

基于协调理论的工作流建模方法*

范玉顺, 吴澄

清华大学自动化系, 北京 100084

摘要: 针对目前 workflow 管理系统在描述能力和柔性上存在的严重不足, 本文提出了一种基于协调理论和反馈机制的工作流建模方法。该方法扩展了传统活动网络模型, 提出了新建模机制, 增加了请求、服务、协调、多实例化等新的建模元素。同时还给出了一个招标与评标过程的工作流模型实例, 研究表明, 与传统的活动网络模型相比, 本文提出的建模方法在提高模型描述能力、降低模型复杂性、提高系统柔性及适应性方面有明显优点, 对于设计开发高可靠性、柔性和适应性的 workflow 管理系统具有重要的应用价值。

关键词: 工作流模型、工作流管理系统、协调理论、柔性

1. 引言

企业经营过程重组 (BPR) 要求企业将传统的以职能为基础的组织机构和运作机制转变为以过程为中心的管理模式, 对企业的业务流程进行彻底的重新设计, 进而实现显著提高企业业务能力和经营效益的目标。在这个大趋势下, 工作流技术也受到了广泛的重视, 工作流技术及其产品的发展速度非常迅速, 市场上出现了上百种不同的工作流产品^[1]。

工作流模型是对业务过程的抽象表示。在信息管理自动化的环境下, 这种模型就更加必不可少。它不仅仅要让人读懂, 更要让计算机理解所定义的工作流过程。但是相对工作流产品的实现技术和发展速度而言, 工作流建模理论的研究相对滞后, 在建模方法上, 还没有形成比较系统化的理论体系。目前已有的建模方法主要有: 基于活动网络的建模方法^[2]、基于 Petri 网的建模方法^[3]、基于语言行为理论的建模方法^[4]、基于活动与状态图的建模方法^[5]和基于扩展事务模型的建模方法^[6]等。

目前工作流模型存在的主要问题是: 1) 模型语义不够丰富, 表示复杂问题的能力不足; 2) 模型的柔性不好, 不容易处理在执行过程中出现的不确定性问题。本文在协调理论和反馈控制思想指导下, 通过引入反馈机制、市场机制、协调机制, 提出了一种可以显著提高工作流模型描述能力和系统执行柔性的建模方法。

2. 基于协调理论的建模机制

协调理论是 MIT 协调科学中心的 Malone^[7]提出的一种管理一组协同工作的活动及其相关性的科学。协同过程的组成元素包括共同的目标、完成目标需要执行的活动、活动的执行者、以及活动之间的相关性。协同理论的主要研究内容是如何管理活动之间的相关性。在此基础上, Malone 等提出了四种协调的策略:

- 1) **层次 (上下级):** 协调活动的参加者中有一个知道如何管理活动间的相关性, 并且他具有权威, 能够使其他人接受他提出的解决方法;
- 2) **市场:** 协调活动的参加者中有一个知道如何管理活动间的相关性, 他将解决方法公布给其他参与者, 如果大家同意, 就采用这个解决方法。这个协调方法称为市场, 即一个参与者提出方案, 其他人选择是否接受。
- 3) **对等伙伴:** 参与者之间通过协商找到解决问题的方法;
- 4) **代理:** 所有的参与者同意由一个代理来决定最后的解决方法, 这通常是在对等伙伴经

* 863/CIMS 主题资助项目, 项目编号:863-511-944-002

过多次协调不能达成一致意见的情况下, 由代理来完成方案的选择。

以上四种协调策略可以比较全面地反映实际企业业务运作过程中不同业务单元以及活动之间的关系。它可以作为我们建立 workflow 模型的理论基础。

导致目前 workflow 模型描述能力不足和缺乏柔性的根本原因是描述机制没有反映实际应用情况, 具体表现在以下三个方面:

- 1) **缺乏反馈与协调机制:** 目前 workflow 模型中活动之间通常采用对应着上述协调策略中的层次关系, 即上下级关系。这种上下级关系是建立在前一个活动提交的命令是后续活动一定能够而且必须完成的指令性任务这样一种假设的基础上的, 前一个活动在完成任务提交后就结束了其执行使命, 至于后续活动能否完成它提交的任务, 或者执行的结果是否满足要求都需要 workflow 过程建模人员自己去定义检验活动和相应的处理方法。这种机制无法描述复杂的具有市场、对等伙伴协调策略的活动逻辑。由于缺乏反馈机制, 它也难以描述比较典型的服务逻辑。
- 2) **算盘型活动:** 在过程实例的一次执行过程中, 每个活动的一次触发只能完成一个活动实例的执行, 不允许多个实例同时执行。这样的逻辑就难以实现诸如根据临时确定投票人来表决某个决议这样的过程。
- 3) **傻瓜型逻辑:** 一个活动在其完成后, 根据其完成的结果, 后续活动的执行逻辑, 包括执行的活动的个数必须首先定义好 (如果存在并发活动, 需要明确定义被并发的活动的个数)。
- 4) **可重用性差:** 每个活动的启动条件 (包括或分支的选择条件) 在建模或者实例化阶段必须给定, 过程实例执行过程中不允许动态设定启动与选择条件。因此, 即使是非常类似的过程, 如果活动的执行条件略有变化, 也必须重新建立过程模型。

除普通活动网络建模方法中的层次化协调策略外, 本文在活动关系上增加了以下协调和反馈策略:

- 1) **请求-服务策略:** 引入请求、服务节点, 使得一个活动可以根据当时执行的情况动态请求多个服务。在引入服务策略的同时, 参照面向对象技术中对象请求服务原语, 根据请求活动对于服务结果是否等待等不同情况, 进一步将请求节点分成简单请求、请求继续、请求等待、请求等待继续这四种不同的节点。
- 2) **多实例化机制:** 引入多实例化活动, 允许一个活动的多个实例同时运行。
- 3) **条件设定机制:** 引入条件设定节点和条件设定弧, 允许在执行过程中动态设定活动执行条件。
- 4) **协调机制:** 引入协调节点, 允许用户自己定义协调逻辑或者启动其他群件系统支持群组协调工作。

上述协调和反馈策略的引入, 可以实现不同活动之间的交互、协调、反馈、条件设定以及活动的多实例化执行, 从而大大提高 workflow 模型描述复杂实际应用场景的能力以及 workflow 管理系统的柔性。

3. 模型的构成

本节介绍模型的构成元素及其相关的连接逻辑。整个 workflow 模型由活动节点和连接弧两类元素组成。

3.1 连接弧

图 1 给出了三种不同的连接弧。其中, 普通控制连接弧用来在不同的活动之间形成无条件的流程连接关系; 条件连接弧实现不同活动之间的条件连接, 根据定义在条件连接弧上的谓词逻辑的判断结果, 决定活动的执行逻辑; 条件设定弧是本文提出的新的建模元素, 它可以用来动态设定活动的执行条件、完成条件和时间要求等条件, 通过动态地设定这些

执行和判断条件, 提高 workflow 管理系统的柔性。

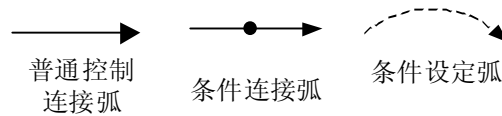


图 1 连接弧

3.2 活动节点

图 2 给出了活动节点的图形表示形式。根据其在业务流程中承担的不同性质的任务, 活动节点共分为 15 种。

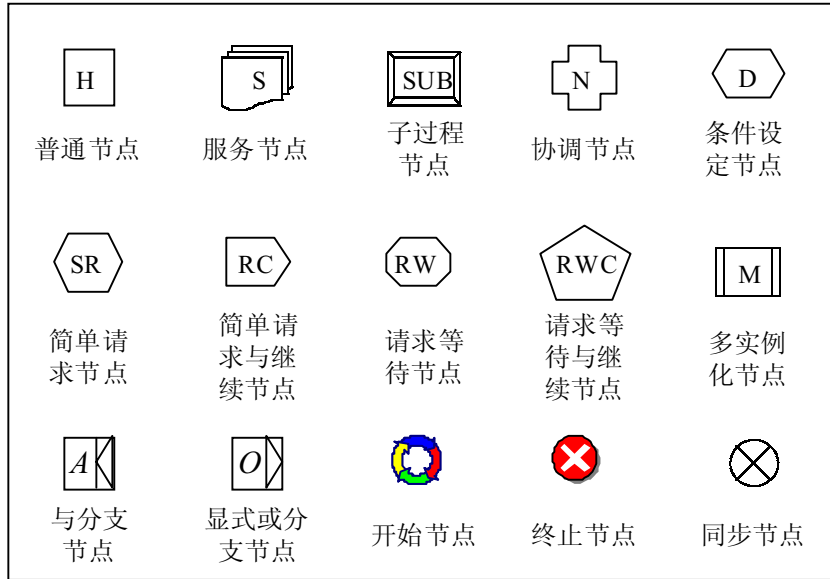


图 2 活动节点图形表示形式

- 1) **普通节点:** 其含义与活动网络模型中定义的活动节点相同, 它表示一个业务活动, 由 workflow 机根据其前趋活动的完成情况来触发。这种节点在协调关系上与前驱节点属于上下级关系, 即它无条件的执行上一个活动下达给它的工作指令。
- 2) **子过程节点:** 其含义与活动网络模型中定义的子过程节点相同, 子过程节点本身就是一个 workflow 模型, 在子过程节点的工作流模型中还可以定义子过程节点, 从而形成一个层次化的递阶 workflow 模型。
- 3) **开始节点:** 表示一个 workflow 过程的开始, 它还用于服务节点与子过程节点中子流程的入口节点。
- 4) **终止节点:** 终止节点表示一个 workflow 的结束, 它还用于服务节点与子过程节点中子流程的出口节点。
- 5) **协调节点:** 该节点表示在进入此活动后允许用户自己定义协调逻辑, 或者启动其他群件系统支持群组协调工作。
- 6) **多实例化节点:** 允许一个活动的多个实例同时运行。
- 7) **显式或分支节点:** 显式或分支节点是相对于隐式或分支节点而言的, 这两种或分支节点都表示在这个活动完成后将从其多个后续活动中选择一个活动执行。所不同之处在于显式或分支节点由该节点中定义的条件选择后续活动, 而隐式或分支节点由定义在条件连接弧上的谓词条件是否满足来选择后续活动的执行。图 3 给出了显式与隐式或分支节点的流程连接逻辑, 在图 3 的 (a) 图中, 活动 A1 执行完成后, 根据执行的结果, 由活动 A1 从 A2 和 A3 中选择一个进行执行, 在图 3 的 (b) 图中, 活动 A1 执行完成后并不指定下一个执

行的活动, 活动 $A1$ 仅输出执行结果, 由连接 $A1$ 到 $A2$ 、 $A1$ 到 $A3$ 的两个条件连接弧上定义的谓词条件来进行判断, 根据判断结果决定下一个执行的活动。

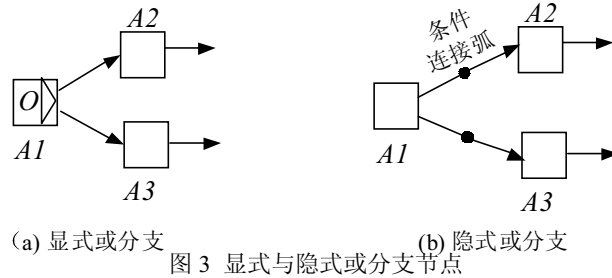


图 3 显式与隐式或分支节点

8) **与分支节点:** 与分支节点是用来表示在这个活动执行完成后, 同时触发多个后续活动, 这些被触发的后续活动并行地执行。

9) **同步节点:** 同步节点是用来同步多个并行执行流程的特殊节点, 通过它实现多流程结果的汇合, 从而实现业务过程所需要的同步。

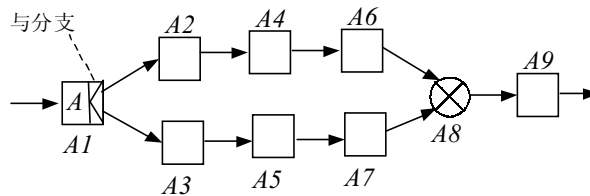


图 4 与分支节点和同步节点的连接逻辑

图 4 给出了与分支节点、同步节点和普通节点的连接图, 在图 3 所示的流程逻辑中, 活动 $A1$ 执行完成后, 同时触发活动 $A2$ 和 $A3$, $A2$ 和 $A3$ 并行执行, 由于 $A2$ 和 $A3$ 后面还有许多后续活动, 因此与分支节点 $A1$ 的执行完成就产生了两个并行流程, 同步节点 $A8$ 的执行逻辑是活动 $A6$ 和 $A7$ 都完成后, 才能够触发活动 $A9$, 即同步节点 $A8$ 实现了两个并行流程的汇合。

10) **服务节点:** 服务节点是类似于 workflow 模型中的子过程节点, 所不同的是, 一个服务节点可以包含多个服务过程。每个服务节点有多个起始节点和多个终止节点, 每一种类型的服务有一个起始节点与一个终止节点, 用来实现与其他活动节点的连接。服务节点内部组成可以是一个简单的活动、一个由一组活动组成的过程、也可以是许多子流程组成的服务集合。子流程在这里称为服务流程。在服务节点的子流程中还可以包括其他的服务节点。

服务节点对外提供一个服务界面, 包括它所提供的各个服务清单的树状结构图, 供其他活动选择相应的服务。每个服务清单又对应一个服务界面, 其中定义了该服务的描述信息和相应的输入数据。描述信息包括服务的名称、服务的内容描述、预计执行服务需要的时间、费用、服务的输出结果等信息。输入数据接口定义了接受该服务所必须输入的数据项。

11) **请求节点:** 请求节点是向服务节点请求服务的节点。根据执行的情况, 一个活动可以动态请求多个服务。参照面向对象技术中对象请求服务原语, 根据请求活动对于服务结果是否等待等不同情况, 进一步将请求节点分成简单请求、简单请求与继续、请求等待、请求等待与继续这四种不同的节点。以下给出这四种不同请求节点的内部逻辑以及它们与服务节点的连接关系:

- ① **简单请求节点:** 简单请求节点在发送完服务请求后就完成了其任务, 它不需要等待服务节点返回执行结果。图 5 给出了简单请求节点的内部流程。由于不需要服务节

点返回执行结果, 简单请求节点属于请求/服务关系中最简单的一种, 其工作流程为: 在进入请求服务后, 通过获得服务节点提供的服务清单, 从中选择需要的服务, 在完成全部服务项目的选择后向服务节点发出服务请求。

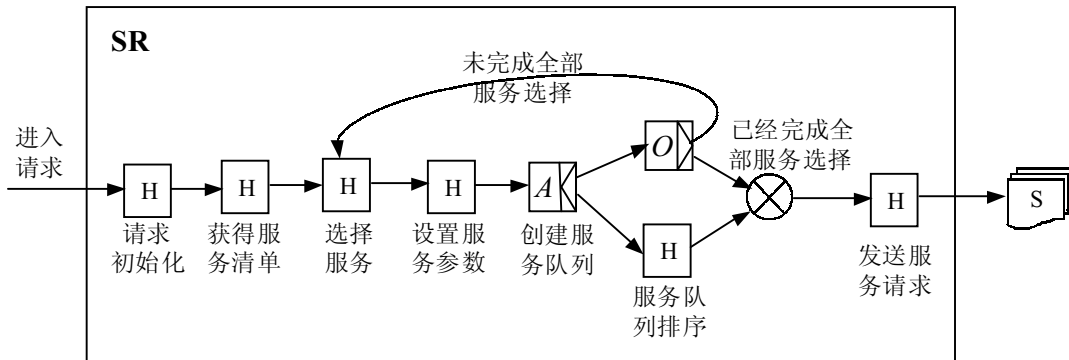


图5 简单请求节点的内部流程

② **简单请求与继续节点:** 图6给出了简单请求与继续节点的内部流程。这个节点与简单请求节点非常类似, 唯一的区别是在完成服务请求发送后, 该节点还触发另外一个活动, 从而触发了一个与服务流程并行的新流程。

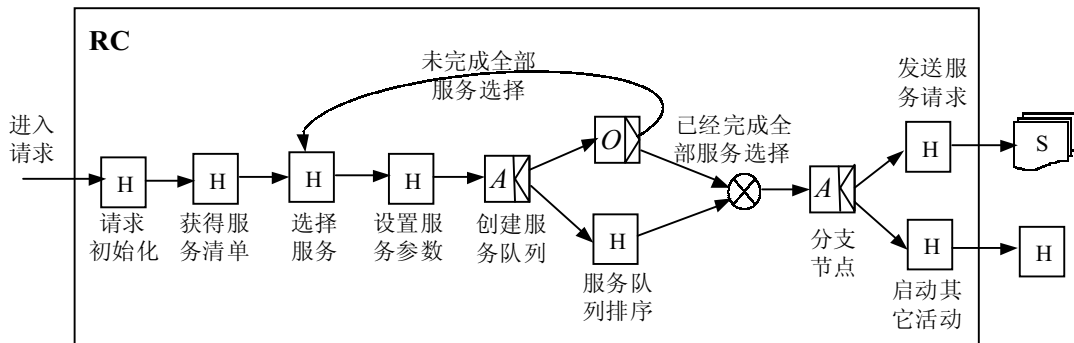



图6 简单请求与继续节点的内部流程

③ **请求等待节点:** 请求等待节点在发送完成服务请求后进入等待状态, 它需要得到服务节点返回执行结果。为了防止由于服务节点执行错误造成的无休止等待, 在请求/服务/等待的流程逻辑中需要引入等待超时时钟, 等待超时时钟由超时定义节点定义等待时间, 在超过等待时间后系统自动执行超时处理活动, 这样可以避免系统死锁等异常情况的发生。图7给出了请求等待节点的流程逻辑。其中图标  表示一个多实例化的显式或分支节点。

④ **请求等待与继续节点:** 该节点与请求等待节点流程逻辑基本类似, 所不同的是该节点在完成服务请求提交的同时触发另外一个活动, 形成与服务流程并行的流程。

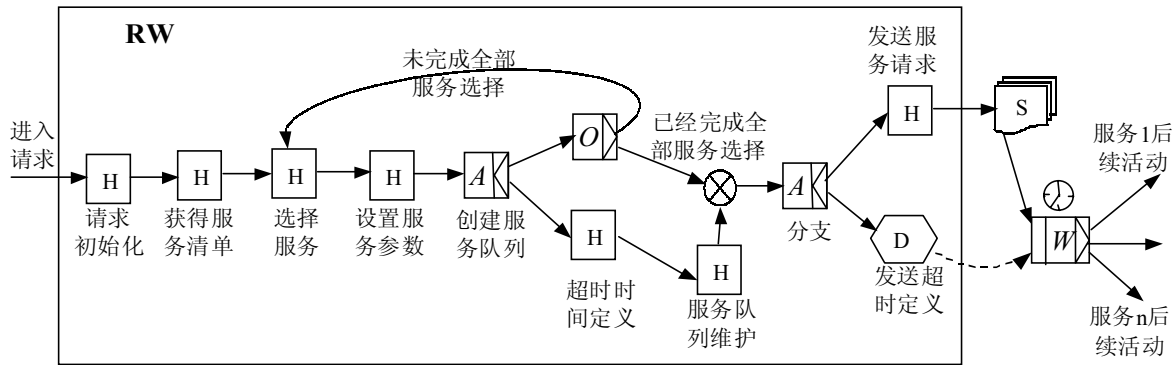


图7 请求等待节点的流程逻辑

4. 建模示例

本节以一个招标和评标过程为例, 采用本文提出的 workflow 建模方法建立其 workflow 模型, 如图 8 所示。招标和评标过程的一般活动主要包括标书准备、发标、接受标书、请评委评标、最后根据评委意见经过讨论确定中标单位。通过对图 8 给出的招标与评标过程的 workflow 模型进行分析, 并与传统的活动网络图建模方法相比较, 可以得出本文提出方法有以下特点:

- 1) 模型描述能力强, 结构简洁直观。对于用图 8 描述的招标和评标过程, 如果采用普通的活动网络模型, 则模型会变得非常庞大。比方我们用一个多事例化节点描述接收标书的活动, 在活动网络模型中需要定义至少 n 个活动来描述, 这不仅增加了模型的复杂性, 而且会引起用户不能够将精力集中到解决关键问题上。
- 2) 用本文方法所建立的模型具有良好的适应性和通用性, 可以很好地处理过程建模中需要考虑的不确定性问题, 如发标与送审服务节点中, 可以灵活地定义不同的服务方式 (如可以随时增加新的服务方式)、动态定义保证招标成功的最少招标单位数 n 、可以进入评标所需要收到的评审意见份数 m 、投标截止日期、评审意见截止日期等。这些动态定义的引入, 大大增强了 workflow 模型的通用性和适应性。在普通的活动网络模型中, 不同的 n 和 m 通常需要定义不同的 workflow 模型, 而对于发标和送审方式, 则必须首先定义好到底采用了那些方式, 如果有一种方式事先没有定义好, 则会导致模型执行过程中出现异常, 这种缺乏柔性的 workflow 建模方法在实际应用中, 给 workflow 管理系统的使用者造成了极大的不便。
- 3) 请求、服务、协调、多实例化节点的引入大大简化了建模过程, 增强了整个模型的可视性, 并且提高了用户对模型的理解。例如, 在图 8 中, 发标服务节点可以包括邮寄、传真、电子邮件、专送、自取等不同的发标方式, 而传统的活动网络模型必须对每种发标方式都定义一组活动流程, 导致模型复杂性增加。另外协调节点的引入给用户提供了自己定义协调策略、定义为了完成协调任务需要集成的 CSCW 工具、参与的人员、通信的方式等, 给用户灵活地利用 workflow 管理工具完成其特定业务提供了极大的方便。
- 4) 本文引入的反馈、协调、请求、服务机制更符合企业处理实际业务的习惯。

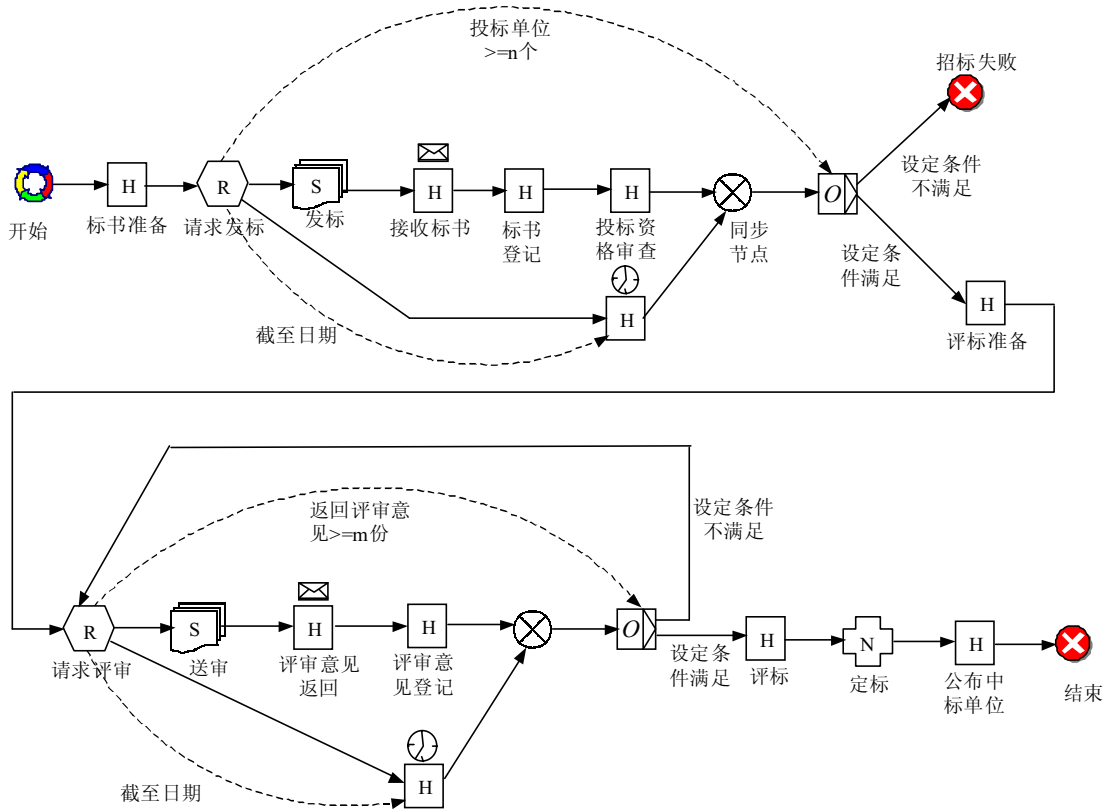


图 8 招标过程的工作流模型

5. 结论

虽然企业经营过程重组、过程管理与 workflow 管理技术已经受到了高度重视，市场上也出现了大量的 workflow 产品。但是，过程管理技术与 workflow 管理系统在企业中仍然没有得到广泛的应用，其重要原因之一是目前的工作流管理系统在模型描述能力以及灵活性和可靠性方面存在不足。

为此，本文提出了基于协调理论与反馈机制的工作流建模方法。在活动网络模型基本组成元素的基础上，增加了新的建模元素，并引入了新的建模机制。对招标评标过程的工作流模型的实例分析表明，本文所提出的建模方法具有描述能力强、模型直观简单、灵活性好和适应性强的优点，在此建模方法的基础上，设计与开发实用性好、可靠性高和处理不确定性能力强的柔性 workflow 管理系统将具有非常广泛的应用前景。由于本文提出的基于协调机制的工作流建模方法引入了比较复杂的协调和服务机制，这给 workflow 执行机的设计与实现增加复杂性，同样对于 workflow 管理系统在执行过程中的可靠性也提出了更高的要求。

参考文献

- [1] 范玉顺, 吴澄. 工作流管理技术研究及产品现状及发展趋势[J]. 计算机集成制造系统 CIMS, 2000, 6(1): 1-7.
- [2] Scholz-Reiter, B., Stichel, E. (Eds.). Business Process Modeling [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- [3] Van der Aalst, W.M.P., Van Hee, K.M. Business process redesign: A Petri-net-based approach [J]. Computers in Industry, 1996, 29(1-2): 15-26.

- [4] Medina-Mora, R., Winograd, T., Flores, R., et al. The action workflow approach to workflow management technology [A]. Proceedings of the ACM1992 Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW) [C], Toronto, Canada: 1992
- [5] Muth, P., Wodtke, D., Weissenfels, J., etc. Enterprise-wide workflow management based on state and activity charts [EB/OL], Available at: URL:http://paris.cs.uni-sb.de/public_html/papers/nato-wf.ps.
- [6] Alonso, G., Agrawal, D., Abbadi, A.E., et al. Advanced transaction models in workflow contexts [A]. Proc. of Intl. Conference on Data Engineering (ICDE) [C], New Orleans, USA: 1996
- [7] Malone, T. W., Crowston, K. What is coordination theory and how can it help design cooperative systems? [A]. Proc. CSCW'90 [C]. New York: ACM, 1990, 357-370.

Workflow Modeling Method Based on Coordination Theory

Fan Yushun, Wu Cheng

Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084

Abstract: In order to solve the problems of low description ability and flexibility existed in current workflow management systems, in this paper, a new workflow modeling method based on coordination theory and feedback mechanism is put forward. The proposed method extends the traditional activity network model and introduces new modeling mechanisms. Several new modeling elements, such as request node, service node, coordination node, and multiple instances node, are added to the modeling method. An example workflow model regarding bid and evaluation process is given. Research results shows that compared with traditional activity network model, the proposed method has significant advantages in enhancing description ability, reducing model complexity, and improving system flexibility and adaptability. The proposed method has important value in designing and developing workflow management systems with high reliable, flexibility, and adaptability.

Key words: Workflow model, Workflow management system, Coordination theory, Flexibility