

# 国产民机数字化运营流程管理及仿真系统

方德权<sup>1</sup>, 杨卫东<sup>1</sup>, 王莉莉<sup>2</sup>, 赵立君<sup>3</sup>

(1. 复旦大学 计算机科学技术学院, 上海 200433; 2. 上海飞机客户服务有限公司, 上海 200241;

3. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

**摘要:** 数字化运营支持对国际民机领先制造商提高自身市场竞争力、扩大经济效益起到了越来越重要的作用; 深入调研国内外数字化运营支持先进技术、经验和发展趋势, 针对现有机型 ARJ21 和 C919, 梳理了国产数字化运营支持的八大业务场景, 重构适合国产民机发展规律的数字化运营支持业务流程; 充分考虑数字化、信息化技术发展以及运营支持需求的变化, 以及成果的实用性, 基于 BPMN2.0 业务流程建模符号标准和 Activiti5 流程引擎, 搭建业务流程管理及仿真系统, 对国产民机数字化运营支持业务流程进行电子化管理, 并对典型的维修任务分析作业方法业务流程进行仿真。

**关键词:** 数字化运营; 业务流程建模; Activiti5; 流程管理及仿真系统

## Domestic Civil Aircraft Digital Operation Process Management and Simulation System

Fang Dequan<sup>1</sup>, Yang Weidong<sup>1</sup>, Wang Lili<sup>2</sup>, Zhao Lijun<sup>3</sup>

(1. College of Computer Science and Technology, Fudan University, Shanghai 200433, China;

2. Shanghai Aircraft Customer Service Co. Ltd, Shanghai 200241, China;

3. Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Co., Ltd., Beijing 100041, China)

**Abstract:** Digital operation support plays an increasingly important role in leading domestic manufacturers of civil aircraft to improve their market competitiveness and expand economic efficiency. In-depth study of domestic and international digital operations to support advanced technology, experience and development trends, for the existing models ARJ21 and C919, combed the eight business scenarios of domestic digital operation support, reconstructing the digital operation support business process suitable for the development of domestic civil aircraft. Fully consider the development of digitalization, information technology and operational support requirements, and the practicality of the results, based on BPMN2.0 business process modeling symbol standard and Activiti5 process engine, build business process management and simulation system, digital operation of domestic civil aircraft Support business processes for electronic management, and simulate the typical maintenance task analysis operation method business process.

**Keywords:** digital operation; business process modeling; Activiti5; process management and simulation system

## 0 引言

民机数字化运营支持是一种面向超复杂系统提供信息与支持的服务模式, 通过系统互联与系统集成提高民机运营效率, 增强飞机市场竞争力<sup>[1]</sup>。民机数字化运营支持越来越得到国际民机主制造商的充分重视, 以形成更高的技术准入壁垒、提升其竞争优势。空客公司结合公司长远发展规划, 整合现有资源, 提出 E-Solution 解决方案, 探索建立了一套数字化运营支持体系。E-Solution 解决方案为维修人员、运行人员、飞行员等相关方架构了一整套软件系统及相应的模块化工具。目前空客公司的数字化客户服务占全部服务项目的 74%, 取得了良好的经济效果。

我国民机主制造商已经根据我国民航业的发展现状初步构建了包含技术出版物研制、飞行训练、工程技术支援、运行技术支援、航材保障等专业的客户服务体系<sup>[2]</sup>。但是

各业务及其系统之间信息孤岛现象严重, 业务流程重复冗余, 业务流程的梳理和数据管理没有形成统一的规范, 分散式的架构也严重影响了客户的使用体验。国际民机领先制造商在提高自身市场竞争力的激烈竞争中, 将数字化运营支持视为今后发展的重要方向。而如何对数字化运营的业务流程进行管理, 是数字化运营支持亟需解决的一个难点。

基于以上, 本文充分考虑数字化、信息化技术发展和运营支持需求的变化, 以及成果的实用性, 在分析国内外民机数字化运营支持的技术现状和发展趋势的基础上, 通过对国产民机数字化运营支持业务流程管理的相关理论和技术展开研究, 首次按照 ASD (欧洲宇航与防务工业协会) 等国际先进综合保障系列规范, 梳理数字化运营环境下的业务场景, 重构业务流程, 分析探索面向民机数字化各业务系统的流程管理平台解决方案并对典型的业务流程进行仿真实验。

## 1 业务流程梳理

为了满足对国产民机数字化支持的业务流程进行管理,

收稿日期: 2019-03-18; 修回日期: 2019-05-21。

作者简介: 方德权(1994-), 男, 安徽芜湖人, 硕士, 主要从事航空数据管理方向的研究。

首先需要对常见的业务场景进行梳理归纳。根据我国民机发展现状及中长期规划, 业务场景的梳理工作按照国产民机数字化运营支持体系自上而下 I—IV 级流程定义标准展开。每个流程都有其流程名称和流程编号。各子级流程结构编码示意图参考图 1。

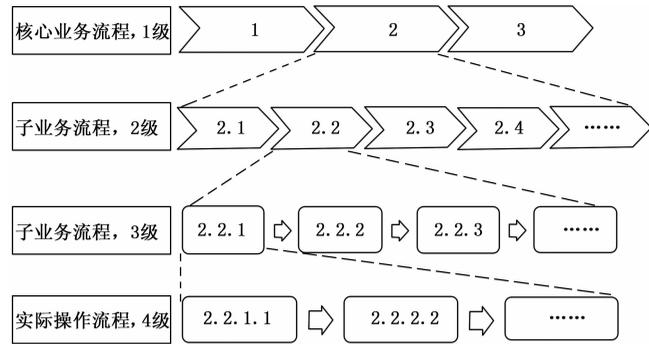


图 1 各子级流程结构编码示意图

I 级流程组成了企业的价值链图。每个 I 级流程代表企业的一个关键的业务和管理运作环节, 在不同层面上为客户创造价值。II 级流程是一个流程集合, 是对一级流程的各个环节进行展开, 用相互之间的关系体现企业在该环节的运作方式和关键活动类别, 其中每个步骤均由一系列具体流程组成。III 级流程是每一个 II 级流程集合的展开, 描述了关键的流程任务, 一级业务和管理任务之间的逻辑关系, 往往使用流程逻辑关系图表示。IV 级流程是每个 III 级流程的细化, 通过将每个步骤都用泳道图方式, 绘制一

张完整的跨部门流程图, 规范流程的拥有者、流程步骤、流程角色等信息。通过流程图定义具体工作步骤的内容, 提供更多的指导性信息<sup>[3]</sup>。

按照国产民机数字化运营支持体系自上而下由 I—IV 级流程标准, 结合各业务场景的特点, 最终形成的八大业务场景, 包括数字化运营支持环境下的维修工程分析、技术出版物、航材支援、工程技术支援、飞行运行支援、培训工程、数字化客户支援及市场与客户支援<sup>[4]</sup>。梳理出来的 IV 级流程共 209 项。下面详细介绍一下数字化运营市场与客户支援业务场景的业务梳理结果。

数字化运营市场与客户支援业务场景 I 级流程下面梳理出 5 个 II 级流程, 分别是客户支援、合同管理、交付支援、市场营销和服务解决方案<sup>[5]</sup>。II 级流程下梳理出对应的 III 级流程有 9 个, 分别是销售活动管理、合同体系管理、合同业务处理、EIS 管理、交付支持、客户信息管理、市场营销管理、客户策略管理和服务开发管理。III 级流程下梳理出的对应 IV 级流程共有 19 个, 分别是销售计划制定流程、销售机会跟踪流程、标准合同模板管理流程、服务合同签订流程、合同履行管理流程、担保索赔管理流程、EIS 计划管理流程、EIS 执行管理流程、交付支持流程、客户需求收集流程、客户信息变更流程、市场分析流程、市场调研流程、市场推广流程、客户策略制定流程、服务清单管理流程、服务标准设计流程、新服务定义流程和服务包设计流程。市场与客户支援业务 I—IV 级流程定义和流程编号如表 1 所示。

表 1 市场与客户支援业务 I—IV 级业务流程定义和编号定义

I 级流程编号	I 级流程名称	II 级流程编号	II 级流程名称	III 级流程编号	III 级流程名称	IV 级流程编号	IV 级流程名称		
08	市场与客户支援业务	08.01	客户支援	08.01.01	销售活动管理	08.01.01.01	销售计划制定流程		
						08.01.01.02	销售机会跟踪流程		
		08.02	合同管理	08.02.01	合同体系管理	08.02.01	合同业务处理	08.02.01.01	标准合同模板管理流程
								08.02.02.01	服务合同签订流程
								08.02.02.02	合同履行管理流程
		08.02	合同管理	08.02.02	合同业务处理	08.02.02	合同业务处理	08.02.02.03	担保索赔管理流程
								08.03.01.01	EIS 计划管理流程
								08.03.01.02	EIS 执行管理流程
		08.03	交付支援	08.03.01	EIS 管理	08.03.01	交付支持	08.03.01.01	EIS 计划管理流程
								08.03.01.02	EIS 执行管理流程
								08.03.02.01	交付支持流程
		08.03	交付支援	08.03.02	交付支持	08.03.02	客户信息管理	08.03.02.01	交付支持流程
								08.03.03.01	客户需求收集流程
								08.03.03.02	客户信息变更流程
		08.04	市场营销	08.04.01	市场营销管理	08.04.01	市场营销管理	08.04.01.01	市场分析流程
								08.04.01.02	市场调研流程
								08.04.01.03	市场推广流程
		08.04	市场营销	08.04.02	客户策略管理	08.04.02	客户策略管理	08.04.02.01	客户策略制定流程
								08.04.02.02	服务清单管理流程
08.04.02.03	服务标准设计流程								
08.05	服务解决方案	08.05.01	服务开发管理	08.05.01	服务开发管理	08.05.01.01	新服务定义流程		
						08.05.01.02	服务包设计流程		

## 2 业务流程建模

业务流程建模在民机运营支持领域有重要应用，业务流程标准化操作是民机运营支持相关业务化繁为简的有效工具，它针对运营支持活动中的每一个环节、每一个部门、每一个岗位，以人本为核心，制定细致化、科学化、数量化的标准，并严格按照标准实施管理，以此来提高工作效率。业务流程建模符号 (Business Process Modeling Notation, BPMN) 是当下比较流行的一套流程建模标准<sup>[6]</sup>。BPMN 的主要目标是提供一些容易被所有业务用户理解的符号，从创建流程轮廓到流程的实现，直到最终用户的管理监控<sup>[7]</sup>。由于 BPMN2.0 版本适用于建立简单且易懂的业务流程模型，同时能处理高度复杂的业务流程，本研究采用 BPMN2.0 作为业务流程规范<sup>[8]</sup>。

利用 BPMN2.0 业务流程规范对八大数字化运营支持业务场景进行描述和分析，在此基础上选择当今比较流行的 Activiti5 流程建模工具，将所描述的业务流程映射为标准的工作流程模型体系。Activiti 的第一个正式版本于 2010 年 12 月 1 日。经过几年的发展，Activiti 已经成为一个较为成熟的工作流引擎，它在工作流领域吸引了众多开发者的眼光。利用 Activiti5 流程建模工具，在分析国内外民航业发展现状的基础上，重构了国产民机数字化运营支持 IV 级业务流程。

采用 Activiti5 引擎自带的数据库与自主设计相结合的方式，对业务流程相关数据进行管理。建模好的流程模型，默认采用 XML 的格式存储在数据库中。典型的业务流程维修任务分析 (Maintenance Task Analysis, MTA) 作业方法建模产生的 XML 文件部分截图如图 2 所示。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<definitions xmlns="http://www.omg.org/spec/BPMN/20100524/MODEL" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
<collaboration id="Collaboration">
  <participant id="pool1" name="维修工程分析作业方法" processRef="维修任务分析作业方法"/>
</collaboration>
<process id="维修任务分析作业方法" name="01.01.07.05 维修任务分析 (MTA) 作业方法" isExecutable="true">
  <laneSet id="LaneSet_维修任务分析作业方法">
    <lane id="Lane1" name="业务流程工程师">
      <flowNodeRef>usertask8</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask9</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask10</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask11</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask12</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask13</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask14</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>startevent1</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>endevent1</flowNodeRef>
    </lane>
    <lane id="Lane2" name="业务流程审核人员">
      <flowNodeRef>usertask1</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask2</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask3</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask4</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask5</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask6</flowNodeRef>
      <flowNodeRef>usertask7</flowNodeRef>
    </lane>
  </laneSet>
  <userTask id="usertask1" name="审核" activiti:candidateUsers="{basicCheck_mon}">
  <userTask id="usertask2" name="审核" activiti:candidateUsers="{mergeCheck_man}">

```

图 2 维修任务分析作业方法建模生成的 XML 效果图

## 3 系统实现

国产数字化运营流程管理及仿真系统采用数据层、持

久层、业务层和用户层的四层系统架构，主要服务于民机客户服务业务相关部门，提供业务流程的电子化统一管理，同时实现业务流程的上传与仿真功能。系统架构使用的主要系统的用户主要分为业务流程审核人员和业务流程工程人员。流程管理及仿真系统架构参考图 3。

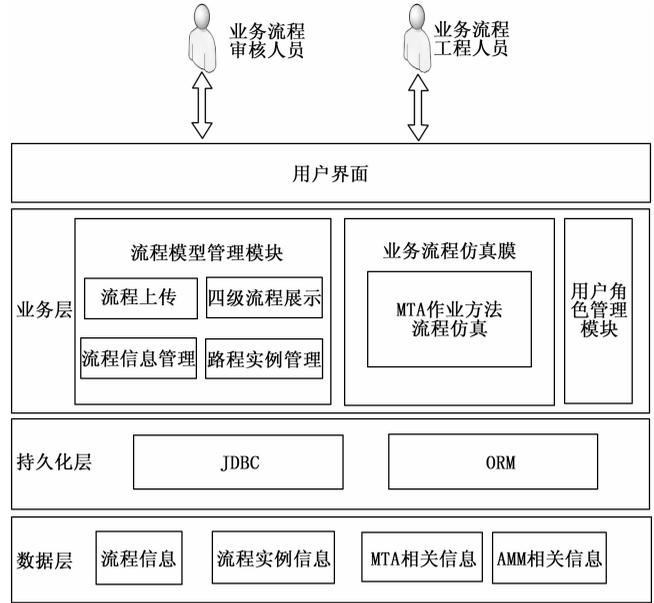


图 3 流程管理及仿真系统架构图

数据层使用 Oracle 数据库实现了流程管理相关数据保存，包括流程信息、流程实例信息，以及 MTA 作业方法业务流程仿真过程中的数据信息。持久层通过数据库访问技术 (JDBC) 和对象数据库映射框架 (ORM) 等技术实现数据的持久化、数据的检索等功能。业务层主要包括流程模型管理、业务流程仿真和流程用户角色管理 3 个模块。用户层使用 HTML, CSS 和 JavaScript 技术为用户提供可视化交互页面，方便用户操作<sup>[9]</sup>。

业务流程管理及仿真系统的核心即业务层的 3 个模块，下面对这 3 个模块的功能进行介绍。

1) 流程模型管理模块的目的是为了实现民机数字化运营业务流程的统一管理，提供统一的流程建模标准，实现业务流程电子化管理，包括流程模型上传与删除、四级流程展示和流程实例的监控等子功能。

流程模型上传子功能提供统一的上传接口，业务流程审核人员在上传流程时，需指定业务流程文件、流程唯一编号、流程名称、流程描述、重要输入输出以及其他备注信息；四级流程展示子功能，业务流程审核人员可以非常清晰地看出四级业务流程之间的层级关系；流程实例监控可以让业务流程审核人员选择某一流程实例查看其当前流程状态，方便监控流程的状态。

2) 业务流程仿真模块包含对 MTA 作业方法业务流程的仿真功能。仿真是为了验证是否得到预期的数据流。详细仿真过程参考第 3 节。

3) 流程用户角色管理模块: 系统使用角色的定义, 主要包括业务流程工程人员和业务流程审核人员。用户角色分配功能实现对各个潜在的用户进行角色的分配。系统角色的职责明确如下: 业务流程工程人员对系统流程仿真模块的每一个工作程序进行数据的输入和管理, 并且可以提交给业务流程审核人员进行审核; 业务流程审核人员负责流程上传和流程实例的管理, 流程仿真任务的发起以及对需要审核的数据进行审核。

#### 4 实验仿真及结果

传统的民用飞机数字化运营业务流程通过 BPMN 业务流程规范进行建模, 实现业务流程电子化, 形成容易被用户理解的可视化流程, 同时将流程电子化为 XML 文件, 便于实现流程自动化管理, 以此来避免传统的人工业务流程中存在的共享信息缓慢, 协同工作低效的问题。将建立好的模型上传至系统即可进行仿真。实验仿真的技术难点在于建立的模型能否覆盖真实人工业务流程, 模型经过电子化流程的运行之后, 能否达到人工业务流程一样的输出结果。如果系统仿真的输出结果和人工业务生成的结果存在不一致的情况, 需要重新分析总结真实的任务业务, 对建立的模型进行调整。

系统对 MTA 作业方法业务流程进行仿真。MTA 作业方法的目的是确定维修任务的主程序及维修所需的全部维修资源, 并从维修性、经济性的角度对飞机设计提出优化建议。维修工程任务作业方法在确定任务的子任务和步骤, 来详细说明如何完成相应的维修任务的同时, 也将确定维修资源, 包括航材和材料、人员、工具和支援设备以及设施。MTA 作业方法业务流程仿真子功能包含整理 MTA 任务、合并 MTA 任务、确定维修任务、确定维修任务结构、确定维修任务资源、确定维修任务验证方法、编制 MTA 分析报告、审核 MTA 子任务。

通过 Activiti5 Designer 编辑器创建出的 MTA 作业方法建模效果图如图 4 所示。

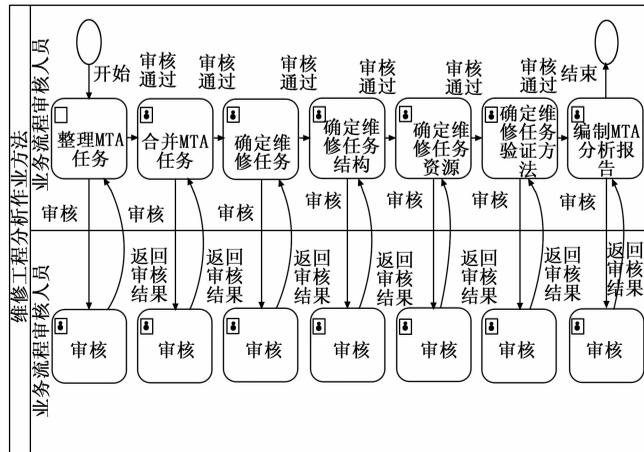


图 4 MTA 作业方法建模效果图

整理 MTA 任务中, 业务流程工程人员利用相关文件,

如后勤保障相关故障模式影响分析、损伤与特殊事件分析、计划维修分析, 业务流程工程人员可以新建一个 MTA 任务表单。同时可以对 MTA 任务表单进行修改或删除。

在合并 MTA 任务中, 不同的分析活动, 如计划维修分析和 LSA、FMEA, 可能产生相同的 MTA 任务; 另外, 同一个分析活动, 也可能产生相同的 MTA 任务<sup>[10]</sup>。因此, 在 MTA 开始之前, 对相同的 MTA 任务合并以避免重复分析。支持对合并后 MTA 任务进行删除和修改功能。确定维修任务中, 一个 MTA 任务可能产生多个维修任务, 因此首先要确定需要哪些维修任务, 然后再确定这些维修任务的编号、任务频率等信息。支持对合并后的 MTA 维修任务进行删除和修改功能。

维修任务结构中, 每一个维修任务有它特定的维修任务结构。维修任务结构描述跟维修任务相关的信息, 如任务的概要描述等, 此外, 也可包括完成该任务的一些安全警告信息、注意事项等。维修任务结构的确立通过一个树状结构来生成。业务流程工程人员可以对维修任务结构树的节点进行新建子节点、修改节点名称、删除子节点来确定最终该维修任务的结构。

MTA 作业方法中核心任务确定维修任务结构效果图如图 5 所示。

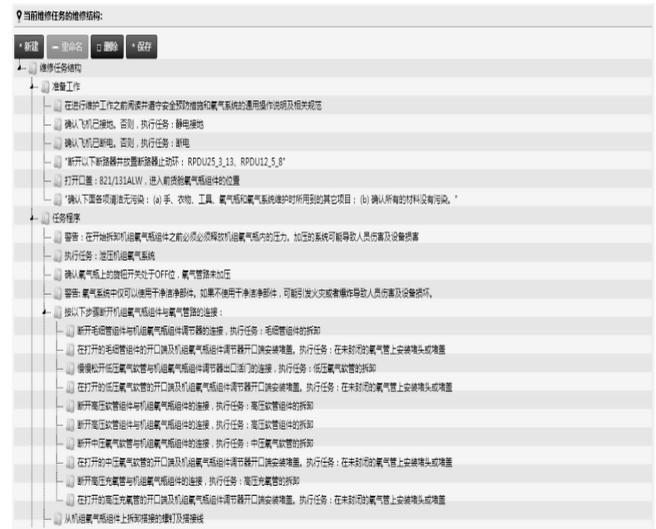


图 5 确定维修任务结构效果图

本系统通过对一个维修任务构造一个维修任务结构树来确定其维修任务结构。维修任务资源中, 任务资源需求分析的目的在于确定执行维修任务所需要的资源, 并通过资源的优化来降低相应的成本<sup>[11]</sup>。业务流程工程人员需要准备初始维修资源清单, 主要包括人力资质、GSE、消耗品、航材等。针对上一步已经确定好的维修任务结构, 我们可以对维修任务结构的每一个子步骤来单独编辑其需要的维修任务资源。

确定维修任务验证方法中, 对于每个维修任务, 业务流程工程人员应填写维修任务验证计划, 此计划应反映维修任务分析中形成的任务步骤、时间人力和材料等满足实

际手册验证过程要求。根据设备或计划的复杂程度，验证可在电子、物理样机或飞机上进行。

业务流程工程人员可以编辑每一个维修任务的验证方法。编制分析报告中，将前面步骤录入的结果填入表中，最终形成 MTA 分析报告，使后续工作人员完成分析报告的校对，审核、批准等签审流程。编制后的报告格式为 Excel，效果图如图 6 所示。

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	MTA分析	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号	35-1101-01													
2	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
3	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
4	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
5	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
6	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
7	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
8	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
9	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
10	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
11	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
12	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
13	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
14	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
15	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
16	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
17	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
18	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
19	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
20	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
21	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
22	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
23	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
24	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
25	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
26	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
27	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
28	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
29	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
30	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
31	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
32	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
33	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
34	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
35	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
36	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
37	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
38	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
39	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
40	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
41	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
42	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
43	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
44	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
45	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
46	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
47	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
48	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
49	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
50	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
51	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
52	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
53	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
54	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
55	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
56	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
57	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
58	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
59	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
60	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
61	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
62	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
63	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
64	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
65	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
66	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
67	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
68	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
69	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
70	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
71	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
72	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
73	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
74	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
75	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
76	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
77	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
78	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
79	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
80	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
81	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
82	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
83	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
84	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
85	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
86	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
87	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
88	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
89	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
90	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
91	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
92	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
93	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
94	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
95	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
96	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
97	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
98	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
99	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															
100	维修任务	维修任务编号	MTA分析编号															

图 6 仿真生成的分析报告效果图

仿真结果说明 MTA 作业方法业务流程通过建模形成电子化流程并经过实验仿真后生成的 Excel 报告与人工业务流程生成的 Excel 报告格式和内容相同。

### 5 结束语

流程管理及仿真系统对数字化运营环境下的业务场景进行分析，梳理出维修工程分析、技术出版物业务、航材支援保障业务、培训业务、工程技术支援业务、飞行运行支持业务、数字化客户服务业务和市场与客户支援业务八

大业务场景并进行建流程模，搭建业务流程管理系统，采用理论分析与实证研究相结合的方法对国产民机典型业务维修任务分析作业方法进行实验仿真，仿真结果生成的分析报告与人工业务流程生成的报告格式和内容相同，证明了对民机业务进行数字化运营的可行性。本文为我国后续民机数字化运营支持体系的规划和建设提供基础技术路线，对缩小我国民机运营支持与国际先进水平的差距提供指导意义。

### 参考文献:

[1] 刘衣, 任融, 魏严锋, 等. 民机数字化运营支持研究与方案设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (2): 204-207.

[2] 缪根红. 民机客服人才胜任能力识别、测评及能岗匹配研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.

[3] 管陈涛. 面向服务的企业应用集成方法及其应用 [D]. 上海: 复旦大学, 2011.

[4] 马小骏, 马安, 赵小虎, 等. 民机客户服务标准体系研究 [J]. 中国标准化, 2012 (9): 62-66.

[5] 李睿. 浅析空中客车公司客户服务体系 [J]. 科技视界, 2018 (11): 229-231.

[6] 郑三红. 基于 BPMN 的业务流程建模工具的设计和实现 [D]. 长沙: 湖南大学, 2005.

[7] 赵静. 规范化的 BPMN 设计方法与工具的研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2011.

[8] 邹志敏. 基于 Activiti 的化学分析检测系统的关键技术研究 [J]. 电脑知识与技术, 2015, 11 (3): 122-124.

[9] 马雪琴. 移动用户行为分析算法与平台研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2015.

[10] 夏哲. 基于 S3000L 的 MTA 方法在民用飞机领域的应用研究 [J]. 航空维修与工程, 2015 (5): 61-64.

[11] 王恺, 高崎, 王登山, 等. 基于实体关系模型的维修人员配置方法 [J]. 物流科技, 2007 (11): 113-115.

(上接第 239 页)

[2] Alex A, Jeff B, Tamer R, et al. A Brief Introduction to Named Data Networking [A]. Military Communications for 21st Century (MILCOM 2018) [C]. IEEE, 2018: 1-7.

[3] 张雪亚. 云计算存储数据安全访问控制机制研究 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (5): 242-244.

[4] Zhang Z Y, Yu Y D, Zhang H T, et al. An Overview of Security Support in Named Data Networking [J]. IEEE Communications Magazine, 2018 (56): 62-68.

[5] Tourani R, Misra S, Mick T, et al. Security, Privacy, and Access Control in Information-Centric Networking: A Survey [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, 20 (1): 566-600.

[6] Boneh D, Gentry C, Waters B. Collusion resistant broadcast encryption with short ciphertexts and private keys [A]. Annual International Cryptology Conference [C]. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005: 258-275.

[7] Feng T, Guo J. A New Access Control System Based on CP-ABE in Named Data Networking [J]. International Journal of Network Security, 2018, 20 (4): 710-720.

[8] Misra S, Tourani R, Natividad F, et al. AccConF: An access control framework for leveraging in-network cached data in ICNs [J]. arXiv preprint arXiv: 1603.03501, 2016.

[9] NDN Project Team. NdnSim Simulator [EB/OL]. http://ndnsim.net/current/, 2019.

[10] Carofiglio G, Gallo M, Muscarriello L, et al. Modeling data transfer in content-centric networking [A]. Proceedings of the 23rd international teletraffic congress [C]. International Teletraffic Congress, 2011: 111-118.

[11] Fricker C, Robert P, Roberts J, et al. Impact of traffic mix on caching performance in a content-centric network [A]. Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2012 IEEE Conference on [C]. IEEE, 2012: 310-315.