

基于信息集成的空中交通管制指挥监测系统

程 朋, 崔德光, 吴 澄

(清华大学自动化系, 北京 100084)

摘要:提出了一种空中交通管制指挥监测系统(ATCCMS)的系统体系结构,它的基本思路是:对空中交通管制所涉及的语音通话、雷达数据、飞行计划、气象信息和航行情报等基础信息进行综合集成,以实时地获得飞机航行动态信息和管制员、飞行员工作状态,对可能出现的管制指挥失误进行报警。本文还讨论了语音识别、实时飞行冲突探测等几项关键技术 in 系统中的应用。仿真研究表明,信息集成比单纯改进单元技术更能有效提高空中交通管制的安全性。为解决复杂大系统的控制与优化问题提供了一条新的途径。在民航华北空中交通管理局的密切合作下,ATCCMS 原型系统的研制正在进行。

关键词:空中交通管制; 飞行安全; 信息集成; 语音识别

中图分类号: N94; V355

文献标识码: A

文章编号: 1007-9807(2001)04-0034-07

0 引 言

本文从信息集成的角度提出一种有助于提高飞行安全性、减少管制员指挥失误的空中交通管制指挥监测系统(ATCCMS)的系统体系结构,并对其中的几项关键技术进行了探讨。

1 空中交通管制的安全性问题

在飞行活动繁忙的情况下,空中交通管制员的脑力劳动强度和精神压力是巨大的,容易发生指挥错误,威胁飞行安全,而大部分指挥失误与管制通话有关^[1-3]。

目前,交通警戒与碰撞避免系统(TCAS)已成为现代民航飞机的标准装置,能够有效地向飞行员提示即将发生的飞行冲突,并提出避免空中相撞的建议。而对管制员来说,有一批新型空管系统和辅助指挥系统可供选择,例如 Raytheon 公司的 AutoTrac 系统, Hughes 公司的国际空域管理系统, Thomson-CSF 公司的 EUROCAT 系统、

Lockheed-Martin 公司的 ASTEC 系统、电子部 28 所的新一代空中交通管制系统和 NASA 的 CTAS 等^[4]。这些系统大多符合国际民航组织(ICAO)的新航行系统(CNS/ATM)标准^[1-3],其共同特点是:配备大屏幕高分辨率管制员工作站,人机界面友好;具有雷达数据处理(RDP)、飞行数据处理(FDP)、自动相关监视(ADS)功能;利用现有的商用计算机软硬件集成;具有开放结构和较高的系统可用性;具有一定的冲突探测和告警功能等。但是这些系统在保障飞行安全方面都存在以下不足:(1)没有把管制语音通话作为一项重要的数据源来识别处理,因而不能对管制员的管制行为进行监测,从而无法对由错误指令造成的危险接近进行早期告警;(2)没有将高层的流量管理保障安全飞行与避免飞行冲突结合起来。

保证空中交通管制安全性的过程可以看成是确保有关空中交通管制的基础信息准确及时地传递、有效地加工处理并提供高质量的决策信息的过程。我们两种途径提高安全性:一种途径是对空中交通管制系统中的单元技术升级,如更新雷

收稿日期:2000-03-09;修订日期:2001-06-18。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(69784004)。

作者简介:程 朋(1973-),男,江苏扬州人,博士,讲师。

达和管制员工作站等,但这种途径需要巨大投资和较长周期,而且无法改进对空管语音通信的监视,另一种途径是通过集成技术实现,第一步实现信息集成:通过计算机网络和关系数据库,使空管所需的各类基础信息经计算机处理后对管制员实现共享,并实时地获得飞机飞行动态信息和管制员、飞行员工作状态,存入全局数据库;从中提取出对飞行安全相关的综合信息,分别利用模型分析、OLAP、人工智能等技术对指挥失误和潜在的危险接近进行探测,及时向管制员报警并提出解决建议,第二步是在信息集成的基础之上的系统集成,加入全国或区域飞行流量的优化调度,从更高的层次保障飞行安全,并增加经济效益,实现信息集成需要的投资相对较少,但难点是要处理多种形态的信息(包括模拟语音信号和雷达信号)和异构数据集成问题。

2 ATCCMS 的设计目标

根据增强空中交通管制安全性的需求,我们提出一种基于信息集成的“空中交通管制指挥监测系统”(air traffic control command monitoring system, ATCCMS),它能对现有的各级空管信息进行集成,能有效地处理包括语音通话信息、雷达信息、飞行计划信息等在内的基础数据,从而对空管的实际操作进行监督、报警,并向各级空管部门负责人以及民航各部门提供高质量的管理决策信息,ATCCMS 的设计思想可以概括为:

- 以现有空管系统为运行载体和平台,向未来技术提供开放接口;
- 在对现有技术加以集成和协作的基础上,自主研制关键技术;
- 以监视地空管制通话为突破口,自动处理各类空管基础信息;
- 主要面向管制员,兼顾向流量管理员提供综合信息和决策支持;
- 总体规划、分布实施、重点突破。

根据我国空中交通管制系统的实际情况,确定 ATCCMS 的设计目标为:

- 正确识别管制员的管制命令内容,从而提取出管制方案信息;
- 实现管制方案信息与雷达数据、飞行计划

数据相关;

- 有效探测基于雷达跟踪信息的飞行冲突和基于管制方案信息的潜在飞行冲突(伪冲突),系统响应时间小于 2 秒;
- 有效的冲突报警(虚警率和漏报率低于 5%);
- 提供特殊情况的参考处理建议;
- 对基础数据进行有效的数据管理(包括关系模式和多维模式);
- 对全局飞行状态数据和管制方案信息进行记录、分析;
- 提供综合信息查询和对流量信息的联机分析处理(OLAP)功能;
- 具有开放性、可扩展性、良好通信能力。

3 ATCCMS 的功能体系结构

根据调研和初步论证,提出如图 1 所示的系统体系结构,分为四个主要的部分:基础数据源、操作层子系统、管理决策层子系统和支撑环境。

3.1 操作层功能子系统

ATCCMS 的操作层可以分为六个功能子系统:管制通话识别与处理(VR/LP)、雷达数据处理(RDP)、飞行计划与雷达数据相关(C-FPRD)、管制指令与飞行状态相关(C-VCFS)、航迹预估与冲突探测(TS/CD)和人-机界面(GUI/CA)。

• 管制通话语音识别与处理(VR/LP)——实现从管制员的语音信号到管制命令语义的转换,语音识别输出再经过一定的后期处理以提取语义,并对识别结果进行正确性校验,保证它与雷达数据、飞行计划以及空管常规的一致性,由于管制员群体人数有限,可以分别建立个人声音模型,以提高识别准确率,对飞行员通话的识别部分可以作为整个系统的选项。

• 雷达数据处理(RDP)——从雷达头产生的原始信号经过前端处理机处理后,加上二次雷达应答机识别代码(SSR Code)和航行诸元信息(高度、速度、航向),经过数据格式判读,传送到人机界面,提供雷达画面。

• 飞行计划与雷达数据相关(C-FPRD)——从飞行电报自动处理系统提取飞行预报(PLN)、飞行计划(FPL)和重复性飞行计划(RPL)等信

息,根据 SSR 代码与雷达识别的目标相关,即为每一条雷达记录添加航班呼号。

• 管制指令与飞行状态相关(C-VCST) -

雷达数据实现与飞行计划的相关后,代表了飞机的飞行状态,管制指令的关键数据(如航班号,管制指令类型、指令值等)与飞行状态数据进行相关匹配,挑选出与管制指令有关联的雷达航迹记录,供航迹预估使用。

• 航迹预估与冲突探测(TS/CD) - 根据识别出的管制命令内容以及当前飞行状态、飞机性能和气象条件,预估飞机的伪航迹,检验该飞机

和周围飞机之间的相对位置是否违反了安全间隔;如果预测到有飞行冲突发生,就立即发送告警信息到人-机界面。

• 人-机界面(GUI/CA) - 平时给管制员以管制雷达画面相同的显示;当伪航迹产生后,在屏幕上加以显示;当预测到飞行冲突时,对即将发生冲突的目标给予特殊的显示,标识出距离危险接近的时间、冲突概率等信息,同时以一定的音响信号提示。此外,管理决策层子系统的输入输出也集成在这个人-机界面中。

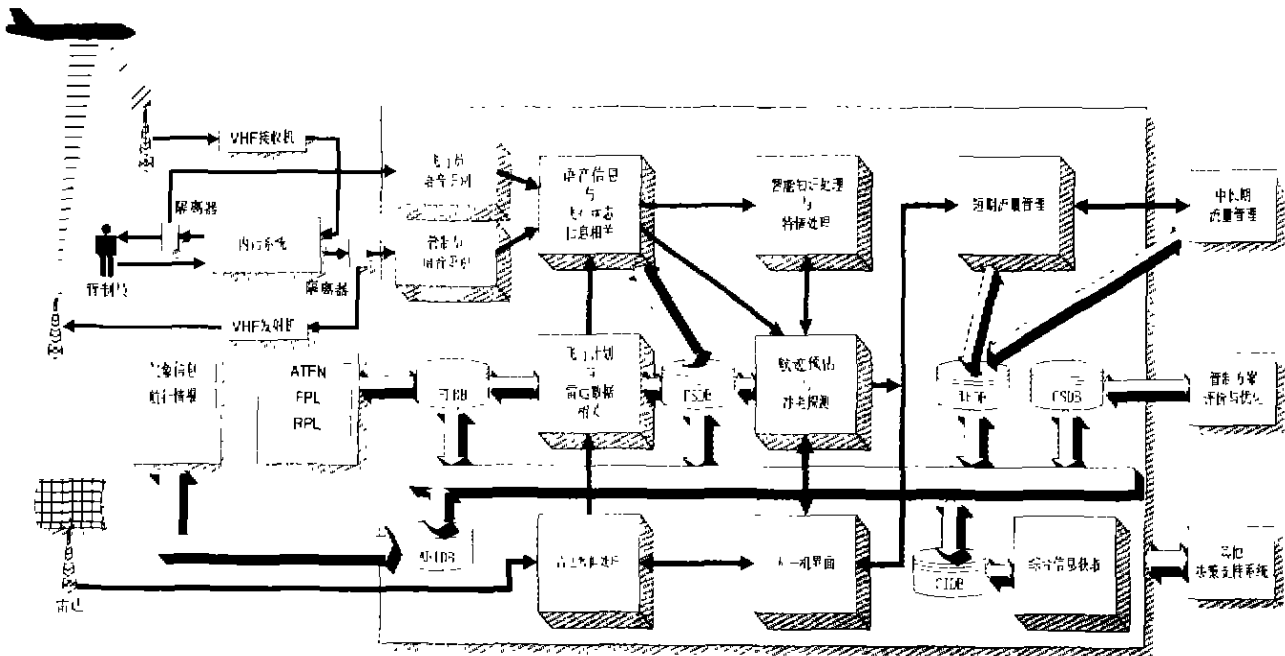


图1 ATCCMS 功能体系结构图

3.2 管理决策层功能子系统

管理决策层的各功能子系统是非实时的,主要为管制值班主任、流量管理人员和其他各级空管部门负责人提供高层的决策支持。

• 短期流量管理(ST-TFM) - 根据飞行计划、雷达数据以及管制员与飞行员的通话信息,对飞行流量数据进行动态监视,存入飞行流量数据库;利用经验模型和优化模型计算出2-3小时内的流量控制方案。

• 综合信息获取和查询(CIAS) - 根据各级管理决策者对空中交通管制各类综合信息的查询需求,灵活地从基础数据库中抽取相关基础数据,建立多维数据模型,快速生成综合信息。

3.3 数据接口

ATCCMS 的数据输入包括两部分:一部分是基础数据,有无线电(VHF、HF)语音信号、飞行电报、雷达信号和其他飞行辅助信息(气象信息、航行情报等);一部分是来自上层的数据,有中长期流量管理信息和管制方案评价与优化信息等。输出设备主要是大屏幕图形显示器。

3.4 支撑环境

ATCCMS 的支撑环境包括计算机网络环境和数据库环境,它们对实现 ATCCMS 的信息集成起着非常重要的作用。ATCCMS 的功能是在多台计算机上实现的,因此计算机网络环境的功能是保证 ATCCMS 计算机与基础数据源之间、

ATCCMS 内部各台计算机之间通信, ATCCMS 的数据库环境可分为以下几个部分:飞行计划数据库(FPDB)、飞行状态数据库(FSDB)、飞行流量数据库(TFDB)、管制方案数据库(CSDB)、辅助飞行信息数据库(AFIDB)和综合信息数据库(CIDB)等,各功能子系统与数据库之间的数据联系可参见图 1。

4 ATCCMS 的逻辑体系结构

为便于软件编程实现 ATCCMS 的基本功能,提出递阶的模块化逻辑体系结构如图 2 所示。在最底层是网络通信接口和语音通信接口,包括管制员和飞行员的语音通话通过语音专用接口接入,其他的基础信息则通过高速局域网或专线接入。在此之上是数据库管理系统,该模块一方面对网络通信接口传来的数据按类型分类存储;另一方面为上层模块提供查询服务。雷达数据处理(RDP)模块实现对从雷达头传送来的一、二次雷达数据格式的判断和显示图象的生成;飞行计划数据处理(FDP)模块则从飞行电报自动处理系统中提取各类飞行计划数据存入数据库,供管制员随时查询。管制员与飞行员的通话信息由语音通信接口接入系统后,首先经过增强和降噪处理,然后送到语音识别模块提取出语义信息,接着由自然语言处理模块进行后期处理,确保语义信息的合法性。

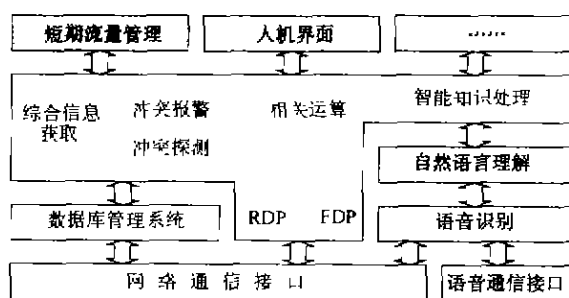


图 2 ATCCMS 的逻辑体系结构

多步相关运算是整个系统的核心。第一步,飞行计划数据和经过处理的雷达数据进行相关;第二步,由语音识别及后期处理模块提取出的信息经过智能知识处理,还原为管制命令语义,并和雷达数据、飞行计划进行相关;第三步,冲突探测模

块对飞机未来的航迹和伪航迹(执行管制命令后的可能航迹)进行相关检验,若发现冲突,则报警提示。

短期流量管理从优化短期飞行流量角度实现了对飞行安全的更高层保障,它和人机界面模块都与下一层模块有着大量的数据交换(如图 3)。

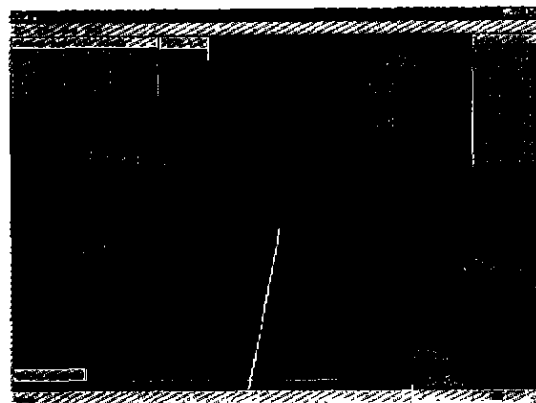


图 3 ATCCMS 冲突探测与报警功能实验程序界面

5 关键技术环节分析与实验

空中交通管制指挥监测系统(ATCCMS)的关键技术环节包括:(1)管制命令识别与后期处理;(2)飞行冲突探测和报警算法实现;(3)短期流量管理建模与系统实现;(4)全局飞行状态数据库设计与分析模型构建;(5)系统实时性分析设计,其中(1)、(2)两个环节的设计对于系统是否成功更为关键。

5.1 管制命令语音识别和后期处理

如果把空中交通管制通话用语设定为一个特定的语言闭集,它具有如下特点:(1)语法结构固定,简洁且无歧义;(2)词汇量有限,常用的管制指令词汇在 200 词以内,加上航班呼号和地名等专有词汇,不超过 1000 词;(3)发话速度稳定,标准通话要求每分钟 100 字;(4)关于说话人的声音模型,由于管制员人数有限,对管制员的通话识别可以采用特定人系统,针对每个管制员的声音特点进行适应训练,而对飞行员的通话识别采用非特定人系统;(5)通话语言暂采用国际标准英语^[7],因此,管制指令识别的主要工作集中在选择合适的语音识别引擎和软硬件平台、构造管制员

声音模型和空管用语词汇库以及编制语法文件上面^[1-3]。

为检验对管制命令识别的效果,根据语法结构的由易到难程度,编制了三个测试样本文件,对每一种测试样本分别进行了8组实验,实验所采用的语音识别引擎是IBM VoiceType V3.1美国英语版;硬件平台为Intel Pentium Pro166MHz CPU,64MB内存,Creative SB16声卡;操作系统为MS-Windows95。基于单词正确识别率的统计结果如表1,按识别错误类型的分类统计结果如表2。

表1 管制指令语音识别实验结果(基于单词)

	语法 复杂程度	总测试 词汇量	最低 正识率	平均 正识率
实验1	简单	853	98.1%	98.8%
实验2	中等	1192	92.9%	95.7%
实验3	复杂	2425	88.8%	95.5%

表2 管制指令语音识别实验错误统计

错误类型	实验1	实验2	实验3	合计
数字误添	3	1	6	10
数字误识别	0	5	6	11
单词误添	0	1	2	3
单词误识别	2	3	6	11
单词遗漏	1	2	1	4
短句误识别	0	3	1	4
整句未能识别	0	2	9	11
朗读口误	0	1	0	1
识别错误总数	6	18	31	55
实验总句数	72	137	204	413

从实验结果来看,基于单词统计的平均正确识别率已达到95%以上;若假设每句管制通话对应一组语义数据,那么基于语义统计的正确识别率最坏情况下将降为 $(413-55)/413=86.7\%$ 。与面向办公应用的听写系统不同,ATCCMS中应用语音识别技术的目的是提取涉及改变飞机航行诸元的关键管制命令的语义,而不是简单地实现从语音到单词的转换,因此,设计一种三级错误处理机制对语音识别结果进行后期处理,以保证对关键管制命令语义的准确提取。

第1级,空管领域知识处理。

每一个空管单位都有与自己管制区域相应的数据或规程,从中可以提取出一套智能规则和推理机制,构成空管领域知识库。第1级处理首先调用知识库里的知识,对每一句语音识别的结果进行合法性检验,检查是否有与空管常识相矛盾的识别结果;对于可以确定的识别错误,自动予以修正。

第2级,与雷达数据相关处理。

由于相当一部分管制通话所包含的信息可以通过查询实时雷达数据加以合法性校验,第2级处理以雷达数据(与飞行计划相关后的)为依据,就可以对管制通话识别结果中与雷达数据不一致的地方加以更正或补充。

第3级,人一机交互处理。

如果对某些语句的识别因环境噪声干扰等原因而丢失大部分信息,或者无法通过知识处理或与其他信息的相关性分析得到恢复,就需要第3级处理,即通过人一机交互方式加以确认。

因此,把表2列出的识别错误作以下分类:(I)轻微错误,仅涉及到介词、次要形容词的丢失,不影响语义提取;(II)经过空管领域知识处理可以修正的错误;(III)与雷达数据相关后可以修正的错误;(IV)严重错误,缺失信息严重,无法自动修正,需要人一机交互处理。分类结果见表3。

表3 管制指令识别错误分类

识别错误 类型	实验1	实验2	实验3	总计	比例
I类	1	1	4	6	10.9%
II类	0	8	13	21	38.2%
III类	5	3	8	16	29.1%
IV类	0	6	5	11	21.8%
错误总数	6	18	31	55	100%

I、II、III类识别错误能在后期处理中得到自动修正,占有识别错误的78.2%(55处中的43处),这个比例数字表明:经过3级后期处理,再提取管制命令语义,其正确性和可靠性将得到很大提高。

5.2 飞行冲突探测与报警

该技术环节包括飞机运动建模、飞机航迹预估、冲突探测和冲突报警几部分,其中飞机运动模

型采用质点运动方程,按垂直运动和水平运动分别建立分段近似模型^[1]。航迹预估常见的算法有简单外推法、最小二乘平滑外推、 $\alpha-\beta$ 滤波器和卡尔曼滤波方法等^[10,11]。其中卡尔曼滤波器是线性无偏最小方差意义上的最佳滤波器,比其他方法具有更强的适应能力,是首选的算法。由于飞行冲突多发生在进近管制范围内,因此冲突探测算法应具有探测三维飞行冲突的能力,且在计算速度上要足够快以满足实时性要求^[12,13]。类似机载 TCAS 的报警逻辑,ATCCMS 的冲突报警逻辑应把虚警率(不该报警而报警的比率)和误警率(该报警而不报警的比率)保持在较低的水平^[14]。

用 C++ 语言实现了一个 ATCCMS 冲突探测与报警功能的实验程序,其中集成了模拟雷达信息、飞行计划信息和管制命令语音信息,编译环境为 Visual C++ 5.0,语音识别功能由 IBM VoiceType V3.1 SAPI 实现,界面如图 3 所示。

根据设定,该程序能对未来最多 1200 秒内的飞行冲突和由管制指令造成的伪冲突进行探测,并按发生冲突的先后顺序显示前五对飞机的航班号、距离危险接近的时间和彼此之间的水平距离。当管制员输入新指令解决飞行冲突后,报警

立刻停止,系统响应时间小于 2 秒。

6 结论

(1) 本文提出一种基于信息集成的空中交通管制指挥监测系统(ATCCMS)的概念,并详细讨论了它的功能体系结构和软件逻辑体系结构。ATCCMS 从自动分析、处理有关空管安全的各类基础信息入手,利用多步的相关运算和冲突模型分析,对空中交通管制员的指挥进行全过程的监测,因而可以对飞行安全起到可靠的保障作用。

(2) ATCCMS 中应用了多项单元技术,如语音识别及后期处理、飞行冲突探测和短期流量管理等,它们分别监测空管指挥信息流程的不同环节,又通过信息集成互相支持和补充。仿真研究结果表明,信息集成比单纯改进某项单元技术能提供更有效的安全保障,这也为解决复杂大系统的控制与优化问题提供了一条新的途径。

(3) ATCCMS 的系统结构决定了它除实现安全保障功能外,还将为未来的自动化空中交通管制系统和全国飞行流量管理系统提供信息基础环境。

参考文献:

- [1] 张昕. 1996 年全球民航安全事故回顾[J]. 国际航空, 1997, (3): 28-29
- [2] Perry T. In search of the future of air traffic control[J]. IEEE Spectrum, 1997, 34(8): 18-35
- [3] Erzberger H, Davis T J, Green S M. Design of Center-TRACON Automation System[C]. Proceedings of the AGARD guidance and control panel 56th symposium on machine intelligence in air traffic management, Berlin, Germany, 1993: 11-1~11-12
- [4] 张耀翔. 新航行系统及其在我国的发展[J]. 国际航空, 1996, (10): 45-46
- [5] Debelack S, Dehn J D, Muchinsky L L, Smith D M. Next generation air traffic control automation, [J]. IBM Systems Journal, 1995, 34(1): 63-77
- [6] 中国民用航空局. 中国民用航空无线电通话手册[M]. 1992
- [7] IBM 中国研究中心语音识别研究小组(唐道南等). 语音识别技术和应用[J]. PCWorld China, 1997, (11): 41-43
- [8] Sharnian R A. Speech recognition in the office: how the technology supports dictation[J]. Computer Journal, 1994, 37(9): 735-744
- [9] Slattery R, Zhao Y. Trajectory synthesis for air traffic automation[J]. Journal of Guidance, Control and Dynamics, 1997, 20(2): 232-238
- [10] [英]鲍齐克. 数字滤波和卡尔曼滤波[M]. 北京:科学出版社, 1984
- [11] Stage P, Melsa J L. Estimation theory with application to communication and control[M]. New York: McGraw-Hill, 1971
- [12] Erzberger H, Paielli R A, Isaacson D R, Eshow M M. Conflict detection and resolution in the presence of prediction error[C]. 1st USA/Europe air traffic management R&D seminar, Saclay, France, June 17-20, 1997

- [13] Parth R A, Erzberger H. Conflict probability estimation for free flight[J]. *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, 1997, 20(3): 588-596
- [14] Yang L C, Kuchar J K. Prototype conflict alerting system for free flight[J]. *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, 1997, 20(4): 768-773

Information-integration based air traffic control command monitoring system—ATCCMS

CHENG Peng, CUI De-guang, WU Cheng

Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: During past ten years, air traffic in China has experienced a rapid rise. As a result, the workloads of air traffic controllers increased greatly and therefore controllers' mistakes that threaten flight safety happened more frequently. Although TCAS is a successful technical innovation for pilots to enhance flight safety, it is still lack of an automatic system for air traffic controllers, which can monitor real-time operations of air traffic control and give an alert to human controllers on probably control errors, acting as an intelligent supervisor. The two main reasons are the complexity of some core technology and lack of participation of system scientists and control engineers. This paper presents the architecture of Air Traffic Control Command Monitoring System (ATCCMS). This system is designed for air traffic controllers to reduce wrong commands and to enhance flight safety. The core design idea is as follows: Firstly, ATCCMS integrates several kinds of fundamental information, including radar data, flight plan, ground/air voice communication, meteorological data and en-route situation data. Secondly, correlating to radar data and expert knowledge, ATCCMS acquires the content of ground/air voice communication based on up-to-date speech recognition and natural language processing technology. Thirdly, ATCCMS estimates future trajectory of aircraft and detects potential conflicts based on the recognition of human controller's voice command. Simulation experiments show that ATC safety will be effectively improved through information-integration approach rather than upgrading individual technology. The prototype of ATCCMS is under developing cooperated with North China Air Traffic Management Bureau, CAAC.

Key words: air traffic control; flight safety; information integration; speech recognition