

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.02.030

基于黑板模型的智能驾驶员辅助决策方法

吕全喜, 占正勇

(飞行自动控制研究所 飞控部, 陕西 西安 710065)

摘要: 为降低驾驶员负担、提高任务的有效性和作战生存性, 针对智能驾驶员辅助决策系统的系统状态管理模块进行了深入分析, 对基于黑板模型的知识组织和调度方法进行研究。并以系统状态管理为例, 将飞行员以及领域专家的经验转化成规则。结果表明, 该研究为智能驾驶员辅助决策系统在工程中的应用打下了基础。

关键词: 辅助驾驶; 系统状态; 知识库; 黑板

中图分类号: TP310 **文献标识码:** A

Intelligent Pilot's Assistant Decision-Making Method Based on Blackboard Model

LV Quan-xi, ZHAN Zheng-yong

(Flight Control Department, Flight Automatic Control Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to alleviate pilot's workload and improve the survivability of the fighter and effectiveness of the mission, analyze system status which is a part of the intelligent Pilot's assistant decision-making system firstly, then research the blackboard's knowledge organization and scheduling method. And taking system status manage is example, transform the experience of pilot and expert about system status into rules. The results show that the research is a good foundation for the intelligent Pilot's assistant decision-making system application in project.

Keywords: Pilot's associate; System status; Knowledge base; Blackboard

0 引言

现代作战飞机正向高度自动化、综合化、智能化方向发展, 提供给驾驶员的信息也爆炸性的增加, 飞行、战术操作更加复杂, 飞行员的工作负荷剧增。因此, 需要对置身于复杂多变作战环境中的飞行操纵辅助决策技术进行研究。智能驾驶员辅助决策系统(Intelligent Pilot's Associate System, IPAS)是基于知识支持的旨在帮助飞机驾驶员进行辅助决策的智能化系统平台。IPAS通过对来自飞机传感器的信息分析融合, 将数据信息变换为事实信息提交给驾驶员, 系统根据这些事实信息经过适当的推理机制决策出合理的方案。IPAS可帮助驾驶员进行信息管理和飞行控制。在已开展的驾驶员辅助系统的研究中, 较典型的有美国的PA、RPA系统, 德国的Crew Assistant Military Aircraft和俄国的机载专家系统^[1-3]。国内也进行了大量研究, 但尚未形成完整体系结构。故借鉴国内外的研究成果, 对智能驾驶员辅助决策系统的总体结构及其实现方法进行讨论。

1 IPAS 功能结构

IPAS的基本思想是将飞行员要处理的数据分类和排出优先顺序, 分析探测器和飞机系统的数据, 将数据分解成有关信息通知驾驶员, 使他更好地了解环境, 同时, 根据信息得出纠正措施或达到任务

目标的替代计划, 提交给驾驶员批准和执行。

从功能上讲, IPAS可分为如下几个模块: 系统状态管理模块、目标态势评估模块、任务规划模块、战术规划模块和驾驶员-飞行器接口模块。各模块之间关系及总体结构如图1。

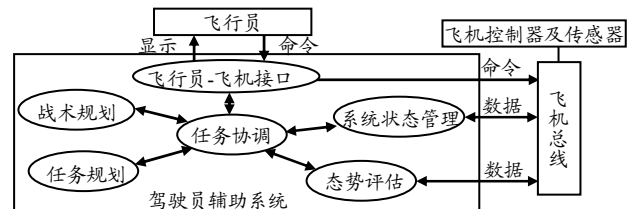


图1 驾驶员辅助决策系统的结构与接口

系统状态管理模块的主要功能是系统诊断、监视和分析机上的资源。它能识别、诊断和验证出故障的系统, 确定是否可由其他系统弥补出故障的系统, 并对故障后的各系统的工作做出评估, 以建议性的信息及建议采取的动作向驾驶员提供。借助系统状态管理模块, 驾驶员可对飞机的状态有全面的了解, 使驾驶员以最佳的方式使用武器系统, 减少驾驶员和飞机的损失, 提高完成任务的能力。目标态势评估模块的功能是监视和分析外部作战环境, 对监视飞机外部环境的探测器的数据管理。它将考虑敌我双方的飞机和地面力量、地形、气象、飞机状态和可用资源, 其信息来自探测器(如C4I)、命令、控制、通信、情报数据、跟踪文件和数据库。

收稿日期: 2009-09-24; 修回日期: 2009-10-22

基金项目: 航空科学基金, 先进飞行器管理系统运行概念、体系结构和综合设计技术研究(2006ZC18003)

作者简介: 吕全喜(1981-), 男, 甘肃人, 硕士, 工程师, 从事综合飞行控制、先进飞行控制研究。

目标态势评估模块将对获得的信息分析,以确定目标的属性和意图,向驾驶员提供关于影响完成任务的最重要的按优先级排队的考虑清单。此外,还对威胁作分析供战术规划模块制定进攻策略之用。战术规划模块的功能是根据系统状态模块提供的内部信息及态势感知模块提供的当前环境的信息(威胁特性、驾驶员的倾向、飞机状态、预测的性能能力、可用的资源、当前的任务、目标和限制条件等),通过改变飞行航线,对威胁作回避动作,既可利用电子对抗来规避威胁,也可采用适当的战术、选择合适的武器进行攻击。任务规划模块的主要目的是向驾驶员提供执行任务的更大的灵活性,包括导航、威胁回避、燃油管理和修改航线等功能,能提供飞向和飞离目标区域的航路,能根据飞机的限制条件和状态,优化燃油流量和减少被敌方火力击中的危险。在给定新的限制条件下,重新确定飞机的航线,向驾驶员提供可选用的替换任务计划。它将预先规划的任务模型和实际的事件作比较,评价新数据的影响,帮助驾驶员理解建议的任务方案,把任务方案按优先级排队。作为人一机接口的 PVI 是 IPAS 的基础,是一个高度信息密集的程序。通过信息处理,把重要的信息以最佳的形式提供给驾驶员。除了上述几个主要工作模块之外还应该有一个任务调度模块,负责协调各个模块之间的工作、解决冲突,管理计算机资源和保持各模块之间的通信等。下面以系统状态模块为例,深入探讨 IPAS 的组织方式。

2 系统状态管理模块

飞机各系统的状态和能力是驾驶员驾驶中必须掌握的。状态指飞机上各系统的工作状况、配置、数据及资源状况。能力则指在给定的飞机状态下可能的机动。系统状态模块须对上述信息监视和分析。归结起来,系统状态管理模块的功能主要包括:

1) 系统诊断,系统诊断涵盖飞机上的各个系统,通过诊断了解飞机及其组成部分的状态,在出现功能失灵时将其恢复到正常状态,而在系统故障后将故障部件安全隔离。系统诊断已经由最初的故障检测与隔离发展到了目前广泛研究的健康管理系统,机载设备健康管理包括涉及飞行器的健康和安全管理活动(例如飞行控制、热管理、系统监视和诊断、故障隔离和恢复、危害识别和避免),通过对战斗机机内各项性能监控与提示,确保驾驶员可以了解到机内所有的安全和状态信息,同时,根据重要程度排序,对超过阈值的状态进行提示。

2) 限制预估,在诊断的基础上给飞行员以及其它辅助模块提供飞机操纵以及执行任务时的限制条件,对飞行员操纵意图进行识别并提示可能产生的错误。当飞机各系统正常时,要进行限制估计,如对机动时的迎角、过载限制,当某个系统或部件(如某个舵面)发生故障时,要对飞机的各项性能重新做估计,并把这些信息实时传递给飞行员以及其它辅助子系统,以能按照实际能力去执行任务。

3) 特情处理,特情处理子系统就是为了辅助驾驶员进行特情处理的系统,当飞机遭遇某种特殊情况时,如发生发动机故障,能够向给驾驶员提供合理的处置意见和建议,提供给驾驶员参考。例如,某架机起飞收上落架后,收放手柄故障不能回中立,出现此故障时,即不允许正常放起落架,也不允许应急放起落架,在飞行员束手无策的情况下,特情处理子系统可以提出“关闭起落架电磁开关断路器,再应急放起落架”的处置方法。

3 系统状态管理举例

为了对系统状态管理模块在驾驶员辅助决策中所起的作用有一个清晰的认识,举例如下^[4]。

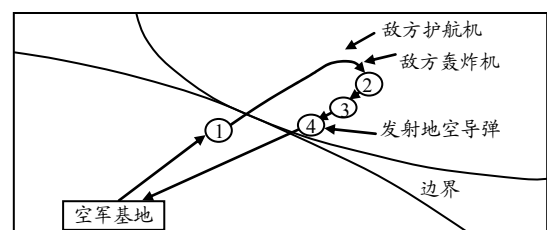


图 2 战斗机执行任务示意图

如图 2,假如某架飞机要去执行空对空的作战任务,首先它要飞到一定的安全区域,等待任务分配。这时它收到一个任务,去攻击某架在敌方空域内的轰炸机,下面分 4 个阶段来研究任务的执行过程。1) 首先,在收到任务后,任务规划模块规划出飞机要进入以及离开敌方空域的航路,规划时不仅需要来自态势感知模块的敌方的威胁信息,同时也需要系统状态模块的系统状态信息,以便做好燃油规划等任务规划,并将信息提供给飞行员; 2) 第 2 阶段,飞机在攻击完后准备返回,这时 2 台发动机中的其中 1 台油泵出现故障,系统状态诊断模块检测出故障,由于发动机很快就会报故,模块建议飞行员关掉发动机,但因为还在敌方空域,飞行员拒绝了辅助系统的建议,这时系统状态的特情处理模块启用知识库,让发动机以 80% 的效率开始工作,来最大程度地延长发动机的工作时间,飞行员接受了此项提议; 3) 第 3 阶段,在发动机带故工作

了几分钟后, 发动机失效, 此时飞机只有 1 台发动机工作, 系统状态模块应及时将此信息报告给此前任务规划模块, 重新规划飞机的最佳返回路径, 因为此时飞机已经不具备超音速巡航等一些原本具备的能力; 4) 第 4 阶段, 在飞机故障后时间不久, 敌方地面发射地空导弹追踪飞机, 态势感知模块探测到威胁信息, 并将信息及时传输给飞行员以及战术规划模块, 战术规划模块要做出逃逸或者发射诱导弹的规划, 需要来自系统状态模块的有关信息, 因为飞机在单发动机工作时, 很多机动能力受限, 系统状态的限制估计模块要实时计算出限制的具体数值, 供飞行员以及战术规划模块使用。

可见, 系统状态管理模块不单是检测故障, 报告飞机状态, 还应提供各情况下飞机的实际能力, 并具有特情处理功能。系统状态管理的这几个功能都起到驾驶辅助的作用, 其中渗透了很多操作以及驾驶的经验。可采用专家系统知识库的方式实现。

4 基于黑板模型的系统状态管理结构

黑板模型是一种以黑板为中心, 适时激活知识源进行正反向推理的渐进式问题求解模型, 它具有结构清晰、条例分明、易于实现等优点, 适用于解空间很大的复杂问题求解, 是目前专家系统广泛采用的一种典型的通用问题求解模型^[5]。黑板系统通常具有黑板数据结构、知识源和控制模块三方面的内容, 这 3 部分及相互间的联系称为黑板框架结构。

鉴于驾驶员辅助决策的复杂性, 利用黑板框架将问题划分为不同抽象层次, 为问题解决提供推理结构。在黑板框架下, 一个动态问题被分解成多个方面, 每个专家在其特定领域内提供解决问题的方法。PAAIS 基于黑板模型的知识组织与控制如图 3。

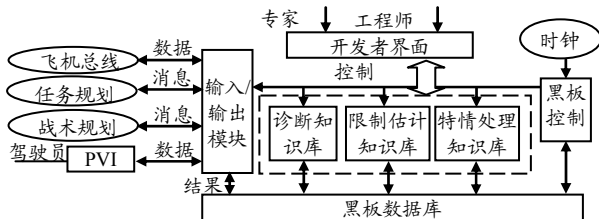


图 3 驾驶员辅助决策系统的结构与接口

4.1 知识源

一个黑板系统通常包含若干个知识源, 构成求解问题所需的知识库, 知识源间相互独立又相互联系, 从黑板上获取信息, 修改黑板上的内容。

系统状态管理模块的知识库 (KS) 主要有 3 部分, 诊断知识库、限制估计知识库和特情处理知识库, 每个 KS 可通过建立、删除、修改假设或补充某假设内容而向黑板添加信息, 如诊断模块实时诊

断, 并将诊断结果周期地添加到黑板, 供知识库使用信息。KS 可划分前件和主体, 均用程序来表示。

前件可直接且排它地监测黑板当前状态, 从而确定各自 KS 的运行。前件的 2 个主要功能是: 每个运行周期对不属于就绪状态的 KS 测试其运行条件是否满足; 对属于就绪状态的 KS, 则进行一致性评估, 直至被撤销或执行。对于满足运行条件的 KS, 前件又具有 KS 主体与黑板间的信息传递功能。

KS 主体为知识推理线程, 它的运行将改变黑板的状态, 同时, 主体的内置变量将随着黑板内容的改变而改变。只有需要在不同的知识源间传递的信息才存储在黑板上。主体也可是独立的黑板系统, 有独立的调度模块和知识源, 这种由主体而衍生出复杂的分级黑板树, 称为层次黑板。KS 主体部分中除包含规则、计算函数等的集合外, 还包含推理策略 (规定 KS 采用正向、反向、双向推理)。

知识库有专门的维护接口, 知识工程师和领域专家通过相应的界面对知识库进行维护。

4.2 黑板结构

黑板既用来存放知识源所需要的信息和解状态数据, 也用来存放由知识源产生的解状态数据。根据领域问题的求解需要, 将黑板结构的层次分为 4 层: 1) 计算层: 存放执行文件形式的计算模型信息, 主要用于限制估计的定量计算; 2) 中间状态信息层: 记录推理的初始信息、中间结果、控制数据, 以及人机对话的过程, 例如, 当某个舵面出现故障时, 诊断模块可能不能直接推出结果, 推理的中间结果存入该层; 3) 推理结果层: 存放推理过程的最终结论。黑板层次在实际使用时可根据需要细分。

黑板上的主要信息是假设, 每个假设存在于黑板的一个层次中, 并有一个解释性的名称, 假设还包含一系列附加信息, 包括假设的层次名、标识该假设的黑板元素名、产生该假设的时间、该假设的可靠性估值和假设的处理状态等。

4.3 控制模块

控制模块由黑板监督程序和调度程序组成。为监督黑板, 控制部分的数据库中设张表, 指出每种黑板基本变化类型与每个知识源条件部分的一一对应关系, 一旦黑板状态发生变化, 监督程序就根据变化类型和这张对应表, 将处理该变化类型的知识源条件部分的指针放入调度队列中, 该知识源这时就是被激活的知识源。使条件成立的一组黑板假设, 称为知识源的刺激框架, 因执行动作部分而产生的黑板变化类型, 称为知识源的响应框架。

控制部分循环执行工作：1) 调度程序从调度序列中选择一个活动来执行，如果是 STOP 知识源，则停止；2) 若选择执行知识源条件部分且条件成立，则将刺激框架、响应框架及激活的知识源振动部分指针送入调度序列；3) 若选择执行知识源动作部分，则黑板将被修改，黑板监督程序将对应于该种黑板变化类型知识源条件部分指针送入调度序列。

由于调用一个知识源可引起黑板上的多种变化，而每种变化又会激活多个知识源，故在系统运行的任一时刻，调度队列中可能会有许多等待执行的活动。对于调度队列中的每个活动，调度程序根据其刺激框架、响应框架以及黑板上的其他有关信息计算它的优先级，让优先级最高的活动首先执行。

4.4 输入/输出模块

输入/输出模块负责同飞机总线、PVI 系统以及其它辅助子系统之间的信息交换，完成数据的译码、编码。采集飞机总线上的数据作为输入，根据需要，将处理结果输出给任务规划模块、战术规划模块以及 PVI 系统，驾驶员可通过 PVI 来监控飞机的工作状态，并对一些处理结果做出最后的决策。

黑板结构具有很好的拓展性，其它几个模块也

(上接第 92 页)

```
struct sm502fb_info {
    struct device *dev;
    struct fb_info *fb;
    struct resource *fbmem_res; /*帧缓冲资源*/
    struct resource *regs_res; /*寄存器资源*/
    struct sm502_platdata_fb *pdata; /*板卡数据*/
    unsigned long pm_crt_ctrl;
    int irq; /*中断*/
    void __iomem *regs; /*重映射寄存器*/
    void __iomem *fbmem; /*重映射帧缓冲区*/
    size_t fbmem_len; /*重映射长度*/
};
```

其中，fbmem_res,regs_res,pdata,可以在设备初始化时由平台结构体 platform_device sm502_plat_dev 获得。

2.3 SM502 驱动的初始化

Linux 内核中通过 module_init(sm502_init)宏来注册设备驱动初始化函数。由于 SM502 作为一块独立的 SoC 硬件模块存在。因此，在设备初始化函数中，只注册 SM502 设备平台驱动。如下：

```
platform_driver_unregister(&sm501_plat_drv);
```

而初始化 sm502_fb 结构体的固定和可变参数、硬件初始化、申请内存空间，子平台创建等，移交给平台驱动探测函数完成。平台驱动结构体如下：

```
static struct platform_driver sm502_plat_drv = {
```

可应用黑板结构，形成几个并列的黑板结构，再采用一块总控黑板进行各个模块之间的协调和任务调度。这样，IPAS 系统的复杂任务就转化成一个个层次分明的黑板树的求解问题。

5 结束语

研究了智能驾驶员辅助决策系统的总体结构和基于黑板模型的知识组织和调度方法，并就其中的系统状态管理模块进行了深入分析。

参考文献：

- [1] Shella B. Bank and Carl S.Lizza, Pilot's Associate: A Coopertive Knowledge-based System Application[J]. IEEE Expert, 1991, 6(3):18-29.
- [2] I. Snyder, K. T.; Sokoloff, S.; Bearden, M.: The cockpit associate: A "co-pilot in a box" for general aviation[J]. Digital Avionics Systems Conference, 2003.
- [3] C.A. Miller and M. D. Hannen, The Rotorcraft Pilot's Associate: Design and Evaluation of an Intelligent User Interface for Cockpit Information Management[J]. Elsevier, 1999: 443-455.
- [4] Friedlander C. The Pilot's Associate: A Forum for the Integration of Knowledge based Systems and Avionics[C]//. Aerospace and Electronics Conference, 1988.
- [5] 邢传鼎, 杨家明, 等. 人工智能原理及应用[M]. 上海: 东华大学出版社, 2005: 2.

```
.driver = {
    .name = "sm502",
    .owner = THIS_MODULE,
},
.probe = sm502_plat_probe,
};
```

sm502_plat_dev 描述设备的硬件资源，将其作为参数传递给平台驱动探测函数。内核启动便会调用 sm502_plat_probe 完成 SM502 的初始化。

另外，除了作为帧缓冲设备，SM502 还有 2 个串口、1 个 AC97、1 个主 USB 等控制器。故如果要使用这些控制器，可将其作为 SM502 的子平台，采用子平台用 platform_device 表示，子平台驱动用 platform_driver 注册，并在 SM502 的平台探测函数中，创建子设备平台，最基本的子平台就是帧缓冲子平台。

3 结束语

SM502 已成功应用于某单兵系统，系统的多媒体处理能力增强，提高了整个系统的工作效率。

参考文献：

- [1] Silicon Motion®, Inc. SM502 Mobile Multimedia Companion Chip Data book[S]. Taiwan: Silicon Motion®,Inc, 2006(12).
- [2] 宋宝华. Linux 设备驱动详解[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 478-485.