式(20)进行机动决策。

决策方法:根据威力 F 的方向,结合我机的飞行可达域等约束条件控制飞机飞行方向。假设在 t 时刻 A 点,我方战斗机所受威力 F 与地理坐标系北向的夹角为 φ_{FA} ,我机的航迹偏转角为 φ_r ,在 Δt 时间内我机水平方向可机动角度为 $\varphi_{\Delta r}$,则我机机动决策目标函数为

$$\min f = \begin{cases} |\varphi - \varphi_{FA}|, & |\varphi - \varphi_{FA}| \leq 180^\circ \\ 360 - |\varphi - \varphi_{FA}|, & 180^\circ < |\varphi - \varphi_{FA}| \leq 360^\circ \end{cases}$$

$$\varphi \in [\varphi_r - \varphi_{\Delta r}, \varphi_r + \varphi_{\Delta r}] \quad (20)$$

其中, $\varphi_{\Delta r}$ 根据 $\dot{\varphi}$ 算得,计算所得 φ 即为下一时刻机动方向。

当我方飞机所处空间位置的合力为零时,飞机陷入局部极小点而无法确定飞行方向,此时,我方飞机按照原飞行方向继续飞行。

2) 当敌我双方都落入对方的人工势场范围时,由于叠加后人工势场函数的非线性及分段性,人工势场法有可能陷入局部最优,此时使用粒子群算法结合人工势场,在当前飞行方向的可机动范围内进行寻优,适应度函数为搜索区域内叠加后的人工势场和,通过改进粒子群算法加强在合威力方向的寻优,改进后粒子群算法如下。

$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 r_1 (p_{id}(t) - x_{id}(t)) +$$

$$c_2 r_2 (g_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_3 r_3 (f_{id}(t) - x_{id}(t)) \quad (21)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t) \quad (22)$$

式中： c_3 为加速常数； r_3 为(0,1)上均匀分布的随机数； $f_{id}(t)$ 表示由式(20)计算得到的位置参数；其余参数如上表示。通过添加 $c_3 r_3 (f_{id}(t) - x_{id}(t))$ 项，可以增加对人工势场合威力求解区域的搜索，从而大大提高算法的收敛速度及计算效率，保证机动决策方向的最优性。

4 仿真分析

仿真条件：假设敌我两架战斗机进行空战，我机坐标为(0 m,4000 m,0 m)，速度为310 m/s，初始航迹偏转角为0°，雷达反射面积为2 m²；中距空空导弹最大射程为70 km，最大发射角为120°，近距格斗弹最大射程为15 km，最大发射角90°；雷达最大搜索距离为120 km，最大搜索方位角为120°；红外探测器最大搜索距离为50 km，最大搜索方位角为60°；全向告警器的作用距离为140 km；干扰吊舱的最小有效干扰距离为40 km，有效干扰扇面为50°；机动能力参数为24，我机可以从地面指挥所或空中预警机得到目标概略位置信息。

敌机速度为300 m/s，初始航迹偏转角为180°，雷达反射面积为3 m²，中距空空导弹最大射程为60 km，最大发射角为120°，近距格斗弹最大射程为15 km，最大发射角为90°；雷达最大搜索距离为110 km，最大搜索方位角为120°；红外探测器最大搜索距离为50 km，最大搜索方位角为50°；全向告警器的作用距离为130 km；干扰吊舱的最小有效干扰距离为40 km，有效干扰扇面为50°；机动能力参数为24；敌机按照预定轨迹飞行。

门限RCS差值为1，增益系数为10，现役飞机中机动参数最大值为27，人工势场总初始权重为(0.35, 0.55, 0.1)，调节系数为(0.2, -0.4, 0.2)；攻击能力指数初始权重为(0.7, 0.3)，调节系数为(-0.5, 0.5)；探测能力指数初始权重为(0.4, 0.3, 0.3)，调节系数为(-0.3, 0.2, 0.1)；粒子规模为15，搜索空间维数为2，起始权重为0.7，最大迭代次数为50，加速常数为 $c_1 = c_2 = c_3 = 1.5$ 。

仿真1 超视距空战，敌机坐标为(10000 m,4000 m,80000 m)，其他条件如上所述，每12 s决策一次，仿真结果如图5、图6所示。

仿真2 近距格斗空战，敌机坐标为(15000 m, 4000 m,10000 m)，我机性能参数同仿真1，敌机性能参数与我机相同，每3 s进行一次机动决策，仿真结果如图8、图9所示。

由图5可知，由于我机RCS值小，且部分传感器及武器性能优于敌机，因此我机比敌机产生的人工势场范围更广、威胁更大，在空战中占据优势。

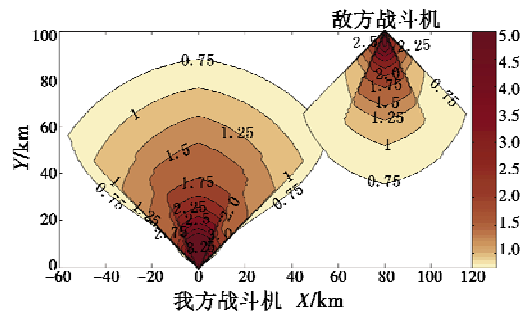


图5 远距空战中人工势场分布图

Fig. 5 The artificial potential field of beyond visual range air combat

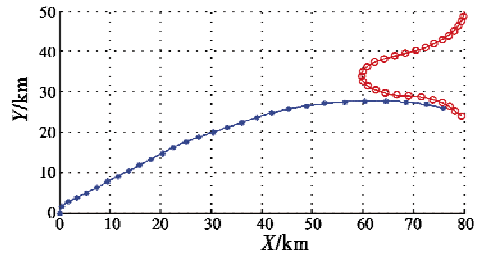


图6 远距空战机动决策轨迹图

Fig. 6 The maneuvering track of beyond visual range air combat

由图6可知，在初期我机利用RCS值小、设备性能优越等优势，且我机没有在敌机的人工势场范围内，利用人工势场法控制飞机将敌机控制在我机人工势场范围内。在进行到第14次决策时，敌机已经进入我机导弹攻击区内，敌机开始逃逸，我机继续追击；后期我机占据绝对优势，我机进入尾后攻击区域；由图7可知，该算法寻优速度较快，在第24次迭代时已经达到最优。

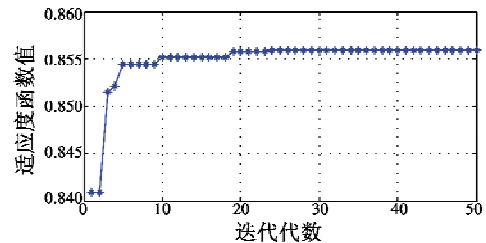


图7 第14次决策中的适应度变化图

Fig. 7 The fitness of the 14th decision-making

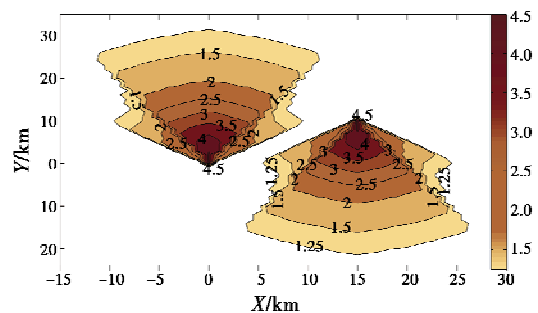


图8 近距空战中人工势场分布图

Fig. 8 The artificial potential field of close-range air combat

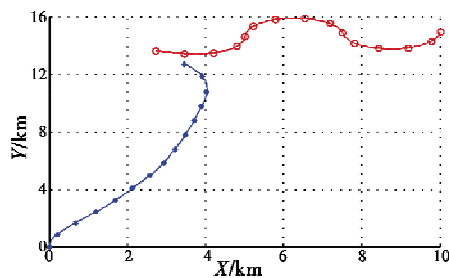


图9 近距空战机动决策轨迹图

Fig. 9 The maneuvering track of close-range air combat

由图8、图9可以知道,初期敌我双方均未处于对方人工势场范围内,我机首先通过其他支援信息进行决策,当进行第2次决策时,敌我双方都进入对方人工势场范围内,此时我机通过人工势场启发粒子群算法方法进行决策,迅速机动将敌方控制在我方人工势场最强的方向,并最后实现了我机的尾后攻击。仿真结果验证,通过人工势场启发粒子群算法的空战机动决策方法计算得到的机动决策结果完全达到了机动决策的目的。

5 结论

本文基于人工势场启发粒子群算法对战斗机空战机动决策问题进行了研究,建立了空战人工势场函数,研究了基于空战人工势场的威力,提出人工势场启发粒子群算法的空战机动决策方法,根据敌我人工势场分布情况分别利用人工势场方法和人工势场启发粒子群算法进行机动决策,并分别对超视距空战及近距格斗空战进行仿真,仿真结果表明:基于人工势场启发粒子群算法的空战机动决策是有效的,可以有效避免粒子群算法陷入局部最优,为空战机动决策研究提供了一种新的方法。

参考文献

(上接第35页)

- with greedy eugenics[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics (Part B), 2003, 33(1): 113-121.
- [7] BRIAN G. Aerial combat manoeuvre identification—a feasibility study of an intelligent decision support system [C]//Sim-TecT2000 Conference, 2000.
- [8] 赵威,周德云.专家系统在空战多目标攻击排序中的应用[J].电光与控制,2008,15(2):23-26.
- [9] 朱秋芳.歼击机超机动飞行控制及多机协同多目标攻击技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2007.
- [10] HAMALAINEN V P. A decision analytic simulation approach to a one-on-one air combat game [D]. Finland: Helsinki University of Technology Systems Analysis Laboratory, 2002.
- [11] 董彦非,郭基联,张恒喜.空战机动决策方法研究[J].火力与指挥控制,2002,27(2):75-78.
- [1] MCGREW J S, HOW J P, WILLIAMS B, et al. Air-combat strategy using approximate dynamic programming [J]. Journal of Guidance Control and Dynamics, 2010, 33(5): 1641-1654.
- [2] 罗德林,沈春林,吴文海,等.空战格斗决策研究[J].应用科学学报,2006,24(1):89-93.
- [3] 刘东坡.基于滚动机制的有限时域设备更新方法[D].济南:山东大学,2010.
- [4] CARTER B R. Time-optimization of high performance combat maneuvers [D]. Monterey:Naval Postgraduate School, 2005.
- [5] 王飞,李成功,徐肖豪.基于人工势场-人工鱼群算法的改航路径规划[J].航空计算技术,2011,41(2):5-9.
- [6] 魏贤智,庞春雨,孙亮,等.战斗机人工势场在主从编队引导控制中的应用[J].电光与控制,2010,17(3):51-56.
- [7] 周焘,任波,于雷.战斗机指挥引导中的威力场模型[J].火力与指挥控制,2009,34(9):84-87,91.
- [8] 杨永生.一种自适应调节粒子群优化算法的研究[J].西安科技大学学报,2011,31(3):356-362.
- [9] 刘波.粒子群优化算法及其工程应用[M].北京:电子工业出版社,2010.
- [10] 刘建军.基于寿命的粒子群算法研究[J].计算机应用与软件,2011,28(6):157-160.
- [11] 肖冰松,方洋旺,胡诗国,等.一种新的超视距空战威胁评估方法[J].系统工程与电子技术,2009,31(9):2162-2166.
- [12] 朱宝珊,朱荣昌,熊笑非.作战飞机效能评估[M].2版.北京:航空工业出版社,2006.
- [13] 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.

本刊国内邮发代号为 36-693 欢迎订阅