

基于 SOA 的民航航班延误波及分析与预警系统

徐涛¹ 荣耀^{2,3} 王建东²

(中国民航大学计算机科学与技术学院 天津 300300)¹

(南京航空航天大学信息科学与技术学院 南京 210016)²(南京师范大学中北学院 南京 210046)³

摘要 为了对航班延误预警提供软件支撑,基于 SOA 思想设计并实现了航班延误波及分析与预警系统。服务端采用 Web 服务封装核心延误波及分析和预警算法,以图形组件包自动生成航班延误波及 DAG、高级 Petri 网、贝叶斯网络和元胞自动机等数学模型的仿真视图以及棒图等统计图。客户端采用自主设计的 Magix AJAX 框架实现。模块之间以 XML 作为数据交换媒介,提高了互操作性。系统支持对单航班计划、多航班计划、机场、航空公司等的延误波及分析和预警功能。仿真实验表明,该系统可以有效地辅助完成航班延误波及分析和预警。

关键词 航班延误波及分析,预警,Web 服务,图形组件包, Magix AJAX 框架

中图分类号 TP391.9 文献标识码 A

Flight Delay Propagation Analyzing and Predicting System of Civil Aviation of China Based on SOA

XU Tao¹ RONG Yao^{2,3} WANG Jian-dong²

(College of Computer Science and Technology, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)¹

(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)²

(College of Zhongbei, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)³

Abstract To provide software foundation for predicting flight delay, a flight delay propagation analyzing and predicting system was designed and implemented based on SOA. In server side, algorithm of flight delay propagation analyzing and predicting was encapsulated in a Web service, and a graphic component package was offered to automatically generate simulation graphs of flight delay propagation DAG, advanced Petri net, Bayesian network, parallel cellular automata, and statistical graphs such as a bar graph. The client side was implemented by Magix AJAX framework. XML is used as data exchange media among modules to gain good interoperability. The system can be used to accomplish flight delay propagation analyzing and predicting for single flight plan, multiple flight plans, airports and airlines. It shows that the system can effectively aid flight delay propagation analyzing and predicting.

Keywords Flight delay propagation analyzing, Predicting, Web service, Graphic component package, Magix AJAX framework

1 引言

航班延误是一个困扰全球民航业的难题。对该问题的研究大致分为事前预警和事后统计分析两方面。对于后者,已经有比较多的研究,国内机场和航空公司等民航运营单位的信息系统大都也实现了对延误航班的统计。然而在事前预警方面,此前虽然有一些初步的理论探讨^[1,2],但未看到航班延误波及分析和预警软件系统的具体实现。在本基金项目课题组承担的“航班延误预警系统”的研究中,建立了基于 DAG (有向无环图)^[3]、有色出现网(一种高级 Petri 网)^[4]、并行元胞自动机、贝叶斯网络^[5]、最小闭包球、增量式排列支持向量机等模型的航班延误波及分析和预警模型,在此基础上构建了航班延误波及分析与预警系统(原型),以期对航班延误波及分析和预警问题提供软件辅助。

2 业务分析

航班延误可以分为两大类,一种是独立延误,即一个航班延误不是因为等待其他延误航班的飞行资源所导致。造成独立延误的因素有很多种,天气是最常见的因素,其他包括航空公司计划、空中管制以及机械故障等^[6]。另一种称为波及延误,即一个航班延误是由其他航班延误所导致,因为该航班需要等待其他航班释放飞行资源才能执行。

从航班的角度来看,关键的资源是飞机和机组(包括飞行员机组和乘务员机组)。由于一架飞机和一个机组在一天中通常要执行多个前后衔接的航班,下游航班需要使用上游航班的飞机或机组资源,上游航班延误可能导致下游航班发生延误。由于这种延误具有传播性,因此一个初始航班延误(即独立延误)可能导致多个直接或间接下游航班发生延误,从而

到稿日期:2008-08-29 返修日期:2008-11-14 本文受国家高技术研究发展(863)计划重点课题(2006AA12A106)资助。

徐涛 男,教授;荣耀(1971—),男,博士研究生,讲师,主要从事软件架构和软件工程等方面的教学与研究, E-mail: royal@royaloo.com; 王建东 男,教授,博士生导师。

构成一个链式的航班延误波及模型。如果构建由一个初始延误航班所波及的后继延误航班模型, DAG(有向无环图)和 Petri 网都是合适的描述工具。

从机场的角度来看,跑道是关键的资源。一个机场每天都要起降多个航班,在同一时间片内,一条跑道只能供一个航班使用。如果一些航班发生延误,那么就可能对其他航班的起降造成干扰,因为延误班会与处于同一时间片内的其他航班竞争跑道资源,从而造成波及延误。

航班延误波及分析与预警系统首先分别从关键的航班资源和关键的机场资源的角度单独提供计算模块,然后将二者整合考虑,建立较完善的链式波及分析和预警模型。在此澄清两个概念:航班延误波及分析是指分析 1 个或多个航班发生了初始延误后造成的下游航班波及延误情况;航班延误预警则建立在航班延误波及分析基础之上,根据机场(或航空公司)的航班延误程度设定相应的预警等级。

3 架构设计

3.1 设计思想和特点

航班延误波及分析与预警系统基于 SOA 思想构建。SOA(Service-Oriented Architecture,面向服务的体系结构)是一种互联网环境下的业务集成架构,通过连接不同的功能单元服务而实现。这些服务单元之间通过定义良好的中立接口互联,实现跨硬件平台、操作系统和编程语言的业务集成需求。在具体实现上,服务端采用 Web 服务封装核心延误波及分析和预警算法。Web 服务是广域网环境下基本的分布式计算构造单元,可以将基于不同平台开发的不同类型的功能块集成在一起^[7]。Web 服务的特性使之适合用来实现 SOA 应用。在客户端,系统采用 AJAX 技术实现。AJAX(Asynchronous JavaScript and XML,异步 JavaScript 和 XML)是一种交互式网页应用技术,采用 XHTML 和 CSS 呈现界面,使用 DOM 进行动态显示和交互,使用 XML 和 XSLT 进行数据交换和处理,使用 XMLHttpRequest 进行异步数据传输,使用 JavaScript 整合以上所有技术。AJAX 应用利用 JavaScript 实现网页局部更新,客户端以异步方式与服务器通信,无需中断用户操作,并能提供更丰富的交互元素,带来的用户体验优于传统的 B/S 架构的应用^[8]。

系统主要设计思想和特点如下:

- 统一的数据输入和输出格式。不同的延误分析和预警模块均采用统一格式的航班计划 XML 文档以及 Metadata XML 文档(用于存储机场、航空公司和机型等基础数据)作为输入,并且采用统一格式的 XML 文档作为输出。XML(Extensible Markup Language,可扩展标记语言)是由 W3C 制定的一种数据描述语言,可以用作跨系统、跨平台的数据传输和交换,保证系统具有良好的开放性和互操作性^[9];

- 丰富的延误预警信息表现:提供数据网格、数学模型仿真视图、统计图以及 XML 文档等多种计算结果表现方式;

- 不同剖面的延误预警信息:提供从机场、航空公司、旅客以及特定的航班计划等不同剖面考察的延误波及分析和预警信息;

- 面向不同层次的用户对象:为民航总局、空管、航空公司、机场以及旅客等不同层次的用户提供相应的延误预警信息;

- 多样的延误信息访问媒介:可以通过网页、触摸屏、电话语音、便携式智能设备^[10]等手段获得延误预警信息;

- 轻量级系统:使用 XML 而不是关系型数据库作为后端数据存储媒介,系统只存储最低限度的信息;

- 与“民航公众信息服务平台”松散耦合且无缝集成。系统从平台获得必要的 XML 格式的航班计划信息,计算后将生成的 XML 格式的结果传递回平台;

- 动态可配置:系统数学模型的计算参数可以灵活设置,系统界面风格可由用户根据喜好自由定义。

3.2 延误波及分析和预警 Web 服务

航班延误波及分析和预警算法被封装于 Web 服务中,目前 Web 服务主要开放 7 个 Web 方法,分别用于不同用途、不同模型的延误信息计算。

- CalcSingleInitialDelay:计算由一个初始延误航班导致的所有下游航班的各属性值及综合延误指标值,这也是其他多数算法的基础;

- CalcMultiInitialDelay:计算同一个初始延误航班在不同初始延误时间下导致的主要波及信息,以便分析一个航班计划在不同初始延误时间下的波及延误情况;

- CalcMultiPlanDelay:计算多个初始延误航班所导致的主要延误波及信息。典型的使用场景是,在一个发生了多个初始延误航班的机场恢复运营后如何调度延误航班离港;

- CalcAirportDelayByFlightResource:从关键航班资源(飞机和机组)的角度考察机场航班延误的情况;

- CalcAirportDelayByAirportResource:从关键机场资源(跑道)的角度考察机场航班延误的情况;

- CalcAirportDelay:将关键航班资源和关键机场资源相结合考察机场航班延误的情况;

- CalcAirlineDelay:考察航空公司航班延误的情况。

因篇幅所限, CalcSingleInitialDelay, CalcMultiInitialDelay, CalcMultiPlanDelay, CalcAirportDelayByFlightResource, CalcAirportDelay 以及 CalcAirlineDelay 等 Web 方法的业务分析与算法思想另文介绍,以下简要描述 CalcAirportDelayByAirportResource 的业务场景和算法思想。

机场的关键资源是跑道。不失一般性,假定机场只有一条跑道,如果在一段时间片内出现多个航班争用跑道的现象,就会造成一些正点航班被迫延迟起飞或降落,从而导致航班延误的发生。考虑如下场景:国内某大型枢纽机场 A 以 3min 作为一个时间片(从当日零点开始设置时间片),则 8:00~9:00 的时间片如下:8:00~8:03, 8:03~8:06, 8:06~8:09, 8:09~, …… , 8:57~9:00。在某个(些)航班发生延误后,在某一时间片内与其他航班的执行发生冲突时,按照预先设定的优先级进行比较,优先级高的先执行。根据机场的实际业务情况,设计优先级规则如下:

- 1) 降落航班比起飞航班优先;

- 2) 如果均为降落航班,则正点航班优先降落;

- 3) 如果均为起飞航班,则正点航班优先起飞;

- 4) 若有多个待降航班且均延误,则大飞机优先降落;若机型相同,则延误时间长的航班优先降落;

- 5) 若有多个待起飞航班且均延误,则大飞机优先起飞;若机型相同,则延误时间长的航班优先起飞。

现在假定从某上游机场飞往枢纽机场 A 的 FX1 航班发生了延误,预计实际到达 A 机场的时间为 8:04,则需要与 A 机场在 8:03 和 8:06 之间的起、降航班进行优先级比较(为了使讨论简单,以下仅考虑 A 机场的起飞航班)。因降落优先,所以 FX1 航班可以顺利降落,但 A 机场原定在该时间片起飞

的 FA3 航班则被向下一个时间片顺延,即延迟到 8:06~8:09 时间片,可以简单地认为 FA3 航班被延迟了一个时间片,即 3min。如果在 8:06~8:09 时间片内有一个可以准点起飞的航班 FA4,则 FA4 优先起飞,从而导致刚才被延误的 FA3 航班继续推迟到下一个时间片 8:09~8:12,则 FA3 航班又被延误 3min,累计延误 6min。按照优先级规则一直比较下去,直到 FA3 的优先级满足起飞条件为止(最坏的情况下直到 FA3 获得一个空闲时间片才能起飞)。

在对以上业务进一步分析的基础之上,设计基于跑道资源的机场航班延误计算流程如下:

1) 选择一个或多个延误航班计划(它们的起飞机场可以不同,但到达机场相同)作为初始延误航班,分别设置初始延误时间;

2) 计算每一个初始延误航班的预计实际到达时间: 预计实际到达时间=计划到达时间+延误时间;

3) 将每一个初始延误航班与到达机场处于“同一时间片内”的其他起降航班进行优先级比较,优先级规则如前述。要说明的是,当时间片发生变化时,需要重新搜索参与优先级比较的起降航班。优先级比较的结果导致总有一个航班得到执行,同时又可能会导致一个或多个航班发生波及延误,使它们进入下一个时间片参与优先级比较;

4) 对于一个机场分别处理到港延误和离港延误航班。到港延误航班简单统计即可,对于每一个造成离港延误的航班,重复执行从 2) 开始的处理过程。

其中,机场离港延误主要统计指标包括:

• 机场的计划离港航班总数 = 计划始发航班数 + 计划非始发航班数

• 机场延误的离港航班总数 = 延误的始发航班数 + 被波及延误的非始发航班数

• 机场的离港航班延误程度 = 延误的离港航班总数/计划离港航班总数

最后,在延误波及分析计算的基础上对涉及机场进行航班延误预警,预警指标如表 1 所列。

表 1 航班延误预警指标

延误等级	五色预警等级	航班延误程度上限
1 级	绿	10%
2 级	蓝	20%
3 级	黄	40%
4 级	橙	60%
5 级	红	100%

3.3 图形组件包服务

图形组件包服务负责为系统生成航班延误波及分析和预警数学模型的仿真视图以及棒图等统计图。图形组件包以 Web 服务暴露接口,以 XML 作为数据交换媒介。组件包分为外层服务和核心引擎两部分。外层服务负责加载和解析前端系统传来的波及延误计算结果 XML 文档,生成针对航班延误 DAG、高级 Petrix 网等仿真视图以及棒图等统计图的图形 XML 文档,该图形 XML 文档中包含的元素、属性以及 CSS 样式完整描述了生成目标图形所需要的设置。核心引擎负责加载由外层服务生成的图形 XML 文档,经过一系列处理后生成相应的图形流,并直接返回给客户端,如图 1 所示。不同的航班延误模型使用统一格式的图形 XML 文档,区别仅在于对图元属性和样式的设置。将外层服务和核心引擎保持相对独立,提高了图形组件包的伸缩性和可维护性。如果

需要生成一种全新的航班延误模型仿真视图或统计图,除不需要绘制现有核心引擎所不支持的图元,否则核心引擎不需要做任何改动,只需新增一个外层图形 XML 文档生成 Web 方法即可。另一方面,只要遵守约定的图形 XML 标准,对核心引擎的扩展和升级同样不会影响既有的外层服务。

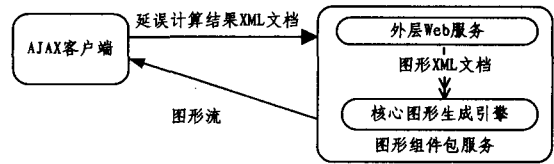


图 1 图形组件包服务运作流程

3.4 AJAX 风格的客户端

为了充分利用网络和客户端资源,改善航班延误波及分析与预警系统的用户体验,客户端采用自主设计的 Magix AJAX 框架开发^[8]。该框架采用面向对象特性扩充了 JavaScript 语言,并整合 XHTML 和 CSS,DOM,XMLHttpRequest 以及 JavaScript 等现有技术,实现了一套丰富客户端控件(Rich-client Controls)以及多种客户端与服务端之间的交互方式。Magix 框架由客户端框架和服务端框架两部分构成,分别采用 JavaScript 和 .NET 框架实现,大量的代码集中于客户端 JavaScript 脚本,服务端主要负责客户端框架脚本的注册和必要的 XML 处理工作。客户端框架主要由 5 个部分组成: AJAX 工具、远程服务访问设施、客户端数据集以及丰富客户端控件库,JavaScript 语言的面向对象扩展则是实现以上技术的基础,如图 2 所示。丰富客户端控件库是 Magix 框架中最重要的技术,可以实现网页局部更新并提供功能丰富的界面元素。

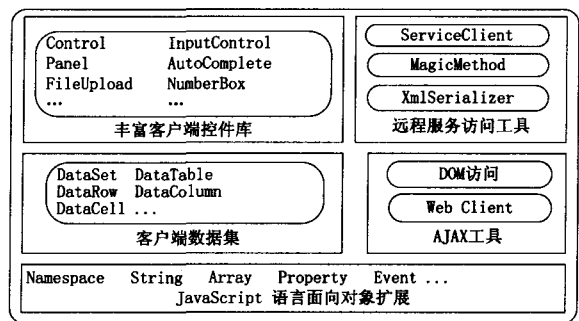


图 2 Magix 框架客户端结构

客户端系统提供的主要功能模块如下:航班延误波及分析和延误预警计算、航班计划维护、个性化设置以及在线帮助等。航班延误波及分析和延误预警计算模块包括基于单个初始延误航班的波及延误计算、多个初始延误航班的波及延误计算、机场航班延误计算以及航空公司航班延误计算等,其中又按底层延误波及分析和预警模型的不同分为多个子模块;航班计划维护模块包括航班计划的编辑、有效性验证以及排序等功能;个性化设置模块则允许用户根据喜好设置生成的图形样式;在线帮助为系统管理员和最终用户提供了系统配置和使用指南。

3.5 系统典型运作流程

如前所述,系统服务端包括封装核心延误预警算法的 Web 服务,提供延误模型仿真视图和统计图生成服务的图形组件包服务,C# 则用于编写一般业务处理代码,并且充当服

务端逻辑整合胶水。客户端为 AJAX 风格的应用,JavaScript 充当整合客户端逻辑的胶水。系统典型运作流程如下:客户端接受用户输入的延误航班计划和初始延误时间,根据用户选择的延误波及分析和预警计算功能,向服务端发出航班延误波及分析和预警计算请求,延误波及分析和预警 Web 服务根据用户的请求,调用相应的 Web 方法执行计算,生成计算结果 XML 文档并且保存在服务器上,同时该 XML 文档被传递给客户端,客户端解析后展示于网格中。当用户向服务端发出查看延误仿真视图或统计图的请求时,相应的计算结果 XML 文档就被传递给图形组件包服务。图形组件包外层服务解析该 XML 文档,生成针对航班延误 DAG、高级 Petrix 网、贝叶斯网络或元胞自动机的仿真视图以及棒图等统计图的图形 XML 文档,然后传递给核心图形生成引擎处理,最后将生成的图形流返回给发出请求的客户端,如图 3 所示。

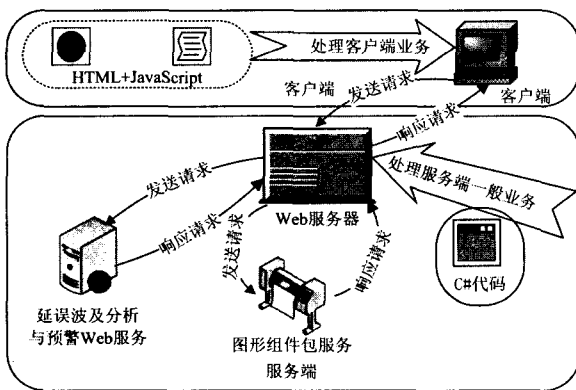


图3 系统运作流程

4 仿真计算

为了展示航班延误波及分析和预警系统的功能,设计了若干个仿真航班计划并选择其中一部分作为初始延误航班的计算输入,在分别设置必要的初始延误时间并调用相应的机场延误计算 Web 方法后,输出结果界面如图 4 所示。当用户需要查看机场航班延误统计图时,计算生成的 XML 文档被传递给图形组件包的外层服务。后者解析该 XML 文档并生成所需要的图形 XML 文档,然后传递给核心引擎处理,最后生成的图形流返回给客户端页面。图5展示了多个机场的

机场	计划始发航班数	计划非始发航班数	计划发出航班总数	延误的始发航班数	被波及延误的非始发航班数	延误的航班总数	航班延误程度	延误预警等级	五色预警等级
机场2	3	17	20	2	4	6	0.3	3级	黄色
机场4	2	18	20	0	3	3	0.15	2级	黄色
机场3	1	18	19	0	5	5	0.26	3级	黄色
机场1	2	14	16	0	4	3	0.18	2级	黄色
机场5	3	11	14	0	0	0	0	1级	黄色
机场7	2	1	3	1	0	1	0.33	3级	黄色
机场15	1	2	3	1	1	2	0.66	5级	黄色
机场14	1	0	1	1	0	1	1	5级	黄色
机场13	1	1	2	1	0	1	0.5	4级	黄色

查看机场延误航班统计图 查看每一个航班的具体延误信息

图4 机场航班延误仿真计算结果

航班延误情况对比棒图,棒图的颜色代表该机场的延误预警等级。当鼠标移动到某一棒图元素时,对应的属性量值将动态显示于棒图右侧。在查看每一个航班计划的具体波及延误信息的界面上,可以看到根据该航班计划生成的延误模型仿真视图。图6显示了某航班计划在初始航班延误 100min 的

情况下由图形组件包生成的 DAG 模型视图,发生延误的航班顶点背景颜色被渲染为红色。当鼠标移动到某一航班顶点时,对应的各属性量值也将动态显示于图形右侧。

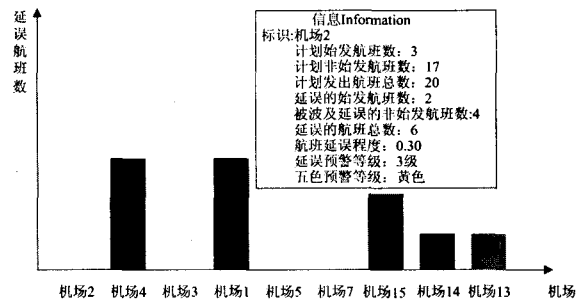


图5 机场航班延误统计棒图

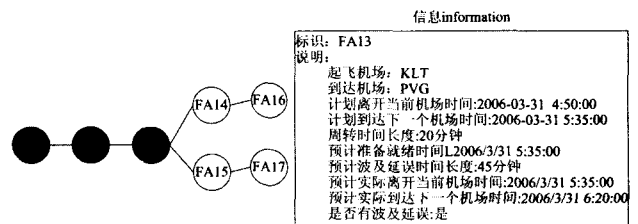


图6 航班延误波及 DAG 视图

结束语 基于 SOA 思想设计和实现的航班延误波及分析与预警系统提供了基于多种模型的延误波及分析和预警计算模块,并能以仿真视图和统计图的方式反馈给用户。仿真实验表明,该系统能够协助完成对机场、航空公司等对象的航班延误分析与预警计算。下一步的工作将继续完善系统,使之支持更多的延误分析模型,并且进一步验证和改善对既往航班延误运行数据的拟合能力,促进系统从项目化到产品化的过渡。

参考文献

- [1] AhmadBeygi S, Cohn A, Guan Yihan. Analysis of the Potential for Delay Propagation in Passenger Aviation Flight Networks [EB/OL]. <http://web.mit.edu/sis07/www/cohn.pdf>, 2007-04-01
- [2] Andreatta G, Romanin-Jacur G. Aircraft flow management under congestion [J]. Transportation Sci, 1987, 21: 249-253
- [3] 荣耀, 王建东. 航班延误预警 Web 服务的设计与实现 [J]. 计算机工程, 2008(23)
- [4] 王珊珊, 王建东. 航班延误波及链的有色出现网模型 [J]. 计算机科学, 2009, 36(2): 241-244
- [5] 丁建立, 赵学健. 基于贝叶斯网络的航班延误与波及分析模型 [J]. 系统仿真学报
- [6] 马正平, 崔德光. 机场航班延误优化模型 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44(4): 474-477, 484
- [7] Web Services Activity [EB/OL]. <http://www.w3.org/2002/ws/>. 2008-07-18, 2008-08-22
- [8] 荣耀, 李昕. 企业级 AJAX 框架设计与实现 [J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2007, 7(3): 64-69
- [9] Extensible Markup Language (XML) [EB/OL]. <http://www.w3.org/XML/>. 2008-07-06, 2008-08-22
- [10] 荣耀, 李昕. 中低端智能设备与计算机间近距离无线移动交互方案 [J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2008, 8(2): 62-67