文章编号：2096-1472(2019)-08-07-03
DOI:10.19644/j.cnki.issn2096-1472.2019.08.003

空中交通管制智能化指挥的探索与研究

曹烨琇
(中国民用航空华东地区空中交通管理局，上海 200335)

摘　要：本文介绍了空中交通管制智能化指挥中冲突探测及解脱方案的研究，提出了冲突预判、建立冲突解脱程序经验库和方法的设计，基于建立分布式并行计算架构，搭建了研究仿真平台。通过引入计算机智能辅助决策，能有效降低管制指挥人员的工作压力、人力资源成本及空管运行的人为风险。同时可以充分利用空域与机场资源，为航空器节约能耗等运营成本。

关键词：飞行冲突；冲突解脱；规则库
中图分类号：TP399　**文献标识码**：A

Exploration and Research on Intelligent Air Traffic Control

CAO Yexiu
(*East China Air Traffic Management Bureau,CAAC,Shanghai* 200335,*China*)

Abstract: This paper introduces the research on conflict detection and resolution scheme in intelligent air traffic control,and proposes the design of conflict pre-judgment and the establishment of experience base and method for conflict resolution program.Based on the design of distributed parallel computing architecture,a research simulation platform is built. The introduction of computer-assisted decision-making can effectively reduce the work pressure and human resource cost of the air traffic controllers as well as the human risk of air traffic control operation.At the same time,it also helps fully utilize the airspace and airport resources,saving operating costs,such as energy consumption for the aircraft.

Keywords:flight conflict;conflict resolution;rule database

1 引言(Introduction)

现阶段，空管指挥系统只是达到了“半自动化”水平。例如，管制自动化系统，并非真正实现了“自动化”，而仅仅是完成了监视数据、飞行计划等数据的自动化处理，实际的管理指挥还得依赖管理员的操作[1]。因此，空管系统自动化的水平还有待进一步发展提升。

未来空管系统的方向是协同化、精细化、智慧化。协同化是指空管运行将更强调空管内部、军地空管之间，以及与航空公司、机场等之间的协同运行；精细化是指实现对空中交通未来运行状态(包括气象)的精准预测和航班运行的准确控制与定时到达；智慧化是指将互联网、大数据、人工智能与空管传统技术和设施设备实现深度融合，促进智慧空管的发展。

2 研究的必要性(Research necessity)

近年来，面对现代航空业的持续迅猛发展，以及空中流量的飞速增长，以人脑计算为主制定管制指挥方案的运行方式早已暴露出运行上的短板与弊端：

(1)由于管制员无意识的“错忘漏”导致班机小于规定安全间隔的管制不安全事件，已成为制约空管安全运行非常重要的原因之一。由于管制员的情绪和技术内在特有的不稳定性与不确定性，加之与各类外部因素的交织叠加，进一步放大诱因，增加了不安全事件发生的概率。

(2)当面临某一个扇区内航班密度不断增加的情况，管制员会更多地将精力集中在管制运行的个别关键环节，而不可避免的减弱或是忽略了对于其他运行环节的关注度。导致了基于管制员自身判断与调配能力所提供的管制服务质量逐步呈现下行趋势。这恰与流量的增长形成反比。

(3)在目前的人员结构中，管制员与管制员之间确实也存在着技能与素质的个体差异，同时伴随着各类人的生理因素的周期波动，使得管制服务无法长时间内维持在相对固定的尺度与标准之内，所提供的管制服务水准的波动也会进一步加大空地协同配合的难度，造成整体管制运行效率降低。

放眼当今世界，随着计算机技术的快速发展，大数据与云计算以其优越性和先进性在多个工业领域得到广泛的应用，取得了巨大的成效。这为计算机智能化及其相关技术在

www.rjgcz.com

空中交通管制领域应用的可行性创造了条件。

3 关键技术研究(Key technology research)

目前国内空中交通管制系统主要基于二次雷达数据处理，着重于短期冲突探测与冲突自动告警。由于并未实现由系统自动给出飞行矛盾调配方案和飞行指挥指令以及飞行冲突解脱程序，系统智能化程度有待进一步提升。无论是国外民航强国还是我国国内，在基于多源、异构、跨界数据的管制智能化系统研发，以及直接应用于一线管制运行的成型产品方面，尚无典型案例，这也是亟待突破的技术空白地带。具体需要实现以下几个关键技术的研究：

(1)实现提前预判航空器飞行冲突。

(2)建立冲突解脱程序经验库和方法，给出合理解脱方案。

(3)建立分布式并行计算架构的系统结构，保证系统时效性。

3.1 提前预判航空器飞行冲突

建立航路、航线模型，考虑扇区内的所有航空器，提前预测某一扇区内航空器之间和将要进入某一扇区的航空器之间的飞行冲突，合理安排起飞时刻和进入某一扇区的时间，预先给出所有航空器进入某一扇区的预计上升和下降的高度和时间，实现提前避免航空器之间飞行冲突的目的，对某一扇区内所有航空器之间的飞行冲突进行探测，自动预先给出每个管制扇区内每架航空器的飞行高度，供管制人员参考。

根据实际存在的航路、航线、飞行高度、航班航迹、飞行速度、机场、扇区、管制区等信息，并按照业务需求，建立GIS模型。利用该GIS模型两机进行冲突检测。

首先引入一个关于飞机标准保护区的概念。根据标准间隔要求，在终端区范围内，为保证安全，两架航空器的水平间隔应大于3Nm，同时竖直间隔应大于1000ft。在远离终端区的航路上，两架航空器的水平间隔应扩大至5Nm。因此可以想象一个高1000ft，半径为3Nm或5Nm的圆柱体作为飞机的保护区域，如图1所示，在这个飞机保护区内禁止其他飞机进入。如果一架航空器进去另一架航空器的保护区域，则认为存在潜在冲突。

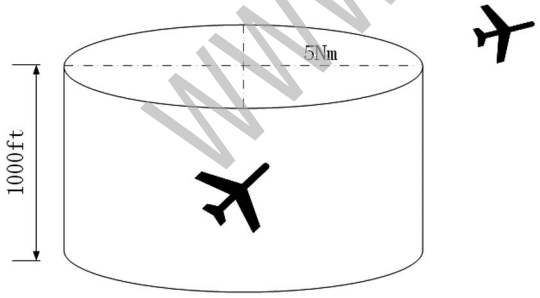


图1 航空器标准保护区

Fig.1 Standard protection zone for aircraft

将亟待进行冲突探测解脱的区域分割为若干个如下图2所示的4D空间−时间的网格。而同时，每个网格单元的大小按照标准尺寸进行设定，即终端区内水平方向3Nm，竖直方向1000ft，远离终端区的航路上，水平方向5Nm。之后每条航迹都对应到设定好的相应的4D网格中，之后对航迹进行两两比较。如果一个网格单元同时被不同的航空器航迹所占用，或者一个网格单元的相邻网格被其他航空器的航迹所占用，则判定存在潜在冲突[2]。

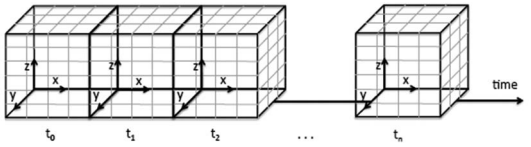


图2 4D空间—时间网格

Fig.2 4D space−time grid

已知上述的航空器间的间隔标准，但是如果逐一对所有航迹进行点对点的冲突探测会是一项非常浩大的工程。为了减小探测阶段的复杂性，会采取封装航空器航迹的方法以加快系统冲突探测的速度。第一步是将航空器航迹按照其航向划分为若干个航段，将每个航段封装进入一个边界框内。之后对所有封装好的航迹进行探测，探测不同的航迹间是否存在交汇。最后，如果对于不同航空器的航迹间的边界框存在交汇，则再对交汇的方格内的航空器的航迹进行点对点的冲突探测。以图3为例，航空器a和航空器b的两个边界框存在交汇，则对交汇的两个边界框内的航路点进行冲突探测。若交汇边界框内的航路点同时满足空间和时间上的冲突条件，则判断存在潜在冲突。

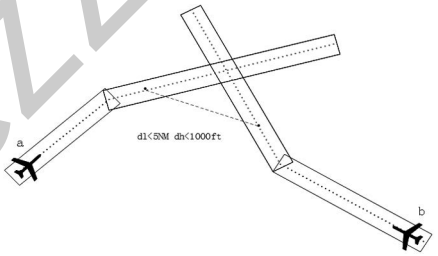


图3 航迹封装

Fig.3 Track encapsulation

3.2 建立冲突解脱程序经验库和方法

根据管制员的日常工作经验及实际遇到的冲突解脱案例来建立该库，通过冲突检测的具体情况与经验库比对，给出建议的冲突解脱程序。研究冲突解脱阶段的管制员经验库，根据管制员偏好对生成的策略进行排序分级。进一步处理验证过的方案，生成决策树，这是管制员辅助冲突解脱模型的基础。然后根据决策树，设计面向对象的软件模型，将新模型整合进空中交通仿真系统，并在实际情景中进行仿真。

在系统探测到冲突后，需要通过调配算法进行冲突调配。航空器间的冲突调配一般分为通过横向(航向改变)、纵向(速度改变)和垂直方向(高度改变)。基于规则的冲突调配在规则系统的基础上给予航空器调配动作，规则涉及航空器位置、速度、冲突状况、目标高度层和下一个航路点等信息。而建立规则库的一个有效途径是基于决策树的方法，决策树提供了一种展示在何种条件下会得到何种结果的规则方法，可处理连续的事件，生成可理解规则，清晰地显示处理结果[3]。

很多影响冲突解脱方案生成的因素，例如飞行阶段、距离目的地机场距离、冲突类型、爬升率等。根据不同因素的组合，生成不同的冲突解脱方案。结合相关规定及管制员偏好，对生成的策略进行优先级排序，例如在巡航阶段，几乎不

www.rjgcz.com

使用速度调整策略，仅在进近管制时，使用速度调整策略。

在经验库的设计过程中，把涉及冲突避让的规则划分为两种：非正式规则和正式规则。非正式规则是指那些不容易用参量以及数学模型表达的知识[4]。用来描述诸如空管规则，避撞机动方案的决策制定，空管员的调配经验等。正式规则是指那些能够使用参量及数学模型表达的知识，诸如危险级别的判定，航空器优先级别的评估，机动方案的航迹生成等[5]。

表1 经验库设计示例

Tab.1 Example of experience base

规则	调配方案
1.成对的解决冲突航班； 2.速度大的航空器拥有优先权； 3.倾向于改变航空器航向； 4.尽可能采取改变航空器速度的策略； 5.应避免速度的增减交替进行； 6.巡航航班具有优先权； 7.在复杂情况下，采取垂直间隔调整的策略	1.侧向间隔上的方案(1种)：通过“改变航空器方向”来解决侧向上的冲突问题 2.纵向间隔上的方案(2种)：包括“增大”或“减小”所选航空器的速度 3.垂直方向上的方案(5种)：在垂直方向上，可以给予航空器“下降”“爬升”“暂时停止下降”“暂时停止爬升”和“增加爬升率”的指令

3.3 建立分布式并行计算架构的系统结构

计算性能一直是飞行冲突探测的瓶颈，本系统拟构建分布式文件系统和分布式数据库，进行分布式部署，采取大规模并行计算策略，能够快速高效地计算出各航空器合理的起飞时刻和多机之间的飞行冲突，并解决并行计算时可能产生的耦合问题，有助于大幅提升系统整体性能。

系统采用DDS作为分布式并行计算的消息中间件。DDS是对象管理组织(OMG)发布的分布式实时系统中数据传输的一个规范，该规范定义了分布式实时系统中数据发布、传递和接收的接口和行为，定义了以数据为中心的发布/订阅机制，提供了一个与平台无关的数据模型[6-8]。它将系统组件集成在一起，提供了低延时的数据传输、高可靠性以及可扩展的商业架构。

DDS中间件是基于发布/订阅通信模型(Publish-Subscribe)。PS中间件提供了简单直观的数据发布方式。它将数据的创造和发送方(发布者)与数据的接收使用方(订阅者)之间去耦合。发布者只管发送，订阅者只管接收，而数据会自动地传输。DDS规范中描述了DCPS(data-centric publish-subscribe)通信模型，该标准定义了一种语言无关的，可以用多种编程语言实现的标准化发布—订阅模型。目前DDS提供了C、C++、C++/CLI、C#和JAVA等版本的DCPS API。DCPS的高效率适应实时系统的数据采集和分发的高要求。在关键数据的传输路径中应该只有最低延时。发布—订阅模型在周期性数据的传输上相比客户端—服务器模型有更低的时延和更高的带宽利用率，能大大降低网络传输开销。由于消除了请求消息的发送，在低并发低带宽的应用场景中，时延也能降低。只要一个新的数据采样可用，它就能立马发送给相应的订阅者。

4 仿真效果(Simulation effects)

通过仿真平台的搭建和测试，平台主要达到指标如下：

(1)平台实时处理并分析雷达系统综合航迹信号、广播式自动相关监视信号(ADS-B)、飞行计划数据、气象数据、机场数据等信息；

(2)系统覆盖全华东区域；

(3)最大可接入雷达数16部；

(4)最大可相关航迹数1000个；

(5)监视数据航迹刷新周期5秒；

(6)最大可处理报文数量100份/分钟；

(7)所有雷达监视信息的自动相关正确率>95%，航班冲突预判正确率>99%；

(8)网络平均负载低于带宽的40%；

(9)服务器CPU占用率低于60%；

(10)系统具备自动计算指挥飞机脱离冲突的能力。

通过对关键技术进行研究，建立冲突解决程序经验库，对航班冲突预判及解脱策略的研究，模拟仿真了智能化指挥的过程，仿真平台可以人工编辑飞行剧本，模拟航空器飞行冲突，创建各类复杂场景以验证智能化指挥的效果与成功率。

5 结论(Conclusion)

通过引入计算机智能辅助决策，大大降低管制指挥人员的工作压力，并有效降低空管行业的人力资源成本。减少管制指挥中的人为风险，降低‘错、忘、漏’的概率，提高民用航空的安全性。同时可以提升空域使用效率，解决人为因素造成的有限空域未最大化利用问题。有利于充分利用空域与机场资源，节约航空器的能耗等运营成本，符合绿色航空可持续发展理念，促进民航业向低碳环保的方向发展。为建设民航单位信息化系统等打下坚实的技术和数据基础，是中国民航自民航大国迈向民航强国的重要一步。

参考文献(References)

[1] 赖懿.让空管系统更“聪明”[J].大飞机,2019(01):57-59.

[2] 高梦宇.基于4D航迹的战略冲突解决方法及模型研究[D].南京航空航天大学,2018.

[3] 赵嶷飞,李莉,王红勇.虚拟仿真环境中的航路冲突调配规则研究[J].航空计算技术,2011(05):1-4.

[4] 赵嶷飞,李莉.虚拟仿真环境中的航路冲突调配研究[J].航空计算技术,2012(1):88-91.

[5] 刘晓红,白存儒,吴炯,等.人工智能技术在空中交通管理中的应用[J].空中交通管制,2007(12):25-27.

[6] 董晓明,姚晋,秦克.舰载作战系统数据集成设计与度量方法[J].中国舰船研究,2012(4):94-99.

[7] 孙学功,朱秀娟,丁雪,等.分布式仿真运行支撑环境实现方法研究[J].计算机仿真,2012(9):144-147.

[8] 李春雷,高峰,颜运强.基于Actor模型的软总线设计[J].计算机工程,2019(05):77-83.

作者简介：

曹烨琇(1983-)，女，本科，工程师.研究领域：空中交通管理.

www.ijgz.com