

# 战术模板技术应用于 CLIB II 机动规划

雷晓义, 杨任农, 黄震宇, 马鸣杰

(空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038)

**摘要:** 针对战术级飞行任务规划系统如何简化规划流程、如何引入成熟的战术战法等一系列新设计需求, 提出战术模板概念。从飞机三自由度简化模型入手, 建立基本动作模型; 以躲避导弹攻击的 CLIB II 机动战术为例, 设计战术模板数据库; 将决策影响图法应用到 CLIB II 机动规划中, 并在 Skyview 工具包中进行仿真。结果说明战术模板技术可行, 但仍需扩展和优化。

**关键词:** 战术模板; 机动建模; 机动决策; 任务规划

中图分类号: V271.4; TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1671-637X(2014)08-0073-04

## Application of Tactical Template in CLIB II Motion Planning

LEI Xiao-yi, YANG Ren-nong, HUANG Zhen-yu, MA Ming-jie

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

**Abstract:** To solve the problems of how to simplify the flow of mission planning and how to use tactics in the tactical mission planning system, we proposed the concept of tactical templates. First, the 6 DOF aircraft model was simplified to a model of 3 DOF, and the basic action model was established. Taking the CLIB II maneuvering for avoiding missile attacking as an example, the data base of tactical template was designed. The influence diagram was introduced into CLIB II planning, and was simulated in Skyview. The results show that this concept is feasible, but still needs further improvement and optimization.

**Key words:** tactical template; maneuvering modeling; maneuvering decision; mission planning

## 0 引言

随着现代航空武器平台技术的迅猛发展, 快速、高效、可靠的任务规划系统对提升飞行器执行任务能力起着至关重要的作用<sup>[1-2]</sup>, 为解决战术级飞行任务规划系统如何体现战术性、在一次规划中怎样结合现有的成熟战术战法以及如何将规划员从繁杂的数据项、规划要素中解脱出来这3个问题, 提出战术模板技术。

本文旨在探索和验证战术模板技术的可行性, 首先给出战术模板定义: 即对特定战术过程的抽象, 是以预定义的、通用化的格式存储飞机平台的动作序列和武器/航电设备的操作序列。

## 1 战术模板生成技术

### 1.1 研究现状

文献[3]对战术模板技术做了详细阐述, 针对飞

行器航迹规划中的非完整性约束, 引入微分平坦理论, 提出一种分层递阶规划求解方法, 并将战术模板技术应用于飞机的对地突防突击; 文献[4]对战术模板结构和内容进行了定义和阐述, 提出适用于对地攻击战术模板生产和应用方法的机动决策算法, 将决策影响图引入到对地攻击机动决策中; 文献[5-6]就战术动作建模与识别技术、战术决策方面进行研究。

### 1.2 关键技术

1) 建模: 通过基本机动动作建模, 将战术实施过程用模式和参数进行表达。

2) 建库: 将这种模式和参数规范化, 即可形成作战飞机某种战术的战术模板。

3) 存储与解析: 采用预定义的语法将数据存储于 SQL 数据库中, 并用 VC 提供的 API 对数据库进行操作。

4) 模板优化: 使用影响图法, 针对环境等一系列约束进行机动动作决策。

### 1.3 基本战术动作建模

#### 1.3.1 自由度简化模型

飞行器常用的性能参数有4个: 爬升率、水平转向

收稿日期: 2014-03-11

修回日期: 2014-03-28

作者简介: 雷晓义(1991—), 男, 甘肃兰州人, 硕士生, 研究方向为任务规划技术。

率、滚转率和加速率。其实质是改变了飞行器的过载:爬升率与水平转弯率为垂直于飞机轴线的过载;加速率即为切向过载。可以对六自由度模型进一步简化为三自由度:法向过载( $n_x$ )、切向过载( $n_y$ )、滚转角( $\gamma$ )。那么,某一时刻飞机的状态参数  $\langle x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1}, V_{i+1}, \theta_{i+1}, \varphi_{i+1} \rangle$  中的  $x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1}$  由前一时刻的  $\langle x_i, y_i, z_i, V_i, \theta_i, \varphi_i \rangle$  唯一确定,而  $V_{i+1}, \theta_{i+1}, \varphi_{i+1}$  则是由当前控制量和前一时刻  $V_i, \theta_i, \varphi_i$  决定的,即运动方程为

$$\begin{cases} x_{i+1} = x_i + V_i \cos \theta_i \cos \varphi_i \\ y_{i+1} = y_i + V_i \sin \theta_i \\ z_{i+1} = z_i - V_i \cos \theta_i \sin \varphi_i \end{cases} \quad (1)$$

动力学方程为

$$\begin{cases} \frac{dV_{i+1}}{dt} = g(n_x - \sin \theta_i) \\ \frac{d\theta_{i+1}}{dt} = \frac{g}{V_i}(n_y \cos \gamma_i - \cos \theta_i) \\ \frac{d\varphi_{i+1}}{dt} = -\frac{g}{V_i \cos \theta_i} n_y \sin \gamma_i \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $V$  为飞机相对于地面的速度;  $x, y, z$  为飞机在大地坐标系中的位置;  $\theta, \varphi$  分别为飞机与地面坐标系  $XZ$  平面的夹角和  $Y$  轴的夹角<sup>[7-8]</sup>。

### 1.3.2 战术模板语言

战术模板语言即使用数组,对机动操作进行形式化描述,具体如下所述:1) 初始状态  $W_i = \langle x_i, y_i, z_i, V_i, \theta_i, \varphi_i \rangle$ ; 2) 终止状态  $W_{i+1} = \langle x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1}, V_{i+1}, \theta_{i+1}, \varphi_{i+1} \rangle$ ; 3) 状态转换向量  $M = \langle W_i, W_{i+1}, \hat{b}, \Delta B, \Delta \hat{b}, \Delta t \rangle$ , 其中,  $\hat{b}$  为因变量,  $\Delta B$  为终止条件,  $\Delta \hat{b}$  为自变量(即控制量),  $\Delta t$  为状态改变持续时间; 4) 平飞  $M_L = \langle W_i, W_{i+1}, \Delta x, \Delta y, \Delta d, \rho, \Delta t \rangle$ ,  $\Delta d = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = V_i \cdot \Delta t$ ; 5) 加减速  $M_A = \langle W_i, W_{i+1}, V, \Delta V, n_x, \Delta t \rangle$ ,  $\Delta V = V_{i+1} - V_i = g \cdot n_x \cdot \Delta t$ ; 6) 转弯  $M_T = \langle W_i, W_{i+1}, \varphi, \Delta \varphi, n_y, \Delta t \rangle$ ,  $\Delta \varphi = \varphi_{i+1} - \varphi_i = \frac{g \cdot \sqrt{n_y^2 - 1}}{V} \cdot \Delta t$ ; 7) 拉起  $M_{PU} = \langle W_i, W_{i+1}, \theta, \Delta \theta, n_y, \Delta t \rangle$ ,  $\Delta \theta = \theta_{i+1} - \theta_i$ ; 8) 俯冲  $M_{DO} = \langle W_i, W_{i+1}, \theta, \Delta \theta, n_y, \Delta t \rangle$ ,  $\Delta \theta = \theta_i - \theta_{i+1}$ ; 9) 横滚  $M_{HG} = \langle W_i, W_{i+1}, \gamma_{i+1}, \Delta \gamma, \gamma, \Delta t \rangle$ 。

各项参数之间存在相互制约与影响,约束条件除了机动操作描述外,还应包含机载武器与航电设备的操作,方法是添加设备操作字段:  $M = \langle \Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma, \Delta V, t, A \rangle$ , 如: 探测雷达开机  $A_{TCL}$ 、火控雷达开机  $A_{HKL}$ 、航炮发射  $A_{HP}$ 、导弹发射  $A_{ML}$ 、箔条弹释放  $A_{BML}$ 、诱饵弹释放  $A_{YML}$ 、打开加力  $A_{JL}$  等,被动事件如雷达告警  $A_{CJ}$  等,设置为一个字段的目的是方便在数据库中进行纵向扩展(操作的增加)以及横向扩展(参数的细化),若此字段缺省,则默认为没有操作。还需一个字段  $T$  来存放动转换的

终止条件,至此存放于数据库的数据项依次如下: 状态转换序列号  $N$ 、状态转换标志位  $M_{XX}$ 、初始状态  $W_i$ 、终止状态  $W_{i+1}$ 、因变量  $\hat{b}$ 、终止条件  $\Delta B$ 、自变量  $\Delta \hat{b}$ 、状态改变持续时间  $\Delta t$ 、设备操作字段  $A$ 、终止条件  $T$ 。

## 2 CLIB II 机动

激烈爬升偏置 II (Climb Lean Incline Burning II, CLIB II) 机动是美军战斗机应对防空导弹做规避战术中的一种,当飞机在某一空地导弹攻击区外接收到目标跟踪雷达(TTR)或目标截获雷达(TAR)警告接收机的信号,考虑使用电子对抗吊舱或箔条实施简单的迂回规避机动,这种战术将缩小地空导弹武器攻击区的有效范围,并造成地空导弹操作人员的跟踪问题。其实质是飞机发现导弹发射提示,应向正侧方实施(保持能量的)急转弯,当威胁接近正侧方时,投放干扰箔条,并进行适当的机动。主要用于中低空(8000 m 以下)应对雷达指令制导型地空导弹,尤其对按比例引导飞行剖面的防空导弹十分有效。

### 2.1 CLIB II 机动战术描述

在受到目标跟踪与导弹发射的雷达告警接收机指示信号后,做一个急转弯使导弹处于正侧方,在到达正侧方(机体坐标系)之前约  $20^\circ$  的位置,投放箔条。当到达正侧方时,以“最大”推力进入一个  $45^\circ$  的俯冲(在马赫数低于 0.8 时,如能量不足可使用加力)并保持,直到马赫数达到 0.9,或达到外挂物极限值。当飞机马赫数接近 0.9 或外挂物极限值时,开始用  $5g$  载荷把飞机拉到  $45^\circ$  仰角,同时打开加力。爬升应保持到接近中等有利转弯机动速度(各种机型数据不一致,这里设定为 400 n mile/h,约为 205 m/s),然后做横滚,使飞机倒飞,再用  $5g$  载荷把飞机拉到  $45^\circ$  俯角(此刻表速要求为 350 n mile/h,约为 180 m/s 以上)。应不断调整动作航向,以便将发射阵地始终保持在正侧方。使用 Matlab 平台,不考虑飞机性能模型,绘制 CLIB II 机动示意图见图 1,其中,  $D$  为导弹发射阵地,  $A, B, C$  为箔条投放点。

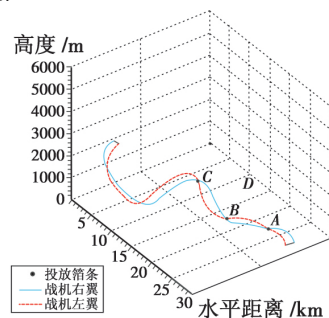


图 1 CLIB II 机动示意图

Fig. 1 Sketch map of CLIB II maneuvering

## 2.2 用战术模板语言描述战术

导弹阵地相对于飞机的方位角  $\phi$  计算式为

$$\phi = \arctan x/y \quad (3)$$

相对于飞机的距离  $D$  为

$$D = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (4)$$

式中  $x, y, z$  为导弹阵地在机体坐标系中的坐标, 向大地坐标系转换时使用转换公式详见文献 [9-10], 示意图见图 2。

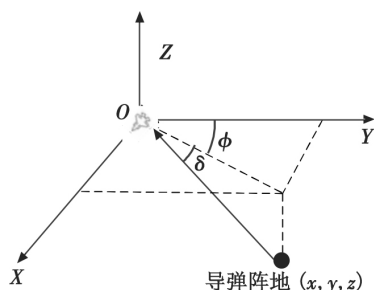


图2 飞机与导弹坐标关系

Fig. 2 Relation between airplane and missile

图3为 CLIB 战术采用战术模板语言描述的逻辑流程图。

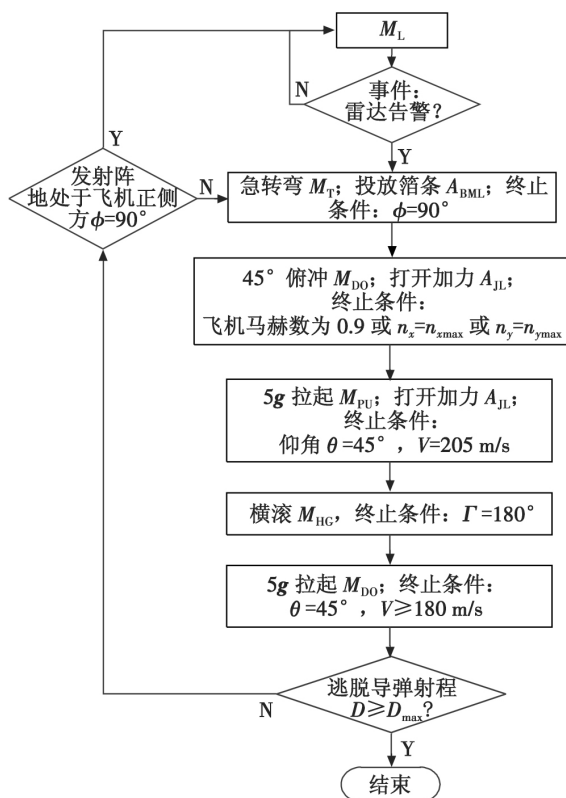


图3 CLIB II 机动逻辑流程图

Fig. 3 Logical flow chart of CLIB II maneuvering

CLIB II 机动在数据库中的存储, 根据第2节最后的结论从战术模板语言描述中提取数据项, 可以得到如表1所示的数据。

表1 CLIB II 机动战术模板数据库存储项

Table 1 Items for the stored tactical template of CLIB II

$N$	$M_{XX}$	$W_i$	$W_{i+1}$	$\hat{b}$	$\Delta B$	$\Delta \hat{b}$	$\Delta t$	$A$	$T$
1	$M_L$	$W_x$	$W_1$	$(x_1 \ y_1)$	$\Delta d_1$	0	$\Delta t_1$	$A_{GJ}$	$A_{GJ} \neq 0$
2	$M_T$	$W_1$	$W_2$	$\varphi$	$\Delta \varphi_2$	$n_y$	$\Delta t_2$	$A_{BML}$	$\phi = 90^\circ$
3	$M_{D0}$	$W_2$	$W_3$	$\theta$	-45	$n_y$	$\Delta t_3$	$A_{JL}$	(马赫数为 0.9) $\parallel$ ( $n_x = n_{xmax}$ ) $\parallel$ ( $n_y = n_{ymax}$ )
4	$M_{PU}$	$W_3$	$W_4$	$\theta$	$\Delta \theta$	5g	$\Delta t_4$	$A_{JL}$	( $\theta = 45^\circ$ ) 且 ( $V \geq 205$ m/s)
5	$M_{HC}$	$W_4$	$W_5$	$\gamma$	$\Delta \gamma$	$\gamma$	$\Delta t_5$		$\gamma_5 = 180^\circ$
6	$M_{D0}$	$W_5$	$W_6$	$\theta$	$\Delta \theta$	5g	$\Delta t_6$		( $\theta = 45^\circ$ ) 且 ( $V \geq 180$ m/s)

## 3 战术模板解析与决策优化

### 3.1 决策影像图

决策分析常用方法有决策树和决策影响图法, 其中, 影像图是表示决策问题中决策、不确定性和价值的图形工具<sup>[6]</sup>, 定义为: 一个影像图  $G$  是由节点集合  $N$  和有向弧集合  $H$  构成的无环有向图  $G = \{N, H\}$ 。结点集合划分为机会结点集合  $C$ 、决策结点集合  $D$  和价值结点集合  $V$ , 即  $N = \{C, D, V\}$ ; 有向弧  $H$  又分为条件弧、信息弧。图中每个结点  $i$  都有相应的值域  $\Omega_i$  及其映射, 根据结点的类型分别为  $\Pi_i, d_i^*, U_i^{[4]}$ 。

针对战术模板中使用的简化三自由度模型, 飞机在某一时刻的状态为:  $W_i = \langle x_i, y_i, z_i, V_i, \theta_i, \varphi_i \rangle$ , 由此可得状态方程为

$$W_{i+1} = f(W_i, n_y, n_x, \gamma) \quad (5)$$

其中  $n_y, n_x, \gamma$  受到飞机性能模型的限制, 即  $n_x \in [n_{xmin}, n_{xmax}]$ ,  $n_y \in [n_{ymin}, n_{ymax}]$ ,  $\gamma \in [\gamma_{min}, \gamma_{max}]$ , 可得 CLIB II 机动决策影像, 见图4。

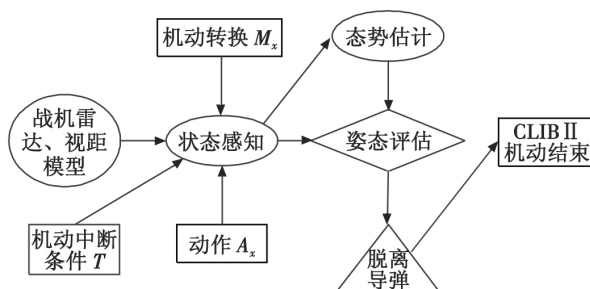


图4 CLIB II 机动决策影响图

Fig. 4 Decision-making effect map of CLIB II maneuvering

图4中, 椭圆形表示机会结点, 菱形表示决策结点, 三角形表示价值结点。机会结点“姿态估计”表示当前战机的威胁态势评估和任务分析, 该节点的输出结果有4种: 1)  $\vartheta_1$  为可完成并无损耗; 2)  $\vartheta_2$  为可完成但有损耗; 3)  $\vartheta_3$  为无法完成无损耗; 4)  $\vartheta_4$  为无法完成有损耗。且  $\sum_{i=1}^4 P(\vartheta_i) = 1$ , 设  $Z_C$  为飞机性能约束和任务约束条件、 $Z_T$  为探测到的威胁源约束条件、 $Z_S$  为导弹威胁信息约束、 $Z_M$  为机动威胁信息约束, 其计算方

法详见文献[3],使用贝叶斯定理,态势认知函数为

$$P(\vartheta_i | Z_C Z_T Z_S Z_M) = \frac{P(\vartheta_i) P(Z_C Z_T Z_S Z_M | \vartheta_i)}{P(Z_C Z_T Z_S Z_M)} \quad (6)$$

其中  $i=1, 2, 3, 4$ , 为降低仿真难度,假设 4 种约束条件为独立随机变量,可得

$$P(Z_C Z_T Z_S Z_M) = \sum_{i=1}^4 P(\vartheta_i) P(Z_C Z_T Z_S Z_M | \vartheta_i) \quad (7)$$

$Z_C, Z_T, Z_S, Z_M$  的值与战机性能模型、飞行员视距模型、地形模型、威胁源模型、导弹模型有关。确定其值后使用多属性决策模型来模拟求解机动决策<sup>[10]</sup>,思路是:

1) 确定可选方案集为  $Z = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_m\}$ ,  $Y_i = \{y_{i1}, y_{i2}, y_{i3}, \dots, y_{in}\}$  表示方案  $z_i$  的  $n$  个属性值,其中  $y_{ij}$  是第  $i$  个方案的第  $j$  个属性值;

2) 目标函数  $y_{ij} = f_j(x_i)$   $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ ;

3) 由各个方案的属性值构成决策矩阵为

$$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix}。$$

### 3.2 战术模板解析与优化过程

1) 使用 C#语言提供的数据库读取 API 函数,依次读取各字段数值;

2) 依据战术选定对应的决策影响图,这里依据 CLIB II 机动选定上节所述决策影响图;

3) 调用与 CLIB II 机动相关的飞机性能模型、地形模型、威胁源模型进行分析和数据处理;

4) 求解决策矩阵;

5) 是否满足价值结点条件,若满足则推出,若不满足则重复 3)、4) 过程。

## 4 仿真结果

使用 Falcon 公司的 Skyview 软件包为仿真平台做二次开发,其作为一种开源平台属于 Falconview 主框架,具有基于 ArcGIS 技术的一整套成熟稳定的二、三维地图引擎,可以很好地解决二维操作三维显示问题。使用者只需设计好数据库,在 Skyview 开源代码中添加数据库读取代码、算法求解代码,并使用框架提供的绘画接口即可很好地实现三维显示效果。

二维显示 CLIB II 机动效果如图 5 所示,其中,黄色线条为航线,蓝色圆环为航路点,渲染部分为基于地形遮蔽的威胁源探测区,黄色方框即为 Skyview 3D 视角显示区域。

若转换为以第一视角跟随显示,则 CLIB II 机动 3D 效果如图 6 所示,其中,白色线条为模拟飞机座舱高度仪,由于图像引擎性能的限制,高精度显示时其渲染效率不高,会出现绿色的陆地未渲染区和蓝色的天空未渲染区。

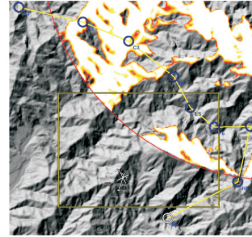


图 5 Skyview 2D 效果图



图 6 Skyview 3D 效果图

Fig.5 Effect map of Skyview 2D Fig.6 Effect map of Skyview 3D

## 5 结论

仿真结果说明战术模板概念可行,但最大的问题是未能找到一种涵盖所有空战战术、对地支援战术、巡航战术、对地攻击战术等一系列航空兵战术的、具有普适性的战术模板构建方法,并且依赖决策影像图方法的模板优化策略,需要为每一个战术模板建立独有的决策模型,不利于大量生成战术模板最终形成战术库,所以仍需改进。

## 参考文献

- [1] 宋玮,袁鸿翼.任务规划系统验证方法研究[J].战术导弹技术,2012(5):71-74.  
SONG W, YUAN H Y. Research on validation for mission planning systems [J]. Tactical Missile Technology, 2012 (5): 71-74.
- [2] 周锐,成晓静,陈宗基.战术任务规划系统研究[J].控制与决策,2004,19(4):441-443.  
ZHOU R, CHENG X J, CHEN Z J. Tactical mission planning systems for modern fighter plane [J]. Control and Decision, 2004, 19(4): 441-443.
- [3] 黄达.基于约束模型的作战飞机战术模板生成和应用方法研究[D].长沙:国防科学技术大学,2009.  
HUANG D. Research on aircraft tactical template generation and application method based on constraint model [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2009.
- [4] 张超杰.基于微分平坦理论的飞行器轨迹规划方法研究[D].长沙:国防科学技术大学,2010.  
ZHANG C J. Research on aircraft trajectory planning based on differential flatness theory [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2010.

(下转第 82 页)

## 6 结语

本文针对二自由度闭环系统,采用虚拟参考反馈校正控制对控制器中的时变参数进行校正。对于控制器时变参数的辨识,通过增加一项规范项来约束两时变参数矢量的不跳变行为。利用可分离的非线性最小二乘辨识法不断迭代以得到全局解;从凸优化角度分析了规范系数的合适选取。因两时变参数矢量都是规范系数的函数,考虑规范系数变动下函数的分段线性解图是下步需要研究的主要内容。

### 参考文献

- [1] GUARDABASSI G. Virtual reference direct method: An off-line approach to data-based control system design [J]. IEEE Transactions of Automatic Control, 2002, 45(5): 954-960.
- [2] CAMPI M C. Virtual reference feedback tuning: A direct method for the design of feedback controllers [J]. Automatica, 2002, 38(4): 1337-1346.
- [3] CAMPI M C, LECHINI A. An application of the virtual reference feedback tuning method to a benchmark problem [J]. European Journal of Control, 2003, 9(2): 66-76.
- [4] CAMPI M C. Direct nonlinear control design: The virtual reference feedback tuning approach [J]. IEEE Transactions of Automatic Control, 2006, 51(1): 14-27.

(上接第 76 页)

- [5] 冯为荣, 王俊璞, 田蔚风. 飞机飞行轨迹仿真系统设计与实现 [J]. 计算机仿真, 2010, 27(12): 47-50.  
FENG W R, WANG J P, TIAN W F. Design and implementation of flight track simulation system [J]. Computer Simulation, 2010, 27(12): 47-50.
- [6] 史志富, 刘海燕, 张安, 等. 基于影响图的 UCAV 编队对地攻击战术决策研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(1): 130-133.  
SHI Z F, LIU H Y, ZHANG A, et al. Research on tactical decision-making of UCAV teams air-to-ground attack based on influence diagrams [J]. Systems Engineering and Electronics, 2009, 31(1): 130-133.
- [7] 徐海亮, 李骏扬, 费树岷. 全数字飞行仿真平台的设计与实现 [J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2011, 41(1): 113-116.

- [5] 唐得志, 王道波, 王建宏. 闭环系统的虚拟参考反馈校正控制 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(2): 48-52.  
TANG D Z, WANG D B, WANG J H. Virtual reference feedback tuning control design for closed-loop systems [J]. Journal of Huazhong University Science and Technology: Natural Science Edition, 2011, 39(2): 48-52.
- [6] LJUNG L. Theory and practice of recursive identification [M]. Cambridge: The MIT Press, 1983.
- [7] BOYD S, VANDENBERGHE L. Convex optimization [M]. UK: Cambridge University Press, 2008.
- [8] JAKOB K. A design algorithm using external perturbation to improve iterative feedback tuning convergence [J]. Automatica, 2011, 47(2): 2665-2670.
- [9] HILDERBRAND R. Prefiltering in iterative feedback tuning: Optimization of the prefilter for accuracy [J]. IEEE Transactions of Automatic Control, 2004, 49(8): 1801-1805.
- [10] 王建宏. 基于先进辨识的控制策略研究及其应用 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.  
WANG J H. Research on control strategies based on advanced identification and their application [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011.
- [11] BOYD S, VANDENBERGHE L. Convex optimization [M]. UK: Cambridge University Press, 2008.

- XU H L, LI J Y, FEI S M. Design and implementation of digital flight simulation platform [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2011, 41(1): 113-116.
- [8] 卢惠民. 飞行仿真数学建模与实践 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2007.  
LU H M. Modeling and practical flight simulation [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2007.
- [9] TODD H. Advancement and analysis of a Gauss Pseudospectral transcription for optimal control problems [D]. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- [10] 岳超源. 决策理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.  
YUE C Y. Decision theory and method [M]. Beijing: Science Press, 2003.