

文章编号: 1001-0920(2004)11-1308-04

基于遗传算法的动态资源调度问题研究

余舟毅, 陈宗基, 周 锐

(北京航空航天大学 自动化学院, 北京 100083)

摘 要: 建立了无人作战飞机任务规划问题的数学模型, 提出了分层递阶的任务规划系统结构. 针对任务规划的核心资源调度问题, 设计了基于遗传算法的动态资源调度算法, 有效地解决了多无人作战飞机的资源调度问题. 计算结果表明了算法的有效性.

关键词: 任务规划; 资源调度; 遗传算法

中图分类号: TP273.23

文献标识码: A

On dynamic resource scheduling based on genetic algorithm

YU Zhou-yi, CHEN Zong-ji, ZHOU Rui,

(College of Automatic Control, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China. Correspondent: YU Zhou-yi, Email: yzy@dept3.buaa.edu.cn)

Abstract: For the problem of mission planning for multi uninhabited combat aerial vehicles (UCAV), a mathematic model is built and a hierarchical architecture of UCAV mission planning system is presented. As the key part of mission planning, the resource scheduling problem is discussed in detail and a resource scheduling algorithm based on genetic algorithm is designed. The calculation result shows the effectiveness of the algorithm.

Key words: mission planning; resource scheduling; genetic algorithm

1 引 言

无人作战飞机(UCAV)是现代作战武器系统综合化、智能化和无人化发展的必然产物^[1], 是一种先进、复杂的武器系统. 其复杂性主要体现为任务和管理调度的复杂性. 为保证UCAV能够正确、可靠、高效地完成复杂的作战任务, 必须研究UCAV的任务规划问题. 任务规划的核心内容是资源调度问题. 资源调度是指根据我方资源、作战任务和战场态势, 进行目标分配、弹药配给和战术安排, 并为路径规划提供规划目标和约束. 它作为任务规划的核心环节, 将直接决定作战的效能甚至成败. 而其中的建模复杂性、组合多样性、信息不确定性、战场对抗性和计算复杂性等各种因素, 使资源调度尤其是动态资源调

度问题, 到目前为止仍是一个具有挑战性的课题^[2].

资源调度中的目标分配问题已得到了广泛的研究, 其中遗传算法和整数规划算法占据了主导地位^[3~6]. 但对于以UCAV任务规划作为背景的资源调度问题, 尤其对动态资源调度问题的研究却较少. 为此, 本文提出了UCAV系统分层递阶的任务规划系统结构, 在此基础上重点研究了基于遗传算法的资源调度算法.

2 UCAV系统的任务规划问题

任务规划是指从可攻击的目标集合(T)中选取目标, 从可用的UCAV(U)中选取UCAV进行目标分配, 为选中的UCAV从可飞路径(R)中选择最优路径, 从可选的战术动作(A)中选择战术动作, 生成

收稿日期: 2004-01-05; 修回日期: 2004-05-09

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(90205011); 航空科技联合基金资助项目(1037701).

作者简介: 余舟毅(1977—), 男, 湖南湘阴人, 博士生, 从事人工智能、动态规划等研究; 陈宗基(1943—), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 从事自适应控制、混杂系统等研究.

使作战效能最大化的作战计划 因此,UCAV 系统的任务规划是一个大规模的带有不确定性因素的优化问题,可表示为

$$\text{Max}_{\substack{T \\ R, A}} \{E(v(\text{tar}_i)) - E(\text{cost}(\text{tar}_i))\} \quad (1)$$

其中: tar_i 为目标集中的第 i 个目标, $v(\text{tar}_i)$ 为目标 tar_i 的价值, $E(v(\text{tar}_i))$ 为UCAV 成功捕获、摧毁目标 tar_i 获得的期望收益值, $E(\text{cost}(\text{tar}_i))$ 为攻击目标 tar_i 所需代价的期望值

为避免任务规划中出现“组合爆炸”,对式(1)所示的任务规划问题进行分解,采用分层递阶的结构建立任务规划系统,如图 1 所示

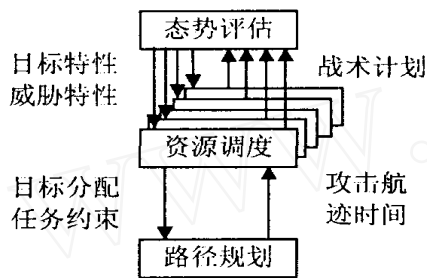


图 1 分层递阶的任务规划系统结构

任务规划可分解为以下部分:

- 1) 进行目标分析和威胁评估,主要进行目标的重要性分析、关联性分析、威胁分析等战场态势评估过程;
- 2) 根据分析和评估结果进行资源调度,主要进行目标分配、战术动作的规划等过程;
- 3) 根据资源调度提供的分配结果和任务约束进行路径规划,主要进行多机的协同路径规划以及单机路径规划

资源调度是根据态势评估结果将我方资源进行分配和调度,为路径规划提供规划目标和规划约束,是系统承上启下的核心环节,直接决定系统的作战效能 由于遗传算法具有全局最优和并行计算等特点,可有效地解决UCAV 系统的资源调度问题

3 基于遗传算法的资源调度算法

3.1 资源调度问题建模

假设我方资源包括 U 架UCAV, 每架UCAV 的弹药量有限,一次只能攻击一个目标 UCAV 携带弹药用向量 $M = \{m_i\} (i = 1, 2, \dots, U)$ 表示,其中 $m_i = \{\alpha_j\}, \alpha_j (j = \{1, 2, \dots, d\})$ 为弹药的类型;UCAV 的攻击方式用向量 $A = \{a_i\} (i = 1, 2, \dots, U)$ 表示,其中 $a_i = \{\beta_j\}, \beta_j (j = \{1, 2, \dots, q\})$ 为可用的攻击战术动作,不同的攻击方式对应不同的投弹命中率

P_{mz} , 进入目标概率 P_{jr} ,UCAV 遭防空火力杀伤概率 P_{fk} 和攻击目标概率 P_{gj} . 设每架UCAV 的价值为 $V_U = \{v_{ui}\} (i = 1, 2, \dots, U)$, v_{ui} 为UCAV 类型及其携带武器数量和类型的函数,设其形式为

$$v_u = v_{ucav} + v_m \times m. \quad (2)$$

其中: v_{ucav} 为UCAV 自身的价值, v_m 为UCAV 携带武器中单枚武器的价值, m 为携带该武器的数量(设UCAV 只能携带一种武器).

为达到某一作战意图,我方可以向敌方的 T 个目标发动攻击 设目标的价值为 $V_T = \{v_{ti}\}$, 目标的防空能力为 $F = \{f_i\}$, 目标的承受能力为 $C = \{c_i\}$, 其中 $i = 1, 2, \dots, T$.

设每个目标上分配了 N 架UCAV, 则目标被摧毁的概率为

$$P_{kj} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{mzi} \times P_{jri} \times P_{gji} \times H_i), \quad (3)$$

其中 H_i 为目标毁伤系数,定义为当量打击能力指数与目标承受能力指数之比^[7].

摧毁目标所获得的价值为

$$X = \sum_{j=1}^T v_{tj} \times P_{kj}. \quad (4)$$

设目标的防空系统能够攻击所有攻击该目标的UCAV, 则UCAV 被摧毁的概率为

$$P_{dj} = P_{fkj} \times f_j; \quad (5)$$

UCAV 被摧毁的代价为

$$Y = \sum_{j=1}^U v_{uj} \times P_{dj}. \quad (6)$$

资源调度问题是指将我方的资源进行组合,分配到不同的敌方目标上,使

$$J = \mu X - \gamma Y \quad (7)$$

的作战效能最大化 其中 μ 和 γ 为权重,用于均衡完成作战任务所获得的成果和付出的代价,本文 μ 和 γ 都取 1.

3.2 基于遗传算法的资源调度算法

资源调度问题是一个大规模、多约束的优化问题,当参战的UCAV 数目和敌方目标数目增加时,搜索空间将呈指数率增长,出现“组合爆炸”问题 对于许多利用传统数学方法难以解决或明显失效的复杂优化问题,遗传算法是一种有效的解决方法^[8]. 针对UCAV 的资源调度问题,采用遗传算法设计的动态资源调度算法如下.

1) 基因编码

针对本文问题的特点,基因编码采用如下所示

的整数编码方式:

$$G = [x_1 \dots, x_U \ y_1 \dots, y_U \ z_1 \dots, z_U] \quad (8)$$

其中: $x_i \in \{1, 2, \dots, T\}, i = 1, 2, \dots, U$, 表示第 i 架UCAV 分配到第 x_i 个目标; $y_i \in M, i = 1, 2, \dots, U$, 表示第 i 架UCAV 携带 y_i 类的武器; $z_i \in A, i = 1, 2, \dots, U$, 表示第 i 架UCAV 采用 z_i 类的战术动作

采用该基因编码方法获得的染色体是一种动态染色体, 对于不同的资源配给和任务要求, 无需改变算法即可直接进行计算 因此, 本算法是一种动态资源调度算法

2) 适应度函数

在遗传算法中适应度函数占有重要的地位, 它直接关系到下一代基因的产生 适应度函数采用与式(7) 相同的目标函数形式

$$\text{fitness} = \sum_{i=1}^T v_{ii} \times P_{ki} - \sum_{j=1}^U v_{uj} \times P_{dj} \quad (9)$$

3) 选择运算

选择策略采用轮转法^[8], 将种群中所有个体适应度的总和看作一个轮子的圆周, 而每个个体按其适应度在总和中所占的比例占据轮子的一个扇区 每次个体的选择可看作轮子的一次转动, 它转到哪个扇区停下来, 哪个扇区对应的染色体就被选中

4) 交叉运算

交叉运算如下:

$$S = NT(Y \times M + (1 - Y)F) \quad (10)$$

其中: S 为交叉运算产生的新个体, M 和 F 为从父种群中随机选取的父染色体, Y 为 $[0 \sim 1]$ 间的随机数, $NT(\cdot)$ 定义为取整函数

5) 变异运算

变异运算如下:

$$S = F + \mu \quad (11)$$

其中: S 为变异运算产生的新个体; F 为从父种群中随机选取的父个体; μ 为 $[0, g/2]$ 间的随机整数, g 为基因可行解的最大值

为保证算法的收敛方向, 计算过程中生成的最好个体将直接进入下一代 当算法的迭代次数等于给定的迭代次数时, 算法停止, 选择最优个体作为问题的解

3.3 计算案例分析

我方UCAV 架数为 $U = 10$, 目标数目为 $T = 15$. UCAV 能够携带两种武器中的一种, 所有目标的承受能力指数相同, 毁伤系数只与武器的类型相关 那么 $M = \{0 \ 1\}$, 武器对应的毁伤系数为 $H = \{0 \ 7 \ 1\}$, 武器对应的价值为 $V_m = \{1 \ 2\}$. UCAV

的价值为 20 UCAV 的攻击机动包括 6 种: 1) 水平进入 20° 俯冲攻击; 2) 水平进入 30°~45° 俯冲攻击; 3) 急上升转弯俯冲攻击; 4) 筋斗俯冲攻击; 5) 半筋斗俯冲攻击; 6) 水平轰炸 $A = \{a_i\}, i = 0, 1, \dots, 5$, 对应的 P_{mz}, P_{jr}, P_{fjk} 和 P_{gj} 的相对值如表 1 所示 设水平进入 30°~45° 俯冲攻击的特性数据为 $P_{mz} = 0.35, P_{jr} = 0.55, P_{fjk} = 0.85, P_{gj} = 0.85$, 结合表 1 即可计算所有攻击方式的特性数据 目标价值为

$$V_i = [50, 60, 55, 70, 100, 200, 150, 250, 75, 130, 175, 300, 205, 110, 270]$$

表 1 攻击方式比较

攻击方式	1)	2)	3)	4)	5)	6)
P_{mz}	0.5	1	2.5	2.5	2.5	0.01
P_{jr}	0.69	1	1.5	0.36	0.87	0.13
P_{fjk}	0.71	1	1.1	1.05	0.83	0.79
P_{gj}	1.2	1	1.1	0.83	1.1	0.98

设目标的防空能力与目标的价值成正比, 满足

$$f = \begin{cases} 0.3, & 0 < V_{ii} < 50; \\ 0.5, & 50 < V_{ii} < 100; \\ 0.7, & 100 < V_{ii} < 200; \\ 0.8, & 200 < V_{ii} < 400 \end{cases} \quad (12)$$

采用种群为 5 000 时, 算法得出的最好解为

$$G = [8 \ 14 \ 13 \ 12 \ 10 \ 7 \ 11 \ 6 \ 5 \ 9 \\ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2]$$

从结果可以看出, 价值高的目标(价值从高到低的 10 个目标为 11, 14, 7, 12, 5, 10, 6, 9, 13, 4)基本上都分配了UCAV 进行攻击; 由于毁伤系数对适应度函数的影响大于弹药价值, 火力配置都选择了毁伤系数为 1 的弹药; 攻击方式 2(急上升转弯俯冲攻击)是实战中效果最好的攻击投弹方式 因此, 算法的分配结果是合理的 从图 2 所示算法的收敛过程可以看出, 算法具有较好的收敛性

算法采用 C++ 实现, 在 Pentium IV 计算机上运行 针对相同的问题和数据, 采用不同的种群规模

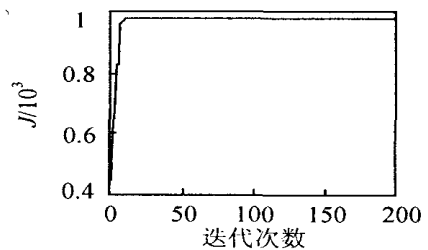


图 2 算法的收敛过程

进行计算, 得到算法的结果如表 2 所示

表 2 不同种群下算法 50 次运算的统计结果

种群数目	最大值	平均值	方差	一次运算时间/s
1 000	1 023 030	887.834	46 920	5
2 000	1 055 608	900 255	48 158	10
3 000	1 020 766	903 199	47 945	17
5 000	1 063 420	905 982	44 460	36

从表 2 可以看出, 种群增大可以使最好解的平均值增大, 说明种群数目增大可以使算法获得最好解的机会增大, 算法结果的方差始终较小, 说明算法的收敛比较平稳。另外, 算法的运算时间较短。

4 结 论

UCAV 的任务规划问题是一个大规模的复杂的优化问题。本文建立了 UCAV 任务规划问题的数学模型, 提出了分层递阶的任务规划系统结构。针对任务规划的核心问题资源调度, 建立了数学模型, 采用遗传算法设计了动态资源调度算法, 有效地解决了 UCAV 任务规划中的资源调度问题。从计算案例结果可以看出, 算法结果科学合理, 收敛速度快且收敛平稳, 是一种快速有效的动态资源调度算法。

参考文献(References):

- [1] Chandler P R, Pachter M. Research issues in autonomous control of tactical UAVs [A]. *Proc of the American Control Conf* [C]. Philadelphia, 1998. 394-398
- [2] Jovan D Boskovic, Ravi Prasanth, Raman KM ehra. A

multi-layer architecture for intelligent control of unmanned aerial vehicles [A]. *AIAA* [C]. 2002. 3473

- [3] Lee Zne jung, Su Shun feng, Lee Chou yuan. Efficiently solving general weapon-target assignment problem by genetic algorithms with greedy eugenics [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 2003, 33(1): 113-121.
- [4] Abraham s P, Balart R, Byrnes J S, et al. MAA P: The military aircraft allocation planner [A]. *The 1998 IEEE Int Conf on Evolutionary Computation Proc* [C]. Anchorage, 1998. 336-341.
- [5] Sushil J Louis, John M cDonnell, Nick Gizzi. Dynamic strike force asset allocation using genetic search and case-based reasoning [A]. *Proc of the Sixth Conf on Systems, Cybernetics, and Informatics* [C]. Orlando, 2002. 855-861.
- [6] Balart R, Byrnes J S, Cochran D, et al. Decision aids for asset-to-objective allocation [A]. *1995 Conf Record of the Twenty-Ninth Annual Conf on Signals, Systems and Computers* [C]. Pacific Grove, 1995. 807-811.
- [7] 黄俊, 孙义东, 武哲, 等. 战斗机对地攻击作战效能分析 [J]. *北京航空航天大学学报*, 2002, 28(3): 354-357. (Huang J, Sun Y D, Wu Z, et al. Operational effectiveness analyses of air-to-ground strike for battle plan [J]. *J of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2002, 28(3): 354-357.)
- [8] 邵力军, 张景, 魏长华. 人工智能基础 [M]. 北京: 电子工业出版社. 2001. 203-219.

(上接第 1307 页)

参考文献(References):

- [1] 边肇祺. 模式识别 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999. 294-304
- [2] Vapnik. 统计学习理论的本质 [M]. 张学工译. 北京: 清华大学出版社, 2000
- [3] Mark Girolami. Mercer kernel based clustering in feature space [J]. *IEEE Trans on Neural Networks*, 2002, 5(13): 780-784
- [4] Friedhelm Schwenker. Hierarchical support vector

machines for multi-class pattern recognition [A]. *Fourth Int Conf on Knowledge-based Intelligent Engineering Systems & Allied Technologies* [C]. Brighton, 2000. 561-565

- [5] Platt J C, Cristianini N, Shawe Taylor J. Large margin DAGs for multiclass classification [A]. *Advances in Neural Information Processing Systems* [C]. MIT Press, 2000. 547-553