

# 基于 Agent 的 空中交通流量管理系统结构研究

黎新华 张兆宁

中国民航大学, 空中交通管理研究基地, 天津 300300

**摘要:**空中交通流量管理系统(ATFM)对于适应飞行量的不断增长、减少延误、充分利用空域和地面资源, 具有战略性意义。多 Agent 具有实时性高、可扩充性好、自治能力强的特点, 符合空中交通流量管理系统的要求。本文充分考虑到空中交通流量管理系统三级结构的特点, 把那些具有自主性和智能性、并对系统有重要影响的实体用 Agent 来实现, 基于 Agent 技术构建了空中交通流量管理系统的框架, 详细阐述了系统工作方式及各分 Agent 系统的结构; 将多 Agent 应用到空中交通流量管理系统, 可有效提高系统的动态环境适应性和自治性, 降低系统设计与实现的复杂性, 为建设流量管理系统提供了新的思维模式。

**关键词:**空中交通管理; 流量管理系统; 多 Agent 系统; 系统结构

中图分类号: F560.81

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2007)01-0056-06

## Research of the Structure of Air Traffic Flow Management System Based on the Agent

LI Xin-hua ZHANG Zhao-ning

The Research Base of Air Traffic Management ,

Civil Aviation University of China , Tianjin 300300 , China

**Abstract:** Air traffic flow management(ATFM)system has a strategic significance on keeping pace with the increasing of flight flow, reducing delays and making full use of air space and the ground resources. Realtime, good expandability and strong autonomy are the characteristics of multi-agent, and these characteristics meet the needs of ATFM system. In this paper, we fully take the characteristics of the three-tier ATFM system into account, actualize the entities that have autonomy, intelligence and have an important impact on

收稿日期: 2006-09-12.

作者姓名: 黎新华(1983-), 男, 汉, 江西人, 中国民航大学空中交通管理研究基地硕士研究生, 研究方向: 空中交通流量管理系统理论。

the system by agent. A structure of ATFM system based on agent technology is designed. The operational mode of the system and the structure of every subsystem agent are illuminated. Applying the multi-agent into the ATFM system can effectively enhance the system's adaptability and autonomy for dynamic environment, and reduce the complexity of design and construction of the system. And also offer a new way for the building of ATFM system.

Key words : Air traffic management , flow management system , multi-agent system , system structure

## 0 引言

随着航空运输业的迅速发展,空中交通流量迅速增加,我国现有的流量管理方法难以适应空中交通流量增长的需求,因而在机场、终端区及航路交叉点出现了较为频繁的飞行冲突,形成了空中交通网络的瓶颈。这不仅增加了管制工作的负荷,还造成大量航班的延误,增加了飞行成本,同时危及了飞行安全,空中交通流量管理有助于实现空中交通管制的目的,以达到对机场和空域容量的最大利用效率。

空中交通流量管理系统由人、航空器及交通设施等组成,具有结构复杂、影响因素多、开放性强、随机及不确定因素多等特点,是一个动态的复杂的大系统,且并有实时性较强,难于利用传统方法精确描述和解决的特性。基于 Agent 的建模立足于行为主体,通过理解主体的思维结构和环境状态,建立一个具有推理功能和信息处理能力的模型,尤其适用于大量具有主动性、适应性并与环境进行相互作用的智能个体的系统,这些特点充分符合了空中交通流量管理的要求。空中交通流量管理系统结构是建立流量管理系统要研究和解决的关键问题,系统结构方案的好坏,决定了整个流量管理系统能否进行工作以及工作是否有效。文献[1]对空中交通流量管理系统的组织结构、软件结构、功能结构做了深入的分析,文献[2]给出了系统的框架,文献[3]、[4]基于 Agent 对空中交通流量管理系统做了较深入的研究,Agent 在电力系统和公路交通系统的研究已取得一定的成果<sup>[5]-[8]</sup>,并且已经投入使用,但基于空中交通流量管理系统的研究尚未见诸报道。本文以多 Agent 技术为基础,给出了基于多 Agent 空中交通流量管理系统结构,并对系统工作方式及各 Agent 的结构作了深入的分析。

## 1 Agent 技术及其原理

### 1.1 Agent 及其特性

Agent 和多 Agent 系统的概念起源于人工智能领域,对于什么是 Agent,不同的研究者根据自己的研究背景和研究领域提出了不同的描述,还没有一个统一的明确的关于 Agent 的定义,但是,一般认为 Agent 应该具有以下全部或部分的特征<sup>[9]、[10]</sup>:

(1) 针对环境性: Agent 处于特定的环境中,通过感知器来观测环境,通过效应器作用于环境;

(2) 自治性:这是 Agent 的一个最本质特征。它表现为 Agent 具有属于其自身的计算资源和局限于自身行为控制的机制,能在无外界直接操作的情况下,根据其内部状态和感知到的外部环境信息,决定和控制自身的行为;

(3) 反应性:能感知所处的环境,并对相应事件做出适当的反应;

(4) 面向目标性:能遵循承诺采取主动的行动,表现出面向目标的行为;

(5) 社会性:在一个系统里面,单个 Agent 的行为必须遵循和符合 Agent 社会的社会规则并通过某种 Agent 交互语言,以某种合适的方式与其他 Agent 进行灵活的交互,并与其他 Agent 进行有效的合作。

### 1.2 多 Agent 系统

多 Agent 系统 (Multi agent system, MAS) 是一个 Agent 间相互耦合的强非线性系统,通过多个 Agent 间及 Agent 与环境之间的通讯和协调、协作、协商解决单个 Agent 所不能解决的规模庞大、结构复杂的问题,提供了解决复杂问题的分而治之的方法。MAS 区别于其他方法的最大特点在于系统内 Agent

间的动态交互性。

MAS的组织结构是指系统中 Agent 之间的信息关系和控制关系,以及问题求解能力的分布模式。它是结构和控制的有机结合,通过角色、行为预期和控制关系定义,提供 Agent 活动和交互的框架。组织结构是 MAS 中许多其他问题的基础,因此,如何有效地将各个 Agent 组织起来,以便使 Agent 之间及 Agent 与环境之间通讯、协商、协作顺利进行,对 MAS 的研究非常重要。系统的组织结构可以是主从式的层次结构,也可以是完全自治的平等式结构或者两者的组合<sup>[9]</sup>。

## 2 空中交通流量管理系统概述

空中交通流量管理系统能为空中交通管制提供科学的优化策略,减少航班延误时间,为管制员提供辅助决策支持,减轻管制的工作负荷,最大限度利用空域、机场等资源。流量管理系统可以缓解并在很大程度上解决空中交通拥挤,有效促进民航的发展,是航空运输系统智能化的必备前提。

我国正在筹建的空中交通流量管理系统分为三级<sup>[2]</sup>,第一级是全国统一的中央流量管理中心,负责协调全国范围的空中交通流量,称为一级流量管理中心;第二级是区域流量管理中心,负责协调本区域内的飞行流量,称为二级流量管理中心;第三级按地域可分为航路和终端区两部分,在区域流量管理中心指导下分别进行航路和终端区流量管理。采用分级结构主要有以下特点:

(1) 因为决策人能够处理的信息容量是很有限的,对于某个目标确定的系统,一个决策人要理解它都嫌太复杂了,更不用说管理它了;

(2) 如果平行地工作,就有可能在一定的时间内完成更多的任务,这就产生了由一组分散的管理人员平行进行决策的工作方式;

(3) 按照整个目标的要求,为了协调分散决策者的活动,设置一个专门的协调职务来构成分级结构,这比所有决策者之间经常进行联系效率要高,因为,如果所有决策者经常进行联系会增加每个决策者的

负担,也难取得一致性决议;

(4) 系统具有总体目标,该目标是协调构成这个分级结构的全体决策单元的依据;

(5) 分级结构中不同级上的决策单元之间有往返的信息交换,较低级对较高级给予的信息当作命令对待,只要可能就应该服从这一命令;

(6) 分级结构中,越高级别的决策单元越关心较长时期的目标。

## 3 基于 Agent 的空中交通流量管理系统模型构建

进行多 Agent 系统研究时,首先要确定多 Agent 系统的结构,区域流量管理中心各子系统在中央流量管理中心统一指导下进行流量管理工作,各区域流量管理中心子系统之间相互制约、相互协调,既对本区域进行流量管理工作又和其他子系统相互协调完成全国的流量管理工作。

在基于 Agent 的空中交通流量管理系统中,将中央流量管理中心设置为中央流量管理中心 Agent (Central Flow Management Center Agent, CFMCA);各区域流量管理中心设置为区域流量管理中心 Agent (Area Flow Management Center Agent, AFMCA) 是区域流量管理子系统的管理 Agent;三级流量管理涉及到的实体较多,并不需要将所有的实体都抽象化为 Agent,只需把那些具有自主性和智能性,并对系统有重要影响的实体用 Agent 来实现,主要有航空器 (aircraft)、航空公司 (airline)、机场运营单位 (airport operators)、各种空中交通管理单位 (air traffic management units 主要包括航路,终端区和机场)。

### 3.1 中央流量管理中心 Agent (CFMCA)

中央流量管理中心 Agent 主要负责统观整个国家的流量管理工作,AFMCA 需要每隔一段时间向 CFMCA 发送有关自身的一些信息。CFMCA 根据这些信息以及自身所具有的知识,协调各 AFMCA,制定适宜的管理策略,从而实现对全国空中交通流量的有效管理。中央流量管理中心 Agent 的结构如图 1 所

示。在必要时调度人员可通过 Agent 的人机界面对整个流量进行管理。

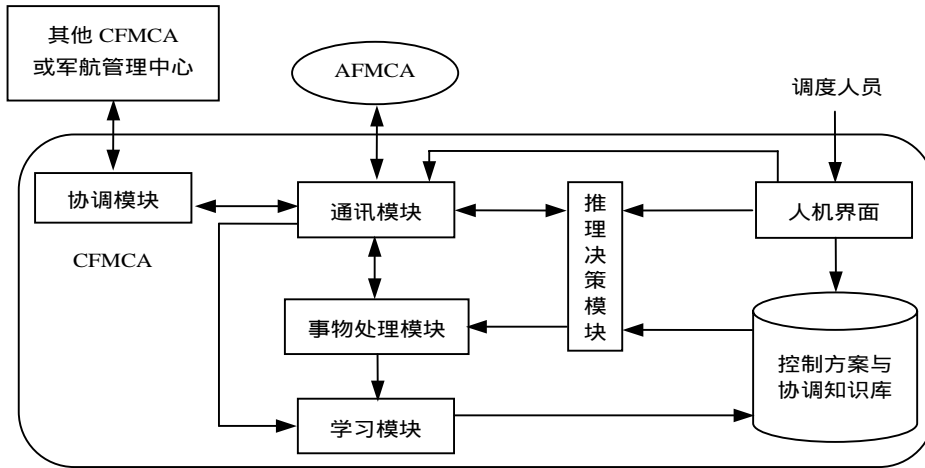


图 1 中央流量管理中心 Agent 的结构

Fig.1 Framework of the central flow management center agent

### 3.2 区域流量管理中心 Agent (AFMCA)

区域流量管理中心 Agent 在中央流量管理中心 Agent 指导下对本区域进行流量管理，各 AFMCA 相

互制约，它们通过通讯和信息交互来协作、协商对全国空中交通流量进行管理。区域流量管理中心 Agent 的结构如图 2 所示。

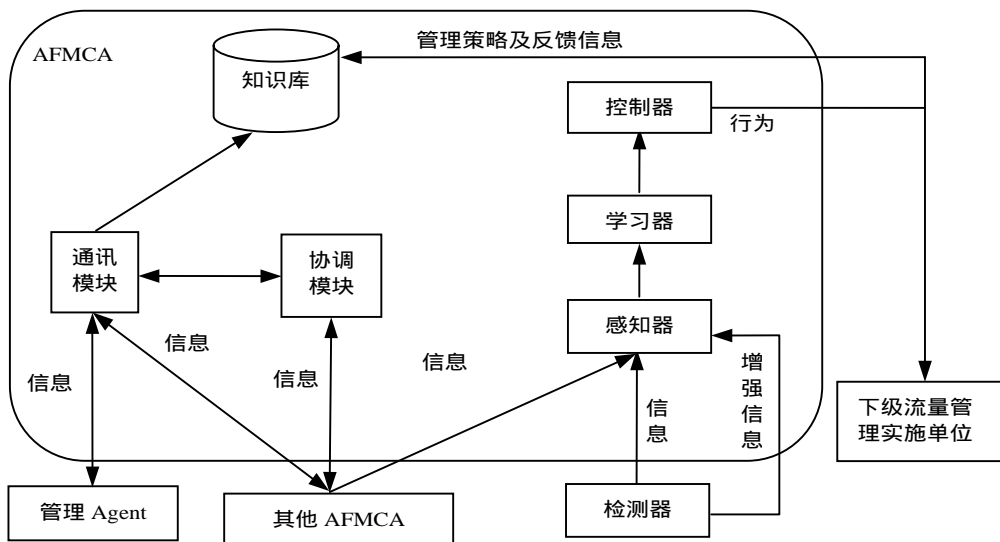


图 2 区域流量管理中心 Agent 的结构

Fig.2 Framework of the area flow management center agent

### 3.3 三级流量管理中心 Agent

三级流量管理中心 Agent 在区域流量管理中心 Agent 指导下进行流量管理，每个 Agent 负责一个系统中的一个子问题，并与其他 Agent 进行协调与协

作，以便实现整个系统的目标，Agent 之间、Agent 与环境之间的通讯通过信息传递完成<sup>[3]</sup>。

三级流量管理中心 Agent 的结构如图 3 所示。

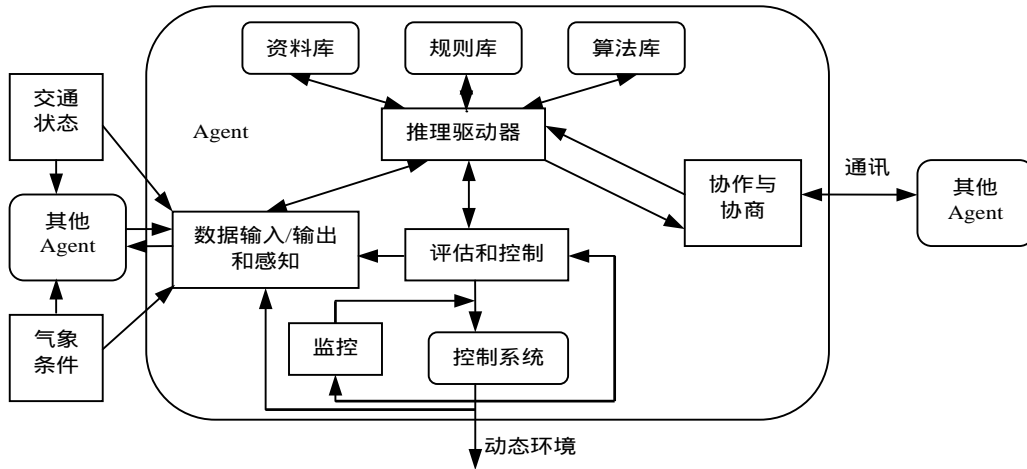


图3 三级流量管理中心 Agent 的结构

Fig.3 Framework of the third class flow management center agent

3.4 基于 Agent 的空中交通流量管理系统结构及其工作方式

三级流量管理中心 Agent (航空器 Agent, 交通管理 Agent, 航空公司 Agent, 机场运营 Agent) 在区域流量管理中心 Agent 管理下谋求各自利益最大化, 但 AFMCA 是为了使本区域的利益最大, 为了实现各三级流量管理中心 Agent 需要相互协调, 各三级流量管理中心 Agent 必须进行信息交互。当三级流量管理中心 Agent 协调不能达成一致时, AFMCA 可通过控制器给出强制性的管理命令。三级流量管理中心 Agent 需将有关自身的信息通过感知器反馈给 AFMCA, 以更新 AFMCA 的知识库和加强学习器的学习, 优化 AFMCA 的控制器并帮助 AFMCA 做出正

确的决策和流量控制行为。

AFMCA 为了缓解自身的交通负荷或与其他 AFMCA 管制移交时, 可以通过协调模块与其他 AFMCA 进行协调。中央流量管理中心 Agent 可以通过通讯模块发送管理命令给 AFMCA, AFMCA 除了执行 CFMCA 的管理方案之外, 还须将管理的效果和相关信息反馈给 CFMCA, 以便 CFMCA 可以对自身的知识进行更新。

系统中每个自治的 AFMCA 代表一个区域的利益并为之服务, 但系统的最终管理目标并不是使某些区域的利益最大, 而是整个国家的利益最大。为了实现 AFMCA 间的协调, AFMCA 间可以进行信息交互。

基于 Agent 的空中交通流量管理系统结构如图 4

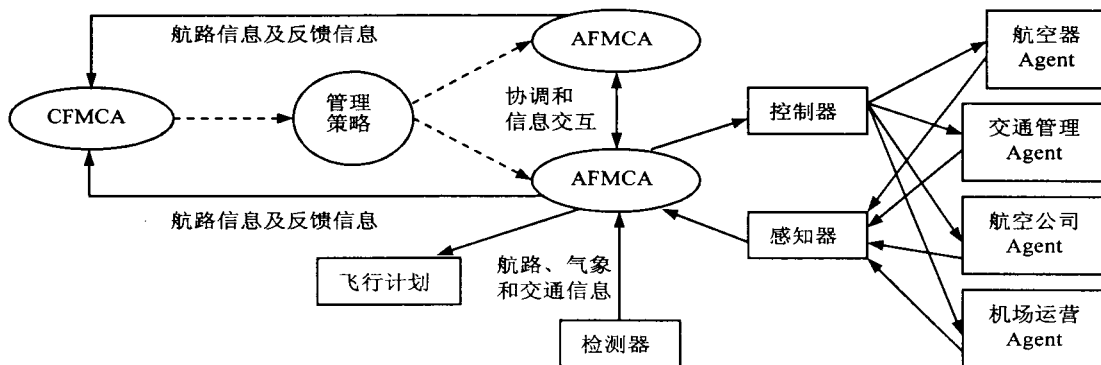


图4 基于 Agent 的空中交通流量管理系统结构

Fig.4 Structure of air traffic flow management system based on the agent

所示。作为智能的 AFMCA，它具有很高的自治性，AFMCA 之间有时可以通过协调达成一致意见，并不需要 CFMCA 发送管理指令，因此，图中的虚线表示数据流并不是必须一直存在。AFMCA 根据检测器检测到的交通状态、其他 AFMCA 交互的有关信息以及由感知器接收的三级流量管理中心 Agent 传送的信息，通过控制器发送管理指令给三级流量管理中心 Agent，进行流量管理和制定飞行计划；根据需要与其他 AFMCA 进行信息交互、协调，保证整个管理区域的利益；AFMCA 还实时地将有关的信息传送给 CFMCA。CFMCA 根据其所具有的经验知识及接收到的所有 AFMCA 传送的信息，从全局的角度出发，对 AFMCA 的管理策略进行衡量，必要时向某些 AFMCA 发送管理指令；接收指令的 AFMCA 无条件执行指令，并将执行后的控制效果反馈给 CFMCA，以便 CFMCA 的知识库进行更新。

在整个系统中，除了中央流量管理中心 Agent 对区域流量管理中心 Agent 有控制权外，各区域流量管理中心 Agent 之间是平等、自治的关系。这种结构是主从式的层次结构和完全自治的平等式结构的组合，既可以发挥 Agent 的自治性和灵活性，又可以在一定程度上对系统的运行进行控制。

#### 参考文献

- [1] 胡明华，谢兰生，韩松臣．空中交通流量管理系统方案初探[J]．现代电子工程，2000，(2)．
- [2] 马正平，崔德光．空中交通战略和战术级流量管理模型[J]．清华大学学报，2003，43(7): 903-907．
- [3] Wangermann, John P. Stengel. Robert F. Principled negotiation between intelligent agents: a model for air traffic management [J]. Artificial Intelligence in Engineering, 1998, 12 177-187.
- [4] Ljungberg M, Lucas A. The OASIS air traffic management system [C]. In: Proc. of 2<sup>nd</sup> Pacific Rim Int. Conf. on Artificial Intelligence. Seoul, Korea, 1992.
- [5] 刘群英，刘天琪．基于 Agent 的电力系统控制协调

综上所述，基于多 Agent 的空中交通流量管理系统通过 Agent 将动态的、开放的、复杂的空中交通流量管理系统各实体分离开来，系统结构主要分为中央流量管理中心 Agent、区域流量管理中心 Agent、航空器 Agent、交通管理 Agent、航空公司 Agent 以及机场运营 Agent，并利用 Agent 的特性以及多 Agent 之间通讯、协调将它们紧密联系成一个有机整体，对流量管理工作采取分而治之的方法，有效简化了系统的工作结构，同时也增强了各流量管理单位的自治能力。系统的知识存储于各个 Agent 中，可以提高知识的利用率与获取效率，各 Agent 可以通过本身的知识库做出反映，具有实时性高的特点。系统中的 Agent 具有很好的自治能力，可分布于网络计算机上，以增强系统的可靠性和鲁棒性，提高系统的运行效率。

#### 4 结束语

本文在对空中交通流量管理系统结构深入分析的基础上，基于 Agent 技术构建了空中交通流量管理系统，提出了一种三级 Agent 空中交通流量管理系统结构，给出了单个 Agent 的结构图和各 Agent 的工作方式，为建设流量管理系统提供了新的思维模式。

- 的智能体构架[J]．继电器，2004，32(17)．
- [6] 杨旭升，盛万兴，王孙安．多 Agent 电网运行决策支持系统体系结构研究[J]．电力系统自动化，2002，26(18)．
- [7] 蔡朝辉，采靖雁，张毅等．基于 Multi-agent 的道路交通流控制模型[J]．公路交通科技，2002，19(2)．
- [8] 严飞，潘明阳等．Agent 技术在交通仿真中的应用[J]．电脑开发与应用，2003，16(8)．
- [9] 李英．多 Agent 系统及其预测与智能交通系统中的应用[M]．上海：华东理工大学出版社，2004．
- [10] 齐欢，王小平．系统建模与仿真[M]．北京：清华大学出版社，2004．