# 智能驾驶员辅助系统的递阶知识库

宋 晗 陈宗基

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100083)

**摘 要**: 为管理面向全飞行任务的智能驾驶员辅助系统知识库, 提出基于任务分解的分级递阶结构. 知识库递阶结构分为: 任务判定级、情况域判定级、辅助执行级. 结合战斗机编队作战任务及其攻击视距外空中目标的典型任务阶段具体分析设计知识库结构. 基于专家系统软件工具 CLIPS(C Language Integrated Production System)设计知识库递阶结构软件模型, 实现了辅助系统知识库的分级模块化, 缩小推理空间, 提高搜索效率, 便于知识库的开发、维护和重用. 通过仿真系统的搭建和运行, 验证了递阶结构的合理性和可实现性.

**关 键 词**: 智能辅助系统; 专家系统; 知识库; 递阶结构

中图分类号: TP 182

文献标识码: A 文章编号: 1001-5965(2008)05-0512-04

# Hierarchical knowledge base in intelligent pilot's assistant system

Song Han Chen Zongji

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

**Abstract**: To realize knowledge base of intelligent pilot's assistant system during the full flight course, hierarchical architecture based on task decomposition was adopted. The hierarchical knowledge base was proposed: task-judging level, field-judging level and aiding-making level. Cooperative team combat mission of fighter aircraft was analyzed emphatically. And 14 sub-tasks were defined according to the flight phase, situation and objective. The sub-task, attack air target beyond visual range, was studied. The sub-task was disjointed by 5 fields on the time dimension or spatial dimension. Modules architecture of the hierarchical knowledge base was established by the expert system software tool C language integrated production system (CLIPS). The effectiveness and the feasibility of hierarchical architecture are demonstrated by the distributed real-time simulation system.

**Key words**: intelligent assistant system; expert system; knowledge bases; hierarchical architecture

随着作战飞机自动化、综合化及智能化程度的提高, 以及未来战场信息化程度的提高, 驾驶员面临的信息更加复杂多样, 仅仅依靠飞行员本身来考虑众多因素, 准确及时的把握信息, 进而做出及时准确的规划和决策是非常困难的. 因此, 需要应用智能技术处理传统上认为只有驾驶员才能处理的任务, 辅助驾驶员做出实时决策, 这就导致对智能化的机载辅助系统的实际需求.

智能驾驶员辅助系统作为自主的软件系统, 辅助驾驶员完成任务, 并且使人-飞机更加有效的相互协调工作. 整个飞行过程中, 辅助系统面临的不确定性因素多, 在不同态势下所要实现的功能也不同, 导致系统具有庞大复杂的知识库. 因此全飞行任务下辅助功能的分析和设计非常困难, 本文对面向全任务智能辅助系统知识库结构和管理进行研究, 以提高运行的实时性、准确性, 降低系统开发维护成本, 提高经济效益.

## 1 知识库递阶分级

根据任务分解的思想, 可将复杂完整的飞行

收稿日期: 2007-04-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10377001)

作者简介: 宋 晗 (1978- ), 男, 陕西西安人, 博士生, songhanhong@buaa.edu.cn

任务过程进行分解, 并分层管理不同级别子任务. 其遵循的原则是“自顶向下”, 即从上层出发, 逐步将最终任务分解为下层可执行的多个不相交的子任务阶段. 据此智能驾驶员辅助系统采用递阶方法实现知识库的分级管理和调用. 辅助系统中知识库可分为 3个级别, 即任务判定级、情况域判定级和辅助执行 (建议生成 )级. 图 1给出了系统功能层次结构.

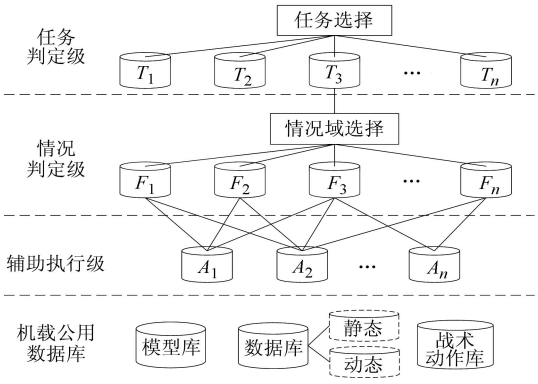



图 1　辅助系统知识库的递阶结构

该结构不仅遵循了“自顶向下”的设计原则, 同时可实现系统“从下至上”的开发步骤. 系统的算法设计针对各任务分开设计, 先独立编制实现每个子任务的软件, 然后集成为完整的辅助系统知识库. 该方法具有如下特点: ①提高搜索速度, 搜索空间逐级减少, 知识库易于运行管理; ②便于分步开发, 缩短开发周期. 设计中按任务功能模块化, 开发时可以逐步实现不同的功能; ③软件维护性提高. 模块化的实现便于采用不同实现策略和智能算法, 使系统软件易于修改.

### 1. 1　任务判定级

整个飞行阶段, 根据飞行条件、飞机当前所处的态势和任务目标不同, 划分出数个在时间或阶段上不相交的典型任务阶段. 不同阶段任务由专门子知识库实现, 调用子知识库完成每个阶段的辅助任务. 任务判定级的主要任务是判定当前所处的典型任务阶段, 缩小问题的讨论空间.

以战斗机编队作战为例, 完整的任务可划分为 14个典型任务阶段. 图 1中子任务 $T_i$ ( $i$= 1, 2 …, 14)是一个典型任务阶段的知识库. 典型任务阶段包括:

1) 飞行前任务阶段: 飞行前训练; 机载设备检测诊断.

2) 飞行中任务阶段: 起飞; 着陆; 航线.

3) 作战任务阶段: ①进入同空中目标的信息接触; ②进入编队攻击空中目标状态; ③攻击视距内空中目标; ④攻击视距外空中目标; ⑤攻击 /防御直接威胁目标; ⑥进入同地面目标的信息接触; ⑦进入编队攻击地面目标状态; ⑧攻击视距内地面目标; ⑨攻击视距外地面目标.

典型任务知识库的调用要根据所获取的外部态势信息、任务目标等条件判定. 以典型任务——攻击视距外空中目标为例说明, 该阶段是歼击机与敌机进行空战的一个阶段, 一般情况下空战以编队形式开始, 在编队作战过程中作战中心发生变化, 作战对象逐渐减少直至一对一的单机作战. 这里采用的攻击视距外空中目标开始于单机确定攻击目标时, 此时飞机可获得敌方信息, 但敌机未出现在视野内. 该阶段结束于转入近战, 或将空中目标消灭. 可确定调用该阶段知识库的条件为

$$c = c_1 \cap c_2 \cap c_3$$

其中, $c$为攻击视距外空中目标; $c_1$ 为目标信息可获得; $c_2$ 为目标距离大于飞行员视距; $c_3$ 为已确定目标.

辅助系统运行时, 当上述条件满足即调用该阶段的知识库进行辅助推理, 当条件不满足时退出该知识库, 进入其他典型任务阶段知识库. 如目标距离小于飞行员视距, 则调用攻击视距内空中目标的知识库继续为飞行员提供辅助支持.

### 1. 2　情况域判定级

典型任务阶段的知识库内可再次按进行的条件和解决的任务划分出几个不相交的独立部分, 称其为情况域. 情况域的选择进一步缩小问题讨论区间, 减少了当前情况下系统分析的影响因素.

图 1中情况 $F_i$对应一个情况域知识库, $i$根据各典型任务划分的情况域数目来确定. 攻击视距外空中目标任务可划分出 5个情况域, 如表 1.

表 **1**　攻击视距外空中目标任务中情况域划分

| 情况域 | 产生条件 | 区域需达到目的 |
|---|---|---|
| 优势保证 | 空战初始阶段有距离信息时 (己方与敌方位于攻击区外 ) | 占据战术有利位置 |
| 攻击 | 敌方未发射导弹, 己方发射或可以发射自己的导弹 | 成功发射己方导弹并创造敌方导弹难以发射的条件 |
| 防御攻击 | 敌方已经发射, 己方已发射导弹或可以组织回击发射 | 对敌方导弹的有效防御, 并实现己方导弹成功发射 |
| 防御 | 敌方导弹已发射, 己方未发射导弹且不能实现回击发射 | 对敌方导弹的有效防御, 并保持继续攻击的可能性 |
| 信息保证 | 未对目标距离做出足够评估 | 保证最快获取信息 |

情况域选择知识可根据态势信息, 采用规则处理来选定情况域. 判定时要考虑的因素有: ①目

标是否在雷达探测范围内; ②目标是否在攻击区内; ③已经发射的导弹是否可用 (导弹可制导 ); ④导弹是否可发射; ⑤己方是否被对方导弹锁定; ⑥己方是否在目标机的攻击区内.

### 1.3 辅助执行级

该级是系统完成辅助任务的具体推理执行层, 由具体的辅助执行库 $A_i$组成, 通过 $A_i$ 可给出某类战术的具体建议. 不同情况域需要不同辅助执行库的支持, 而每个辅助执行库可为不同的情况域知识库提供支持. 例如在攻击视距外空中目标任务中, 常用的对抗战术有机动、导弹发射和干扰, 即执行任务时需要这 3类辅助建议库的支持. 而针对不同情况域下所需采取的战术机动类型不同, 因此所需知识库也不同, 具体如表 2所示.

表 2 情况域所需的战术建议知识库

| 知识库 | 机动 | | 导弹发射 | 干扰 |
|---|---|---|---|---|
| | 垂直 | 水平 | | |
| 优势保证 | 需要 | 不需要 | 不需要 | 不需要 |
| 攻击 | 不需要 | 需要 | 需要 | 不需要 |
| 防御攻击 | 不需要 | 需要 | 需要 | 需要 |
| 防御 | 不需要 | 需要 | 不需要 | 需要 |
| 信息保证 | 需要 | 需要 | 不需要 | 不需要 |

推理得出的结果包括建议和提示 (对当前建议的简短说明 ). 建议可以用参数确定建议的等级, 以区分建议的重要程度、可信度, 对“必须采用”, “可以采用”而言建议的等级参数取值是不同的.

### 1.4 机载公用数据库

该部分主要为知识库各级的推理过程提供支持, 可以在飞行前根据具体任务进行设置. 其中包括: 模型库、数据库及战术动作库等.

模型库内提供任务中可形式化知识的数学模型. 这些模型实现了对情景中产生的当前问题预测计算直至其结束, 并实现特殊事件到来时刻等计算功能. 专用算法和模型能够以一定的知识深度分析复杂的外部情况, 为提出高水平的建议提供支持.

数据库系统由静态数据库和动态数据库组成. 静态数据库存储预先输入的数据, 包括飞机参数、机载设备 (性能 )常量, 数学模型常量等数据. 动态数据主要包括实时对抗数据, 例如作战时间, 敌机当前坐标等数据.

战术动作库提供辅助执行级最终生成的战术动作定义, 包括了为完成辅助任务所必需的战术动作. 例如攻击视距外空中目标任务中需要的战术动作见图 2, 根据表 1依情况域的不同选取具体的动作类型, 遵照动作定义向驾驶员提出建议.

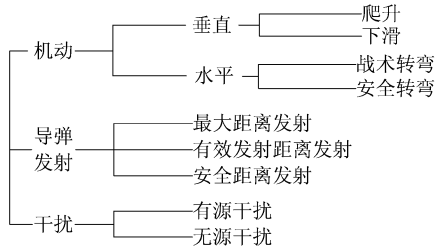



图 2 攻击视距外空中目标任务的战术动作

## 2 递阶知识库软件结构

辅助系统知识库软件实现以专家系统为基础, 采用专家系统工具 CLIPS[11] (C Language Integrated Production System )实现递阶知识库软件系统的基本结构. 根据递阶分级知识的原则, 采用 CLIPS中的自定义模块结构实现对知识库的划分. 辅助系统软件模块结构如图 3所示.

各模块的定义及功能包括: ①信息管理模块: 接收外部信息, 通过数据融合、态势评估处理后放入数据黑板 (公共内存 ). ②任务判定模块: 判断当前执行的典型任务, 然后转入该任务所对应的情况域判定模块执行. ③情况域判定模块: 判断当前所处情况域, 进入具体情况域的知识库执行. 与任务知识库对应有 14个情况域判定模块. ④辅助建议模块: 该模块执行不同情况域下的具体辅助建议推理, 根据数据黑板的信息数据, 调用底层公共数据库, 给出建议及提示.

模块个数为

$$\sum_{i=1}^{14} n_{T_i}$$

其中, $n_{T_i}$为各典型任务划分的情况域数量.

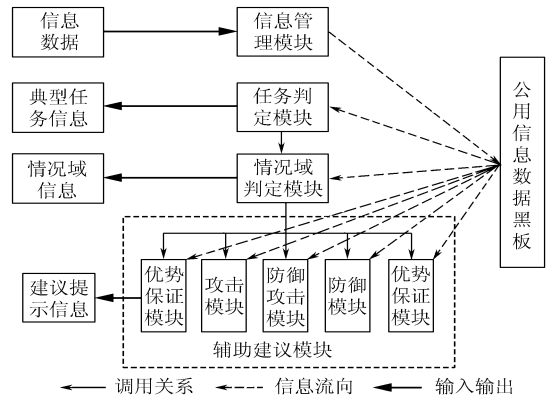



图 3 辅助系统软件模块结构

每个模块均有自己的议程, 当前时刻只运行一个模块, 保证知识库分级递阶运行. 模块间通过黑板进行交互, 保证了各模块的独立性, 也保证了系统的可靠性和可维护性, 为系统重构提供可能.

## 3　仿真验证

根据知识库递阶结构设计思想, 设计开发辅助系统的软件, 并搭建分布式仿真系统进行仿真验证. 仿真系统如图 4所示, 仿真节点包括: ①己方系统: 飞机仿真模型解算实时生成编队飞机的飞行数据, 可通过驾驶杆输入操纵飞机. ②目标系统: 飞机仿真模型解算实时生成目标机飞行数据, 目标机根据预先设定的指令盘旋飞行. ③辅助系统: 接收己方和目标数据, 实现辅助系统的推理和计算. 进行人机接口的管理和显示, 并模拟座舱仪表进行显示.

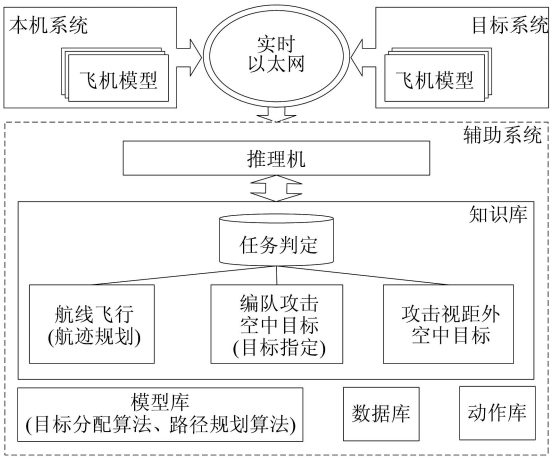



图 4　实时仿真系统结构

辅助系统中实现了航线飞行、编队攻击空中目标、攻击视距外空中目标 3个子任务的知识库. 其中航线飞行模块实现了航迹规划情况下的辅助任务知识库, 编队攻击空中目标知识库为驾驶员提供目标分配建议. 各任务知识库具体实现见文献[2-5]. 子任务知识库间切换通过任务判定模块的规则推理, 如攻击视距外空中目标的子任务库调用条件是:

{ IF 本机确定攻击目标 AND 目标位于视距外
THEN 进入攻击视距外空中目标任务 }

系统采用 CLIPS 与 C++ 结合进行设计开发[2], 可根据不同知识库模块的算法要求采用不同的软件实现方法, 以确保系统的实时性和可靠性. 航迹规划辅助任务的推理采用 CLIPS与 C++ 的混合编程实现, 目标划分推理解算主要采用 C++ 编程, 而攻击视距外空中目标则完全采用 CLIPS实现.

测试中对 4机编队的空战任务进行仿真. 辅助信息通过多功能显示器以图形和文本方式提供驾驶员关心的信息. 本文用计算机显示器模拟座舱显示器和仪表, 如图 5所示. 3个主显示器上采用图形显示的模式, 实时显示规划路径、目标和目标分配结果的图形辅助信息. 辅助信息显示窗口采用文本模式, 显示不同情况下辅助建议 /提示信息. 图 5是航线飞行任务下辅助建议的显示情况, 辅助文本信息包括路径代价信息、威胁信息、辅助算法执行信息.

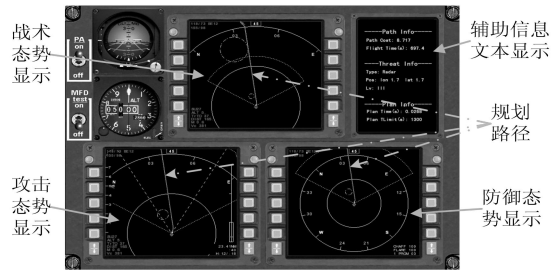



图 5　仿真显示接口 (航线规划辅助任务 )

测试中不同子任务下辅助系统可以给出相应建议, 并且可以满足不同子任务下的实时性要求, 表 3给出了各子任务的最大推理时间, 测试仿真机主频为 1.5GHz

表 3　任务的推理解算时间

| 辅助任务 | | 最大推理时间 /s |
|---|---|---|
| 子任务判定 | | 0.200 |
| 子任务推理 | 路径规划 | 0.620 |
| | 目标分配 | 0.120 |
| | 攻击战术建议 | 0.355 |

通过仿真系统的搭建和测试, 验证了递阶知识库结构在设计开发上的可实现性. 同时由于模块化的独立封装, 因此可实现软件不同情况下不同算法的软件异构形式, 既保证了系统结构的灵活性、同时也保证了实时性等功能指标.

## 4　结　论

完成全飞行任务智能驾驶员辅助系统需要具有庞大复杂的知识库, 为提高系统实时性、准确性及开发阶段、维护阶段的成本和效益, 知识库高效运行管理至关重要. 本文对知识库进行分级, 采用递阶层次结构, 将知识按照典型任务、情况域、辅助建议生成 3个层次进行管理划分. 这种递阶结构符合智能技术逐步缩小讨论空间的思想, 以及软件"自顶向下"及模块化的设计原则, 为智能辅助系统知识库组织管理提供了一种可行的结构, 并且有效提高了知识库的可靠性、维护性、重构能力. 本文提出的结构即可应用于战斗机也可用于民机的智能辅助系统知识库结构设计.

(下转第 519页 )

与匹配率较大, 但是同时存在着误匹配; 这些误匹配都是发生在一个特征点对应多个描述符的情况, 并且对应该特征点的正确匹配也存在于匹配结果中, 这一点更说明了 SIFT 算法的稳定性. 为了兼顾匹配率与匹配正确率, 建议采用 0.3≤τ≤0.4

## 3 结束语

本文对基于图像特征点提取的 SIFT 算法进行了研究, 针对图像缩放、图像旋转、图像亮度变化设计了实验并进行了匹配, 从实验结果可以看出, SIFT 算法能够提取数量相对较多的特征点, 提取的特征点对图像的缩放、旋转以及亮度变化保持了很好的鲁棒性, 将其应用于图像匹配, 保持了很高的匹配正确率. 但是 SIFT 算法的速度比较慢, 下一步将针对算法的实时性进行改进.

### 参考文献 (References)


[1] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110

[2] Witkin A P, Babaud J, Baudin M. Uniqueness of the Gaussian kernel for scale-space filtering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(1): 26-33

[3] Witkin A P. Scale space filtering[C]//Proceedings International Joint Conference Artificial Intelligence. Karlsruhe, Germany: CA, 1983: 1019-1022

[4] Koenderink J J. The structure of images[J]. Biological Cybernetics, 1984, 50: 363-396

[5] Lindeberg T. Detecting salient blob-like image structures and their scales with a scale-space primal sketch: a method for focus-of-attention[J]. International Journal of Computer Vision, 1993, 11(3): 283-318

[6] Lindeberg T. Scale-space theory: a basic tool for analysing structures at different scales[J]. Journal of Applied Statistics, 1994, 21(2): 224-270

[7] Mikolajczyk K. Detection of local features invariant to affine transformations[D]. France: Institute National Polytechnique de Grenoble, 2002


(责任编辑: 娄　嘉)

(上接第 515页)

### 参考文献 (References)


[1] Giarratano J, Riley G. Expert systems principles and programming[M]. 3rd Edition. Boston: PWS Publishing Company, 1998

[2] 窦永金. 智能驾驶员辅助系统研究[D]. 北京: 北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 2004
Dou Yongjing. Research on intelligent pilot's associate[D]. Beijing: School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautic, 2004(in Chinese)

[3] 夏洁. 战术飞行管理系统关键技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 2003
Xia Jie. Research on core technology for tactical flight management system[D]. Beijing: School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautic, 2003(in Chinese)

[4] 廖沫, 陈宗基. 基于满意决策的多机协同目标分配算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(1): 81-85
Liao Mo, Chen Zongji. Coordinated target assignment in multi-UAV based on satisficing decision theory[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(1): 81-85(in Chinese)

[5] Song Han, Zhou Rui. Study on pilot's assistant system based on expert system for BVRAC[C]//Chen Zongji. System Simulation and Scientific Computing. Beijing: International Academic Publishers/Beijing World Publishing Corporation, 2005: 1185-1189


(责任编辑: 刘登敏)