

航班延误预警图形组件包的设计与实现

荣 耀^{1,2}, 王建东¹, 徐 涛³

(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. 中国民航大学计算机科学与技术学院, 天津 300300)

摘 要:为了给航班延误预警平台提供图形生成服务,设计并实现航班延误预警图形组件包,用于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。图形组件包包括外层服务和核心引擎两部分。外层服务生成图形 XML 文档,核心引擎解析该文档并渲染生成图形。图形组件包以 Web 服务暴露接口,以 XML 作为数据交换媒介,提高了互操作性和通用性。实验表明,该图形组件包可以有效满足航班延误预警平台的图形生成和表现需求。

关键词:航班延误预警;图形组件包;Web 服务;XML 文档

Design and Implementation of Graphic Component Package for Flight Delay Prediction

RONG Yao^{1,2}, WANG Jian-dong¹, XU Tao³

(1. College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016;

2. College of Zhongbei, Nanjing Normal University, Nanjing 210046;

3. College of Computer Science and Technology, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300)

【Abstract】To provide graphs generating service for flight delay predicting platform, a graphic component package is designed and implemented. It can be used to automatically generate simulation graphs of flight delay propagation DAG, advanced Petri net, Bayesian network, parallel cellular automata, and statistical graph such as bar graph. The graphic component package consists of an outer layer service and a kernel engine. The outer layer service generates graph XML document, the kernel engine parses it and renders graphs. The graphic component package exposes its interfaces through Web services and uses XML as data exchange media to improve interoperability. It shows that the graphic component package can effectively meet the requirement of graphs generating and representing of the flight delay predicting platform.

【Key words】flight delay prediction; graphic component package; Web service; XML document

1 概述

航班延误是一个困扰全球民航业的难题,尤其是天气等因素导致的大面积波及延误给航空公司、机场和旅客造成了巨大的损失。

对航班延误预警问题的研究同样是个难题,既往的研究工作大多集中于对延误问题的定性分析或对延误的事后统计分析^[1],在本基金项目课题组的研究中,从航班关键资源(飞机和机组)的角度建立了基于 DAG(有向无环图)和有色出现网(一种高级 Petri 网)的航班延误预警模型^[2-3];从机场关键资源(跑道)的角度建立了基于并行元胞自动机和贝叶斯网络的航班延误与波及分析模型^[4]。在对以上延误模型的研究基础上,设计并实现了航班延误预警软件原型平台(目前国内尚未看到类似的软件系统)。延误预警图形组件包是该平台的一个重要组成部分,用于生成针对航班延误波及 DAG、高级 Petri 网、贝叶斯网络以及元胞自动机的仿真视图,为航班延误预警平台用户提供图形服务。

本文以航班延误波及 DAG 模型和棒图的生成为例介绍图形组件包的设计与实现。

2 航班延误波及 DAG 建模思想

航空公司在制定航班计划时通常将飞机和机组资源进行独立分配,以便优化资源利用。在一天中飞机和机组通常要

执行多个前后衔接的航班,如果航班计划安排紧密,初始航班发生起飞延误,并且未因空中加速飞行得到补偿,则可能导致下游航班发生延误,下游航班可能继续传播延误,从而导致链式波及延误的发生。

在极端情况下,若 1 个上游延误航班的飞机、驾驶员和乘务员机组分别被 3 个下游航班所等待,则该延误航班可能会导致 3 个下游航班波及延误;若 1 个下游航班需要使用来自 3 个不同上游航班的飞机、驾驶员和乘务员机组,则该下游航班的延误情况将由 3 个上游航班共同决定。

由于上下游航班之间的资源使用关系具有单向性,因此 DAG(有向无环图)是构建因一个初始延误航班所导致的下游航班波及延误模型的有效工具。在给定初始航班延误时间的条件下,可计算出该 DAG 中实际被波及延误的航班,通过对波及延误航班进行“染色”即可得到最终的航班波及延误 DAG。详细的建模过程与算法见文献[2],图 1 展示了一个“染色”后的航班延误波及 DAG,被染色的圆圈表示延误航班。

基金项目:国家“863”计划基金资助重点项目(2006AA12A106)

作者简介:荣 耀(1971-),男,副教授、博士研究生,主研方向:软件架构,软件工程;王建东,教授、博士生导师;徐 涛,教授

收稿日期:2009-06-18 **E-mail:**royal@royaloo.com

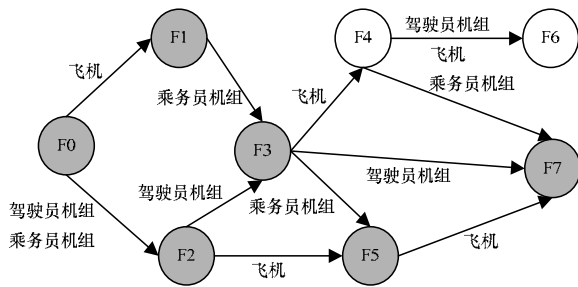


图1 航班延误波及 DAG 模型示意图

3 图形组件包的设计与实现

3.1 设计思想

航班延误预警图形组件包除了为本延误预警平台提供图形功能服务外，还可以被第三方异构系统跨广域网、跨平台调用，因此系统采用 Web 服务发布接口，并且以 XML 文档作为通信介质。Web 服务是当今互联网分布式计算标准构造单元，允许不同的平台上不同的语言编写的各种程序以标准方式互操作^[5]。Web 服务通常以 XML 描述数据。XML 是一种由 W3C 制定的标准数据描述语言，可用于异构系统、异构平台的数据交换^[6]。

图形组件包服务从功能上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、贝叶斯网络、高级 Petri 网、元胞自动机等模型的仿真视图以及棒图等统计图的图形 XML 文档如下：

```

<canvas>
  <head>
    <style>
      ...
      ellipse
      {
        background-color:#ffffff;
        border-color:#000000;
        border-width:3px;
        width:50px;
        height:50px;
      }
      linkLine
      {
        width:3px;
        color:#4677BF;
      }
      .delayed_flight
      {
        background-color:#fa1731;
      }
    </style>
  </head>
  <body width="580" height="400">
    <ellipse id="CA910" text="CA910" left="20" top="150" class=
    "delayed_flight" title="航班:CA910&#xD;&#xA;起飞机场:AAT&#xD;
    &#xA;到达机场:PVG&#xD;&#xA;计划离开当前机场时间:2008-03-
    31 00:15:00&#xD;&#xA;计划到达下一个机场时间:2008-03-31
    07:35:00&#xD;&#xA;" />
    ...
  
```

```

<linkLine start="CA910" end="CA153" title="乘务员机组"
color="blue"/>
...

```

不同的航班延误模型和统计图的图形 XML 文档的格式统一，区别仅在于对图元属性和样式的具体设置。核心引擎负责加载外层服务生成的图形 XML 文档，经过解析和渲染处理后生成图形流返回给客户端。将外层服务和核心引擎分层实现，保持相对独立，有利于提高图形组件包的可扩展性和可维护性。例如，如果需要生成一种新的航班延误模型仿真视图或统计图，除非要绘制现有核心引擎所不支持的图元（例如梯形），否则核心引擎不需作任何改动，只需在外层服务中新增一个图形 XML 文档生成 Web 方法即可。此外，只要遵守图形 XML 规范，更新或扩展核心引擎功能同样不需要修改现有的外层服务。本质上，核心引擎可以生成所支持的任何图形，具体生成何种图形则完全取决于传入的图形 XML 文档。

3.2 外层图形 XML 文档生成服务

外层服务负责生成图形 XML 文档，篇幅所限，在此仅以航班延误波及 DAG 图和棒图的生成为例，描述外层服务的设计与实现。外层服务生成 DAG 图形 XML 文档流程如下：(1)根据平台前端系统生成的航班延误计算结果 XML 文档，按照下游航班对上游航班的飞机、驾驶员机组和乘务员机组等资源的使用关系，确定从初始延误航班到各个直接和间接下游航班顶点的最长路径，计算出各航班顶点在 DAG 图中所处的 X 轴向层号。例如，从图 1 中可见，从 F0 到 F4 和 F5 的最长路径均为 3，因此 F4 和 F5 的 X 轴向层号为 4，同理，F6 与 F7 的 X 轴向层号均为 5。(2)对位于同一 X 轴向层内的各航班，按照起飞的时间顺序确定在 Y 轴向的上下分层布局方式。例如，在图 1 中，F4 的起飞时间早于 F5 的起飞时间，F6 的起飞时间大于 F7 的起飞时间，它们各按照上下顺序分层布局。(3)根据给出的画布长度和宽度，确定各航班顶点圆圈的具体 X 坐标和 Y 坐标，结合平台前端系统生成的计算结果 XML 文档提供的其他信息，生成 DAG 图形 XML 文档。DAG 图形 XML 文档包含了层叠样式表(Cascading Style Sheet, CSS)和航班顶点及连线元素的属性设置。ellipse 元素被解析后产生一个圆圈，表示一个航班顶点，text 属性代表圆圈中的文本，即航班号，left, top 属性表示圆圈的具体位置，class 属性指示该航班是否发生延误，如果发生延误，圆圈的背景将被填色，title 属性描述航班顶点的各属性量值的拼接文本。linkLine 元素被解析后会产生一条带箭头的线段，start 属性表示线段的起点，end 属性表示线段的终点，title 属性指示下游航班所使用的上游航班的资源，color 属性指示线段的颜色（不同的颜色可以指示不同的上游航班资源）。

外层服务生成棒图 XML 文档流程如下：(1)计算棒图元素的宽度。在坐标系中，X 轴表示机场和航空公司等，Y 轴表示波及延误的航班数。以针对机场的延误计算为例，首先根据平台前端系统生成的计算结果 XML 文档得到出现延误航班的机场及其总数 k，用 X 轴的有效长度 L_x 除以机场总数 k，得到每个棒图元素所分摊的 X 轴向长度(该长度含棒图元素本身宽度和棒图元素之间的间距，两者比例设置为 3:4)，为了美观，第 1 个棒图元素的 X 轴坐标设置为距离原点 30 像素处，第 2 个棒图的 X 轴坐标即 $30+L_x/k$ 处，其余类推。(2)计算棒图元素的高度。首先求得各个机场波及延误航班数中的最大值 $maxamount$ ，然后用 Y 轴有效长度 L_y 除以

maxamount 得到一个比值, 以该比值作为系数乘以各机场波及延误航班数(delaynumber), 求出各棒图元素的高度 $Ly/maxamount \times delaynumber$ (见图 2)。这样设计是为了保证在任何计算结果下棒图元素都有很好的展示效果。(3)结合前端系统生成的计算结果 XML 文档提供的其他信息, 生成棒图图形 XML 文档如下:

```

...
body
{
background-color:#ffffff;
border-color:#ffffff;
border-width:0px;
}
...
</style>
</head>
<body width="580" height="400">
...
<rectangle id=" 机场 3" width="40" height="240" text=""
left="210" top="110" title="&#xA;计划始发航班数:19&#xA;计划非始发航班数:83&#xA;计划发出航班总数:102&#xA;延误的始发航班数:7&#xA;被波及延误的非始发航班数:21&#xA;延误的航班总数:28&#xA;航班延误程度:0.27&#xA;航班延误预警等级:二级" />
...

```

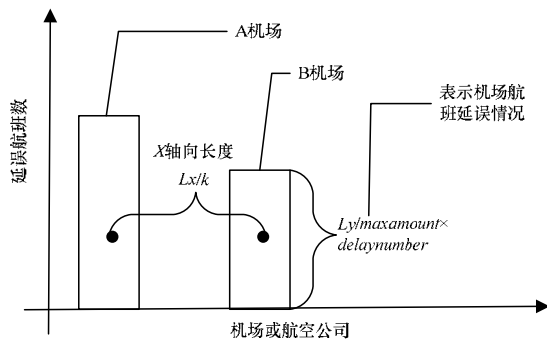


图 2 棒图元素布局

棒图 XML 文档中包含了 CSS 样式表和棒图元素的属性设置。rectangle 标签被解析后将生成一个矩形棒图元素, left 属性表示棒图元素的 X 轴坐标, top 属性表示棒图元素的 Y 轴坐标, width 和 height 分别表示棒图元素宽度和高度, title 属性表示需要显示的与棒图元素有关的航班延误统计结果, text 属性可选, 若不为空则该文本将显示于矩形棒图元素中间。

3.3 核心图形生成引擎

核心引擎负责加载和解析由外层服务生成的图形 XML 文档并进行一系列处理以生成各种图形。当前版本的核心图形引擎代码由近 50 个类构成, 按照功能分为 3 大类: (1)文档对象模型(Document Object Model, DOM)处理类: 用于解析图形 XML 文档中的元素和属性并为在画布上实际渲染图元做准备。在图 3 所示的统一建模语言(Unified Modeling Language, UML)类图^[7]中, CanvasElement 是一个抽象基类, 从它派生出 CanvasEllipseElement, CanvasRectangleElement, CanvasLinkLineElement, CanvasStyleElement 以及 CanvasContainerElement 子类。从 CanvasContainerElement 类又派生出 CanvasBodyElement, CanvasHeadElement 以及 CanvasDocument 子类。这些类分别用于处理椭圆、矩形、线段、样

式、画布工作区、画布题头等元素。(2)图元渲染(Render)类: 完成图元在画布上的实际渲染工作。AbstractCanvasImageRenderer 是一个抽象基类, 其派生类包括 CanvasEllipseImageRenderer, CanvasRectangleImageRenderer, CanvasLinkLineImageRenderer 以及 AbstractCanvasContainerImageRenderer 类。从 AbstractCanvasContainerImageRenderer 又派生出 CanvasBodyImageRenderer 和 CanvasDocumentImageRenderer 2 个子类。CanvasDocumentImageRenderer 还实现了从 ICanvasRender 派生而来的 ICanvasDocumentRender 接口(见图 4)。这些类分别用于完成椭圆、矩形、线段、画布工作区、画布抬头等图元的渲染工作。(3)CSS 处理类, 共包含 CssStyleTranslator, CssStyleHelper, CssUnitHelper 以及 BorderStyle 等 4 个类, 用于对图形 XML 文档中的 CSS 设置进行解析和处理, 为图元的渲染样式提供参考信息。另外, 还提供了 9 个异常类, 例如, AbstractDomException 类用于处理未知的 Canvas 标签, CssTextParseException 类用于处理无法分析的 CSS 字符串, 等等。整个核心引擎代码框架为纯面向对象的类层次结构, 为了获得更好的复用性、伸缩性和可维护性, 其中使用了抽象工厂(Abstract Factory)等设计模式^[8]。

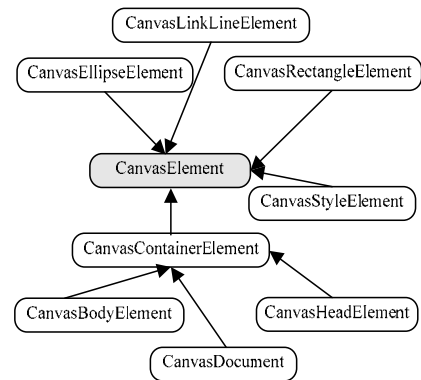


图 3 DOM 处理类层次结构

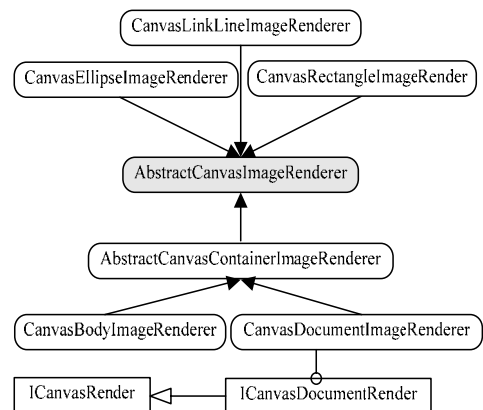


图 4 图元渲染类层次结构

核心图形生成引擎主要工作流程如下: 首先调用 CanvasDocumentFactory 的 CreateDocument() 方法创建一个 CanvasDocument 对象, 然后调用 CanvasDocument 对象的 Load 方法加载图形 XML 文档, 接着调用该 CanvasDocument 对象的 Render 方法。CanvasDocument 对象的 Render 方法内部首先创建一个 CanvasDocumentImageRenderer 对象, 然后调用该对象的同名 Render 方法, 而 CanvasDocumentImageRenderer 对象的 Render 方法则会根据当前正在解析的图形 XML 元素 CanvasElement 的具体类型, 相应地创建具体的

CanvasBodyImageRenderer, CanvasRectangleImageRenderer, CanvasEllipseImageRenderer 以及 CanvasLinkLineImageRenderer 对象,并调用这些具体图元对象所实现的 Render 方法,分别完成画布主体、矩形、椭圆以及箭头线段等图元的渲染处理。最后,将生成的图形流通过 Response.OutputStream 对象返回给用户端。需要说明的是,实际处理过程更复杂一些,在图元开始在画布上渲染之前,还要相应地创建 DOM 处理类和 CSS 处理类对象进行 DOM 和 CSS 的解析和相关信息的生成工作。

4 图形组件包在仿真计算中的应用

为了展示航班延误预警图形组件包的功能(以航班延误波及 DAG 图形和棒图为例),设计了若干个仿真航班计划并将其输入航班延误预警平台。平台前端系统首先将其转换为航班计划表 XML 文档如下:

```

...
<Flights name="GH 航班计划"
  AirlinesCode="SZ" >
...
  <Flight>
    <F>CA153</F>
    <AP>B737</AP>
    <Dep>PVG</Dep>
    <Des>BJS</Des>
    <Tsd>2008-06-12 08:25:00</Tsd>
    <Tsa>2008-06-12 12:30:00</Tsa>
    <TT>20</TT>
    <Resource>
      <Res>CA910|CB</Res>
    </Resource>
  </Flight>
...
</Flights>

```

然后设置相应的初始延误时间,计算航班的延误情况并生成结果为 XML 文档如下:

```

...
<Flights calctime="2008/8/5 16:19:14">
  <Flight initialdelay="110">
...
    <F>CA153</F>
    <AP>B737</AP>
    <Dep>PVG</Dep>
    <Des>BJS</Des>
    <Tsd>2008-06-12 08:25:00</Tsd>
    <Tsa>2008-06-12 12:30:00</Tsa>
    <TT>20</TT>
    <Ter>2008-06-12 9:45:00</Ter>
    <EPD>80</EPD>
    <Ted>2008-06-12 9:45:00</Ted>
    <Tea>2008-06-12 13:50:00</Tea>
    <DFlag>1</DFlag>
    <Resource>
      <Res>CA910|CB</Res>
    </Resource>
  </Flight>
...
</Flights>

```

图形组件包外层服务加载并解析该计算结果 XML 文档,生成所需要的 DAG 图形 XML 文档,核心引擎处理该图形

XML 文档并将生成的图形流返回给用户端。图 5 是某航班计划在初始航班延误 110 min 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被渲染为灰色,当鼠标移动到某一顶点时对应的属性量值动态显示于图形下侧。图 6 则显示了多个机场的航班延误情况对比棒图。

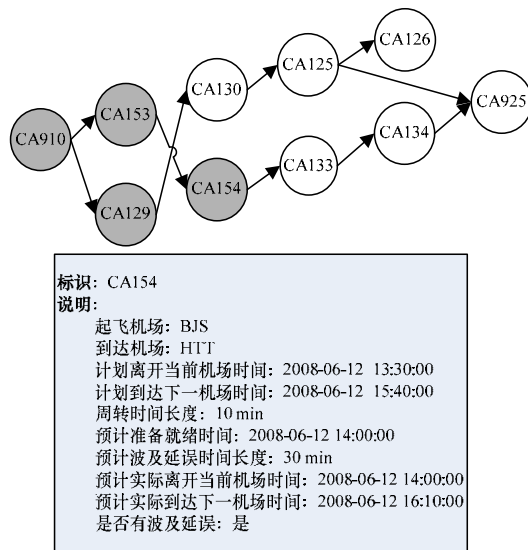


图 5 航班延误波及 DAG 视图样例

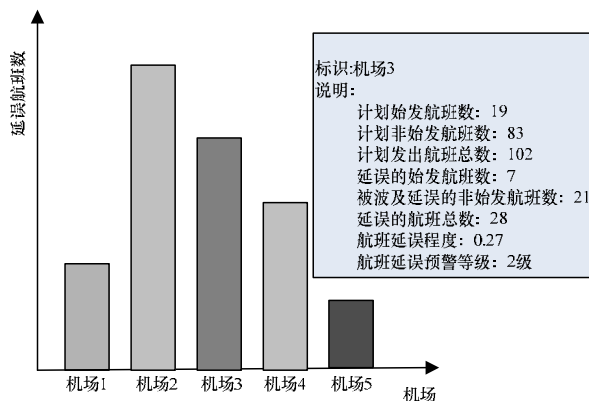


图 6 机场航班延误对比棒图示例

5 结束语

航班延误预警图形组件包为航班延误预警平台提供了丰富的图形功能服务,分层设计方式使得图形组件包具有良好的可扩展性和可维护性,以 XML 作为通信介质并以 Web 服务的方式发布服务接口,提高了图形组件包的互操作性和通用性。实验表明,该图形组件包为航班延误预警平台带来了良好的用户体验。下一步的工作将继续扩展和完善组件包的功能并使之产品化。

参考文献

- [1] 石丽娜. 多等级模糊评价方法在航班延误中的应用[J]. 上海工程技术大学学报, 2006, 20(3): 276-279.
- [2] 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, 34(22): 66-69.
- [3] 王珊珊, 王建东, 丁建立. 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.
- [4] Xu Tao, Yu Yuecheng, Wang Jiandong. A Model for Predicting Flight Delay and Delay Propagation Based on Parallel Cellular Automata[C]//

(下转第 22 页)