

一种工作流自适应容错模型^①

林 星, 沈奇威, 王 纯

(北京邮电大学 网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)

(东信北邮信息技术有限公司, 北京 100191)

摘 要: 设计了一种在工作流子系统中, 可根据工作流的异常类型自动选择容错策略的自适应容错模型, 针对不可恢复异常采用了事务补偿机制的容错策略进行异常处理, 而针对可恢复异常采用了自动恢复的容错策略进行异常处理。详细描述了该模型所采用的消息队列、事务补偿机制、自动恢复机制。

关键词: 工作流; 容错; 消息队列; 事务补偿; 自动恢复

Adaptive Fault Tolerance of Workflow

LIN Xing, SHEN Qi-Wei, WANG Chun

(State Key Lab of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

(EBUPT Information Technology Co. Ltd., Beijing 100191, China)

Abstract: This paper designs a fault tolerance model, according to the type of fault, automatically selecting fault tolerance strategy in workflow subsystem. To unrecoverable exception, transaction compensation mechanism is used for exception handling. To recoverable exception, automatic recovery strategy is used for exception handling. Detailed description of the message queue, transaction compensation mechanism, automatic recovery mechanism which are used in the model are presented.

Key words: workflow; fault tolerance; message queue; transaction compensation; automatic recovery

1 引言

工作流是一类能够完全或者部分自动执行的经营过程, 它根据一系列过程规则、文档、信息或任务能够在不同的执行者之间进行传递与执行^[1]。

计算机容错技术是指当计算机由于器件老化、错误输入、外部环境的影响和原始设计错误等因素产生异常行为时维持系统正常工作的技术总和, 其目的在于处理不可预知的软硬件故障, 提供系统可靠性。计算机一旦发生故障而造成运行中断, 造成数据丢失、程序损坏, 将造成重大的损失或影响。因此, 为确保计算机系统长时间连续可靠地运行, 一方面要着眼于提高计算机的质量, 保证其可靠地运行, 减小故障率另一方面还要从计算机的结构入手, 使计算机具备自动

检测故障的能力, 并在一定的情况下仍能连续可靠地运行程序。为此, 人们不断研究具有容错能力的计算机结构, 加速了各种容错技术方案的讨论与研究^[2,3]。然而由于计算机容错技术的研究脱离了实际应用场景, 所以无法对实际工程应用中的工作流容错提供有效的支撑。本文针对工作流应用, 提出工作流的自适应容错模型, 可以根据异常类型自动选择对应的容错策略进行异常处理。针对不可恢复的异常, 采用基于事务补偿机制的恢复策略; 而针对可恢复异常, 采用自动恢复策略。

工作流的功能主要包括流程定义、人员分配以及异常处理三个方面, 根据工作流的功能将工作流划分为流程定义域、人员分配域以及异常处理域这

① 基金项目: 基金项目: 国家杰出青年科学基金(60525110); 国家重点基础研究发展计划(973)(2007CB307100, 2007CB307103); 国家自然科学基金(61072057, 60902051); 中央高校基本科研业务费专项资金(BUPT2009RC0505); 国家科技重大专项(2011ZX03002-001-01, 2011ZX03002-002-01)

收稿时间: 2011-08-02; 收到修改稿时间: 2011-09-11

三个域^[4]，而容错性体现在异常处理域。 workflow 系统的划分如图 1 所示。

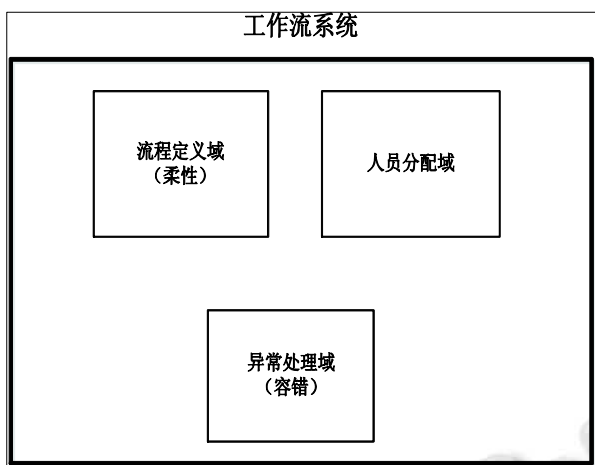


图 1 workflow 系统划分图

2 workflow 自适应容错模型

多数 workflow 过程都是一个长生存期的过程，在运行的过程中出现各种各样的故障和异常是很正常的。 workflow 的异常可以分为可恢复异常和不可恢复异常。

workflow 的自适应容错模型结合了消息队列、事务补偿机制、自动恢复机制而设计的。

图 2 为 workflow 的自适应容错模型。

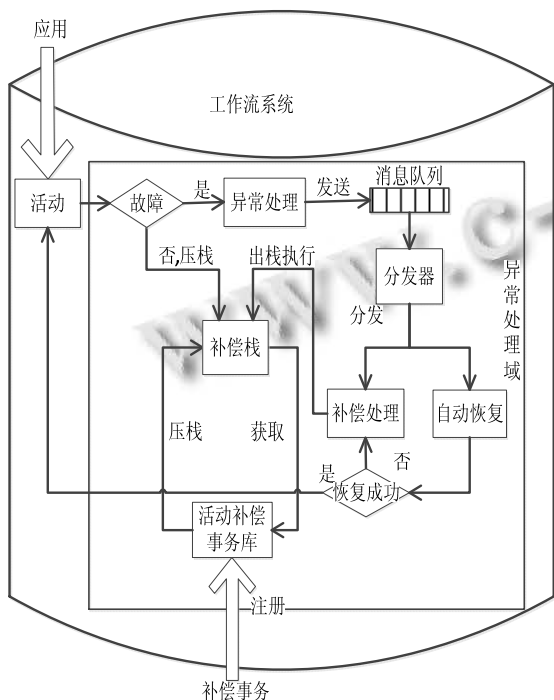


图 2 workflow 的自适应容错模型图

workflow 执行过程中，如果活动执行正常，就从补偿事务库中获取活动对应的补偿事务，压入到补偿栈中；如果活动执行异常，就将异常消息送入异常队列中。分发器定期查看消息队列中是否有异常消息，如果没有则等待一定的时间再重新查看；如果有异常消息，就取出异常消息。判断异常的类型，如果是不可恢复异常就采用事务补偿策略进行异常处理，事务补偿策略从补偿栈中获取补偿事务并执行；如果是可恢复异常就采用自动恢复策略进行异常处理，恢复不成功就转到事务补偿策略进行异常处理。

2.1 消息队列

消息队列是在消息的传输过程中保存消息的容器，它可以在内存中也可以在物理文件中。消息队列的主要目的是提供路由并保障消息的传递，如果发送消息时接受者不可用，消息队列会保留消息，直到可以成功传递为止。消息可以以两种方式发送，即快递模式和可恢复模式，它们的区别在于，快递模式为了消息的快速传递，把消息放置在内存中，而不存放在物理磁盘中，以得到较高的处理能力；可恢复模式在传递过程中的每一个步骤中，都把消息写入物理磁盘中，以得到较好的故障恢复能力。针对异常消息采用可恢复模式的消息队列进行存储，即将该消息存放到磁盘中以便将来恢复^[5]。

2.2 事务补偿机制

事务处理的概念起源于数据库系统，在以数据为中心的系统中，事务作为操作的基本处理单元必须满足 ACID 属性，即原子性（Atomicity）、一致性（Consistency）、独立性（Isolation）、持久性（Durability）。一个事务映射到数据库中，就是从一致性状态通过自动执行一系列操作到另一个一致性状态，同时隐藏发生的影响，并恢复失败的操作^[6]。

在 workflow 事务模型中，要考虑的问题一般分为两个层次：一是传统事务，实现每一个操作的正确性和可靠性，这是数据库系统所关注的；二是 workflow 事务，实现每一个流程实例的正确性和可靠性，这是 workflow 需要关注的。

workflow 事务失败，如果该异常是不可恢复异常时，需要一个补偿事务，将系统还原到上一个一致性状态的位置。

补偿事务，即在语义上回滚事务的部分影响，维持系统的一致性状态^[7]。事务补偿机制从消息队列中

得到不可恢复异常消息，在 workflows 中用补偿事务来还原已经完成的。一旦进行补偿，它就要流程中已经运行完成的所有活动都按照特定的逻辑进行补偿。

2.3 自动恢复机制

自动恢复机制从消息分发器得到可恢复异常消息，重新执行活动。针对异常采用多级异常队列处理方式，对于不同的异常队列分情况用不同的重试时间，确保每一个错误都可以经过一定的时间进行尝试，从而避免资源竞争而回滚。

2.4 异常处理流程

异常处理流程是指 workflow 自适应容错模型的工作过程。图 3 为异常处理流程图。

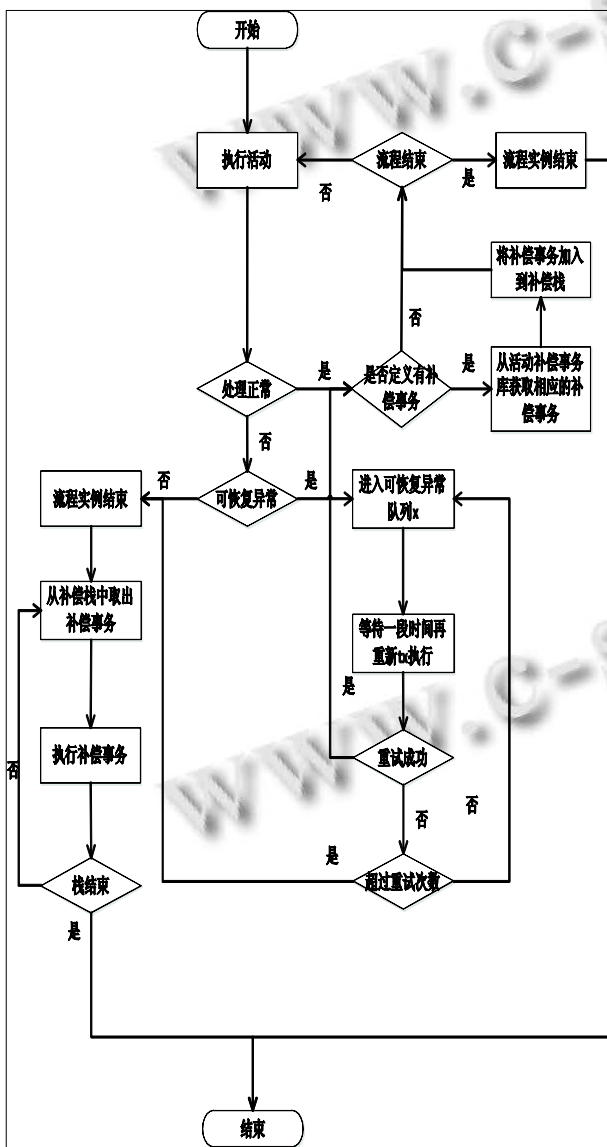


图 3 异常处理流程图

在异常处理流程中，执行活动，当一个活动完成时，如果已经在活动补偿事务库中注册了活动对应的补偿事务，那么就向补偿栈压入补偿事务。在流程实例结束时，异常处理域查看流程实例（workflow 的一次执行）是否抛出了异常。如果这个流程实例成功地完成，那么就不需要任何动作。另一方面，如果这个流程实例失败了，送入异常消息队列中，并由分发器根据异常类型分发给对应的容错处理策略进行处理。

如果异常类型是不可恢复异常，那么就需要执行补偿动作。如果需要进行流程补偿，异常处理域就会依次调用补偿栈（LIFO）中的补偿事务，依次执行，直到补偿栈为空为止。

如果异常类型是可恢复异常，那么需要根据系统配置的消息队列级数以及各级的等待时间进行重试。如果重试成功则进入活动执行成功流程。如果重试失败，则判断是否超过系统设置的重试次数，如果没有超过，则进入多级队列的下一级，并等待对应的时间再次重试；如果超过则进入补偿事务处理流程。

4 模型应用实例

内容管理系统(Content Management System, 简称 CMS)是三网融合时代 3G 增值业务系统架构的一部分，是内容提供者(Content Provider, 简称 CP)、业务媒介(Service)和内容消费者(Consumer)的中间管理平台。其目的是完成内容在业务媒介中整个生命周期和分发播控管理，提供内容导入、编辑、个性化发布等全套功能，实现对内容型增值业务及应用的支撑。CMS 的角色运营模式如图 4 所示。

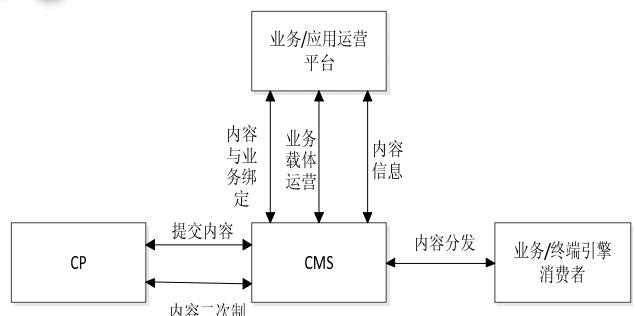


图 4 CMS 的运营模式图

移动广告业务是以提供个性化广告发布为核心的移动数据增值业务，它利用移动通信业务渠道为广告业提供了一种媒介传播途径^[8]。移动广告业务连接广

告主、业务提供者和移动终端用户，负责广告的运营管理和分发。若将广告视为一种特殊的内容，则移动广告业务中的广告主/代理商可映射为内容管理系统中的 CP。因此 CMS 天然可作为移动广告业务的承载，提供业务内容及广告内容的管理、内容存储、编辑及广告编排、分发、运营等功能。

workflow 贯穿内容的整个生命周期，提供 CMS 中内容流转和审核功能，同时需要为 CMS 承载的移动广告业务提供流程定制能力。

现以移动广告业务的广告位审批流程为例说明 workflow 自适应容错模型的应用。

图 5 为移动广告业务的广告位审批流程图。广告位审批流程由 workflow 技术提供支撑，在整个广告位审批流程中包括了四个活动：系统管理员审批通过、系统管理员审批不通过、广告位审批通过和广告位审批不通过。

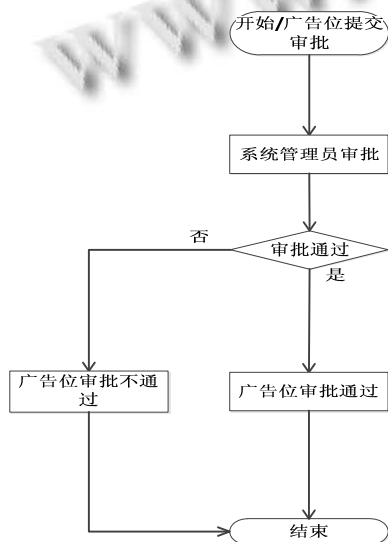


图 5 广告位审批流程图

图 6 为广告位审批流程对应的容错模型应用图。以系统管理员审批通过为例进行说明：如果系统管理员审批通过活动执行成功则获取系统管理员审批通过对应的补偿事务并压入到补偿栈中。如果出现异常，判断异常类型，不可恢复异常，调用补偿栈中的补偿事务，依次执行，直到补偿栈为空为止；可恢复异常，就进行重试。如果重试成功则继续执行流程即广告位审批通过活动。如果重试失败，则判断是否超过系统设置的重试次数，如果没有超过，则进入多级队列的下一级，并等待对应的时间再次重试；如果超过则进入补偿事务处理流程。

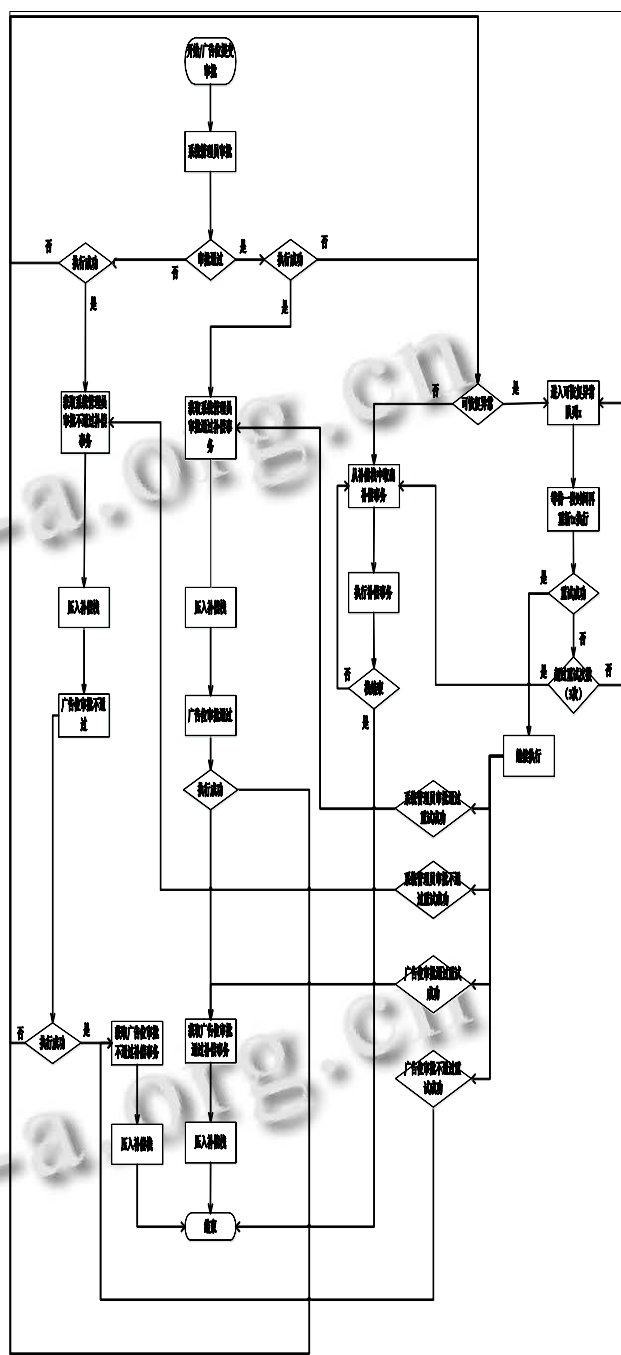


图 6 广告位审批流程对应的容错模型应用图

3 结语

本文针对 workflow 的容错性提出了自适应容错模型，通过对异常类型的划分，采用了消息队列、自动恢复机制、事务补偿机制，分别对相应的异常进行处理，最终解决了 workflow 的容错性问题，保障 workflow 的正常执行。

(下转第 104 页)

表3 数据集 Lymphography 属性约简结果

Lymphography	属性数	达优率(%)	约简属性数	最小约简属性数	最快收敛数	平均收敛数	运行时间
Hu 算法	19	/	6	6	/	/	25.945
PSO		70	6		33	95	629.761
QPSO		90	6		27	60	643.665
MQPSO		100	6		11	41	656.244

限于篇幅, 本文仅画出两个数据集 sponge 和 Soybean_large 进化过程适应度值的变化曲线, 对其他数据集并没有列出。

表1、表2、表3实验结果表明, MQPSO约简算法比Hu算法、PSO、QPSO约简算法取得了更好的结果, 表现在MQPSO约简算法取得了包含更少属性个数的约简结果, MQPSO算法具有更好的收敛速度和寻优能力。图2和图3的曲线图是迭代次数与适应度值之间的关系图, 适应度值越大说明约简结果越优。从两图中可以看出MQPSO约简算法比QPSO和PSO约简算法具有更好的收敛速度和寻优能力。

从运行时间的角度来看, Hu算法所用的时间最少, MQPSO算法所用的时间最多。这是由于Hu算法采用了属性重要性优先选择的贪心策略, 这种策略能够帮助算法很快得到结果, 但是得到的结果往往不是最小的属性约简; 另外, MQPSO算法是在QPSO的基础上, 通过引入免疫算法, 再进行分群搜索的策略, 加上几种算法的迭代次数相同, 所以MQPSO算法需要耗费的时间最多。

5 结语

本文把多种群分群的思想运用于量子粒子群算法, 提出了基于多种群免疫量子粒子群的粗糙集属性约简算法, 实验表明, 该算法在收敛速度和寻优能力

都得到了改进, 这种结合是可行的, 并能得到较好的效果。

参考文献

- 1 Wong SKM, Ziarko W. On optimal decision rules indecision tables. Bulletin of Polish Academy of Science, 1985, 33(11-12): 693-696.
- 2 Hu XH, Cercone N. Learning in relational database: a rough set approach. Computational Intelligence, 1995, 11(2): 323-337.
- 3 Yang XM, Yuan JS, Yuan JY, et al. A modified particle swarm optimizer with dynamic adaptation. Applied Mathematics and Computation, 2007, 189: 1205-1213.
- 4 廖建坤, 叶东毅. 基于免疫粒子群优化的最小属性约简算法. 计算机应用, 2007, 27(3): 550-555.
- 5 张洪波. 多种群粒子群分层进化优化算法. 中国科技信息, 2010, 8: 40-42.
- 6 李爱国. 多粒子群协同优化算法. 复旦大学学报, 2004, 43(5): 923-925.
- 7 陈国初, 俞金寿. 两群微粒群优化算法及其应用. 控制理论与应用, 2007, 24(2): 294-298.
- 8 许珂, 刘栋. 多粒子群协同进化算法. 计算机工程与应用, 2009, 45(3): 51-54.

(上接第114页)

参考文献

- 1 范玉顺. workflow管理技术基础. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- 2 周东华. 容错控制理论及其在应用. 自动化学报, 2000, 26(6): 788-797.
- 3 张成, 廖建新, 朱晓民. 一种基于增量贝叶斯疑似度的事件驱动故障定位算法. 电子与信息学报, 2009, 31(6): 1501-1504.
- 4 周建涛, 史美林, 叶新铭. 柔性 workflow 技术研究的现状与趋势. 计算机集成制造学院, 2005, 11(11): 1502-1510.
- 5 王松磊, 陈永生. 基于消息队列的独立通信层的设计与应用. 计算机系统应用, 2011, 20(12): 12-22.
- 6 董云卫, 郝克刚. 一种乐观嵌套 workflow 事务模型. 计算机科学, 2005, 32(8): 90-93.
- 7 朱锐, 郭长国, 王怀民. 一种基于补偿代价的长事务调度算法. 软件学报, 2009, (3): 744-753.
- 8 杨林, 王晶, 沈奇威, 朱晓民. 基于 OSGI 的移动广告平台订单系统. 计算机系统应用, 2011, 20(20): 32-35.