

基于模糊决策树的机载多传感器智能管理方法

张堃¹,周德云¹,王谦¹,顾潮琪¹,徐杰²

(1. 西北工业大学 电子信息学院, 西安 710072; 2. 成都飞机设计研究所, 成都 610041)

(kunnpu@gmail.com)

摘要:针对机载多传感器调度管理的困难,提出基于模糊决策树的机载多传感器智能管理方法。该方法将作战阶段与目标类型相结合,构建不同目标属性,建立基于目标类型的模糊决策树模型,在此基础上建立机载多传感器动态智能管理模型,并进行空战仿真验证。仿真结果表明该方法与作战阶段动态相关,能快速有效地完成机载多传感器调度管理。

关键词:机载多传感器;模糊决策树;目标类型;智能管理;动态决策

中图分类号: TP18 **文献标志码:** A

Airborne multi-sensor management methods based on fuzzy decision tree

ZHANG Kun¹, ZHOU De-yun¹, WANG Qian¹, GU Chao-qi¹, XU Jie²

(1. School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China;

2. Chengdu Aircraft Design and Research Institute, Chengdu Sichuan 610041, China)

Abstract: In view of the difficulty in the management of airborne multi-sensor, a fuzzy decision tree algorithm was applied to multi-sensor intelligent management. Operational phase of the method was combined with the target type to build different target properties and establish fuzzy decision tree model based on target type. Thus, a multi-sensor airborne dynamic model of intelligent management was set up, and air combat simulation was carried out. The simulation results show that the method can compose battlefield objectives and tactics effectively, and complete airborne multi-sensor management rapidly. And the method is reasonable and effective.

Key words: avionics sensor system; fuzzy decision tree; target type; intelligent management; dynamic decision

0 引言

随着科技的进步,无人机在现代战争中执行的任务越来越复杂,发挥的作用越来越重要。不论执行的是侦察、打击或其他任务,无人机均需机载传感器设备,如雷达、光电等。任务执行过程中,不同机载传感器常需多次开启、关闭;不同任务执行阶段,传感器类型、工作用途的不同导致外界环境探测参数种类、精度等有较大区别,仅依靠地面控制人员对机载多传感器调度管理很难适应复杂突变的战场态势要求。针对具体作战任务,结合作战阶段,辅助地面控制人员实时应变,降低人为误操作概率,合理充分利用传感器资源,提高数据融合精度,建立一套智能化机载多传感器管理系统成为目前无人机电系统亟待解决的关键问题。目前传感器管理是国内外研究的热点^[1],主要方法有线性规划^[2]、动态规划^[3-4]、神经网络、信息论^[5-6]、智能推理^[7]等,多集中在传感器信息融合、资源分配上面^[8-11],而机载多传感器动态类型管理方面的研究并不多,本文采用模糊决策树的方法对此展开研究。

1 基于模糊决策树的多传感器管理方法

1.1 模糊决策树的学习

模糊 ID3 算法^[12-13]将模糊理论引入 ID3 算法中,以提高决策树处理数值属性和不确定性问题的能力。设数据集 $D =$

$\{e_1, e_2, \dots, e_N\}$ 是离散值论域 X 上的实例集合,模糊属性集为 $\{A_1, A_2, \dots, A_M\}$, 属性 A_i 的术语为 $T(A_i) = \{F_{i1}, F_{i2}, \dots, F_{ik_i}\}$, $1 \leq i \leq M$, 划分为 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_K\}$ 。第 i 个实例 e_i 对于第 j 个属性的隶属度为 μ_{ij} , 表示定义在 $T(A_i)$ 上的模糊子集。设 D^{C_K} 为类 C_K 的数据子集, $|D|$ 为 D 中所有隶属度总和。

1.1.1 影响机载多传感器管理的属性

面对不同执行任务、不同作战阶段,无人机所针对的打击目标类型不尽相同,本文将目标类型划分为导弹 M 、空中目标 P 和地面目标 T 三种类型,分别建立模糊决策树。对于空中及地面目标,选取模糊属性集为 $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6\}$, 具体见表 1。

表 1 空中/地面目标模糊属性表

序号	模糊属性 A	属性值
1	A_1 (敌我距离)	远(F), 中(M), 近(N)
2	A_2 (本机是否攻击)	是(Y), 否(N)
3	A_3 (是否需要测距)	是(Y), 否(N)
4	A_4 (火控计算数据是否完备)	是(Y), 否(N)
5	A_5 (武器是否需雷达照射)	是(Y), 否(N)
6	A_6 (武器是否需激光照射)	是(Y), 否(N)

对于导弹,选取模糊属性集为 $A = \{A_1, A_2\}$, 具体见表 2。
将机载传感器划分为 $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4\} = \{\text{激光, 紫外, 红外, 雷达}\}$ 四类。

收稿日期:2011-06-22;修回日期:2011-08-10。

基金项目:航空科学基金资助项目(2011553021);西北工业大学基础研究基金资助项目(JC20110222)。

作者简介:张堃(1982-),男,陕西西安人,讲师,博士,主要研究方向:智能航电系统、传感器智能管理;周德云(1964-),男,浙江义乌人,教授,博士,主要研究方向:航空火力控制系统;王谦(1983-),男,贵州遵义人,博士研究生,主要研究方向:智能航电系统;顾潮琪(1977-),男,浙江金华人,讲师,硕士,主要研究方向:智能航电系统;徐杰(1981-),男,江苏常州人,工程师,硕士,主要研究方向:智能航电系统。

表 2 导弹模糊属性表

序号	模糊属性 A	属性值
1	A_1 (导弹与本机距离)	远(F), 中(M), 近(N)
2	A_2 (导弹发动机熄火状态)	是(Y), 否(N)

1.1.2 属性数据模糊化

采用式(1)~(3)处理属性数据,每个属性值 $x(A_i)$ 属于第 $j(0 < j < k_i)$ 个属性术语的隶属函数^[14]为

$$T_{i1} = \begin{cases} 1, & x \geq a_1 \\ \frac{x - a_2}{a_1 - a_2}, & a_2 < x < a_1 \\ 0, & x \leq a_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$T_{ij} = \begin{cases} 0, & x \geq a_{j+1} \\ \frac{a_{j+1} - x}{a_{j+1} - a_j}, & a_j \leq x < a_{j+1} \\ \frac{x - a_{j-1}}{a_j - a_{j-1}}, & a_{j-1} \leq x < a_j \\ 0, & x \leq a_{j-1} \end{cases} \quad (2)$$

$$T_{ik_i} = \begin{cases} 1, & x \leq a_{k_i} \\ \frac{x - a_{k_i-1}}{a_{k_i} - a_{k_i-1}}, & a_{k_i-1} < x < a_{k_i} \\ 0, & x \geq a_{k_i-1} \end{cases} \quad (3)$$

式中 $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik_i}$ 表示三角模糊数中心。

1.1.3 建树过程

步骤1 建立根节点。置数据集 $D = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}$ 为根节点。

步骤2 生成叶节点。若 $p_k > \theta$,或 $|D| < \beta$,或无可扩展属性,则该节点为叶子节点;计算各类信任度。式中, $p_k = |D^{C_k}| / |D|$, D^{C_k} 为类别 C_k 的数据子集, $|D|$ 为 D 中所有隶属值总和, θ 为重要性水平, β 为置信度水平^[15]。

步骤3 扩展属性选择。若当前节点不满足叶节点生成条件,则为非终端节点,扩展属性选择过程如下:

1) 计算各属性信息增益 $G(A_i, D)$,选择信息增益最大属性 A_{\max} 作为当前节点测试属性;

$$G(A_i, D) = I(D) - E(A_i, D) \quad (4)$$

式中,

$$I(D) = - \sum_{k=1}^n p_k \cdot \lg p_k \quad (5)$$

$$E(A_i, D) = \sum_{j=1}^{k_i} (p_{ij} \cdot I(D_{F_{ij}})) \quad (6)$$

$$p_{ij} = \frac{|D_{F_{ij}}|}{\sum_{j=1}^m |D_{F_{ij}}|} \quad (7)$$

2) 将 D 按 A_{\max} 的模糊属性值分割,得到新模糊子集 D_1, D_2, \dots, D_m ,产生新节点 t_1, t_2, \dots, t_m ;

3) 依次用 D_1, D_2, \dots, D_m 代替 D ,跳到步骤2;

4) 选择信息增益最大的属性作为测试属性,划分数据集,生成模糊决策树。

1.2 模糊决策树推理

设生成机载多传感器管理模糊决策树如图1所示,将其作为推理规则。

目标数据以相应测试属性的各分支信任度沿着多个分支向下进行搜索,最终到达多个叶节点,从而可计算各个类型传感器的信任度。具体计算步骤如下。

步骤1 计算路径信任度。

以最小值算子计算路径信任度。如图1最左边路径,有 $A_1 \rightarrow a_{11}(\mu_{a11}), A_2 \rightarrow a_{21}(\mu_{a21}), A_4 \rightarrow a_{41}(\mu_{a41})$,则 $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_4 \rightarrow D$ 路径信任度为: $\min(\mu_{a11}, \mu_{a21}, \mu_{a41})$ 。

步骤2 计算各传感器类型信任度。

以乘积算子计算所有叶节点上各传感器类型信任度,如图1最左侧叶节点, $D = c_1$ 的信任度为: $\min(\mu_{a11}, \mu_{a21}, \mu_{a41}) \times \mu_{c1}^{c1}$;合并所有叶节点上相同模式的信任度,以最大值算子计算,如各叶节点 $D = c_1$ 的信任度为

$$B = \{\mu_{a41}^{c1}, \mu_{a42}^{c1}, \mu_{a22}^{c1}, \mu_{a12}^{c1}, \mu_{a31}^{c1}, \mu_{a32}^{c1}\}$$

合并后 $D = c_1$ 的信任度为

$$\mu_{D=c_1} = \max(B) \quad (8)$$

归一化后的传感器类型信任度为

$$\mu_{D=M_i} = \frac{\mu_{D=c_i}}{\sum_{j=1}^4 \mu_{D=c_j}} \quad (9)$$

式(9)中, c_j 代表第 j 种传感器类型。将各传感器类型信任度作为推理结果,选取信任度最大的传感器类型作为机载多传感器智能管理的结果。

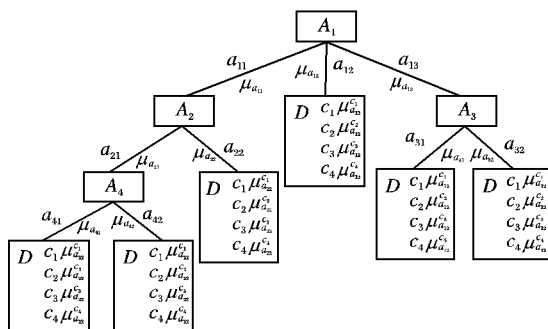


图1 模糊决策树

2 仿真结果及分析

调研领域专家知识,整合出30组典型数据样本。采用式(1)~(3)对数据样本模糊化,应用模糊ID3算法进行决策树学习,构造基于不同目标类型的模糊决策树如图2所示。

为了检验模型的有效性,需对其进行检验。采用人为操控的战例,即对比人为操控作战下的传感器管理与采用模糊决策树生成传感器管理状态,提取11组传感器变化选择时刻,可以看到验证结果如表3所示。

表3 验证结果

C	S_s	N_s	\bar{t}/s	$P_t/\%$
C_1	4	3	0.1343	75
C_3	5	4	0.6981	80
C_4	2	2	0.0786	100

表3中, S_s 表示原始样本中传感器开关次数, N_s 表示模糊决策树判定传感器开关次数, \bar{t} 表示平均正确决策间隔时间, $t = |$ 模糊决策树正确决策时刻 - 原始样本传感器开关时刻 $|$, P_t 表示准确率。由表中结果看到,平均正确决策间隔时间最大为0.6981s,平均正确率为90.9%,吻合程度较高,采用该模糊决策树进行空战想定研究。

假设我方无人机空速150 m/s,航向正北,打击敌地面目

标。初始敌我距离 200 km, 飞行攻击过程如下: 起飞→敌方探测→敌方拦截→敌我空战→对地投弹→返航。根据图 2 的模糊决策树作为推理规则, 计算各传感器类型信任度, 采用信任度最大的传感器类型作为主通道传感器, 仿真结果如图 3 所示。

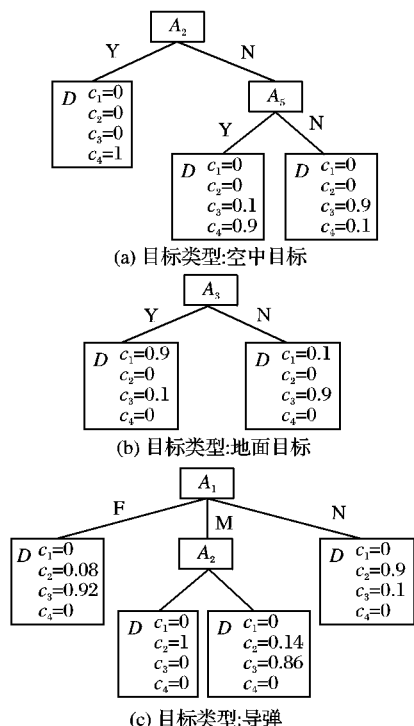


图 2 多传感器智能管理模糊决策树

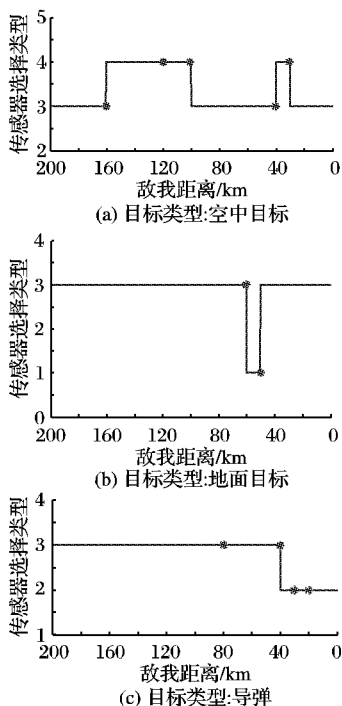


图 3 机载多传感器智能管理结果

图 3 中“*”表示传感器智能管理决策后的变化拐点。从图 3(a) 可看到, 随着敌我距离的接近, 首先采用红外传感器作为主通道传感器, 无源探测目标, 随着双方距离接近, 由于火控攻击解算需求, 开启机载雷达, 发射导弹完成攻击后, 关闭雷达, 主通道选择恢复为红外传感器, 随着敌机的接近, 再次开启雷达进行攻击。由图 3(b) 可以看到, 采用红外传感器无源探测目标, 在接近地面目标后, 通过开启激光测距仪精

确测量敌我距离, 完成地面打击。由图 3(c) 可以看到, 随着导弹与载机相对距离的接近, 采用红外对导弹告警, 侦察导弹动向, 随着弹目距离缩小, 紫外告警设备随后作为主通道传感器, 对导弹进一步告警。这与本文作战任务想定吻合。由此可见, 整个仿真过程中, 多传感器决策结果与作战过程实时相关, 动态选择合理传感器, 符合空战机载多传感器智能管理要求。

3 结语

为了辅助地面控制人员面对复杂战场态势对机载多传感器有效管理, 选择合理传感器, 降低人为误操作概率, 本文提出了一种基于模糊决策树的机载多传感器智能管理方法, 该方法针对空中目标、地面目标及导弹等不同目标类型, 建立了三种基于目标类型的模糊决策树模型, 计算类型信任度, 产生推理结果。建立了基于模糊决策树的多传感器智能管理模型, 进行了空战想定下的仿真研究。仿真结果表明, 机载传感器类型信任度的取值变化与仿真初始作战任务想定相吻合, 针对任务执行的不同阶段, 不同作战目标, 动态自主地选择合理机载传感器, 有效实现了多传感器统一调度管理。

参考文献:

- [1] 王谦, 周德云, 杜昌平. 机载传感器智能管理方法的研究[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(10): 117-120.
- [2] 郝永飞, 林都, 曾建平. 结合浪费函数的多传感器管理算法[J]. 中北大学学报, 2005, 26(5): 345-347.
- [3] ANDERSON J, HONG L. Sensor resource management driven by threat projection and priorities[J]. Information Sciences, 2008, 178(8): 2007-2021.
- [4] SUHINTHAN M, SAMAN K, MALIN P. Sensor scheduling for target tracking by suboptimal algorithms[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(3): 1467-1479.
- [5] XIONG N, SVENSSON P. Multi-sensor management for information fusion: Issues and approaches[J]. Information Fusion, 2002, 3(2): 163-186.
- [6] 胡仁伟, 廖东平, 魏玺章. 基于分辨力的融合目标识别系统中的传感器管理方法研究[J]. 电光与控制, 2007, 14(3): 1-4.
- [7] 路志伟, 李明, 季晓光. 机载多传感器管理专家系统设计方法探索[J]. 电光与控制, 2007, 14(5): 9-13.
- [8] 赵福昌, 王睿, 张纳温, 等. 基于粗糙熵和目标威胁等级的多传感器管理方法[J]. 空军工程大学学报, 2009, 10(6): 28-31.
- [9] 段汝娇, 黄翀鹏, 秦宁宁, 等. 基于改进 PSO 算法的多传感器管理方法[J]. 计算机仿真, 2009, 26(4): 237-239.
- [10] 刘先省, 周林, 杜晓玉. 基于目标权重和信息增量的传感器管理方法[J]. 电子学报, 2005, 33(9): 1683-1687.
- [11] WANG GUOHONG, HE YOU, YANG ZHI, et al. Adaptive sensor management in multisensor data fusion system[J]. Chinese Journal of Electronics, 1999, 8(2): 136-139.
- [12] YUAN YUFEI, SHAW M J. Induction of fuzzy decision trees[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1995, 69(2): 125-139.
- [13] JANIKOW C Z. Fuzzy decision trees: Issues and methods[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1998, 28(1): 1-13.
- [14] 常志朋. 基于模糊决策树的出口纺织品反倾销预警系统[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(25): 234-237.
- [15] 白建社, 樊波, 薛钧义. 基于模糊决策树的变电站电压无功控制方法研究[J]. 中国电力, 2003, 36(12): 62-65.