

## 基于 workflow 管理方式的应用协作模块分析与设计\*

刘铁铭 范玉顺

清华大学 自动化系, 北京 100084

**摘要:** CIMS 应用集成平台是企业实施 CIMS 的有效支持工具。应用协作模块是 CIMS 集成平台的重要组成部分。它可以提高企业实施的 CIMS 的柔性和应变能力。本文主要研究了在 workflow 管理方法的支持下, 利用面向对象的技术, 进行应用协作模块总体设计的方法, 定义了应用协作系统的体系结构、需求模型和分析模型, 给出了应用协作的连接关系、用户接口的 Use Case 和 workflow 机组织方式。并讨论了应用协作模块在实现过程中的一些关键技术问题和解决办法。

**关键词:** CIMS; 应用集成平台; 应用协作; workflow 管理

### 1 引言

为了能够在更广泛的范围推广应用 CIMS 技术, 需要解决 CIMS 实施过程出现的令系统集成者感到棘手的问题, 这些问题主要有: 投资大而且实施周期长, 实施效率不高; 可靠性差; 扩展能力差, 难以维护, 制造环境的较小改变可能会引起原有系统的很大修改, 甚至全部重新设计; 可重用性差, 很多制造系统的软件是针对特定环境设计的, 难以重用。

国家 CIMS 工程技术研究中心正在进行 863/CIMS 主题重大攻关项目“CIMS 应用集成平台的研究和开发” [1, 2] 是克服这些困难一个解决方法。按照“软件总线”的构想, CIMS 应用集成平台致力于为企业提供一个实现信息集成和应用集成的软件框架环境, 它完成应用间的透明信息交换, 提供应用软件集成的机制和接口, 使得在异构分布环境下的应用软件可以通过该接口集成到平台上, 共享平台所拥有资源。采用集成平台可以大大降低集成的复杂度, 提高集成的有效性。

企业为了适应不断变化的市场需求, 必须经常调整自己的生产经营过程。为了提高企业运行的计算机集成制造系统的灵活性和使企业能够适应快速的市场变化, CIMS 应用集成平台除了提供以上所述功能外, 还必须提供应用协作功能。

应用协作系统一方面完成对集成平台环境中运行的不同应用之间的协调功能, 使企业的应用系统的管理实现程序化和规范化; 另一方面, 应用协作系统也是实现企业应用系统之间过程集成和企业经营过程重组的必要组成部分。在建立了应用协作模块后, 当需要对现有的生产经营过程进行调整时, 用户不必修改相应程序, 只需要修改相应的应用协作模型, 并可以在执行前, 基于应用协作模型对过程进行分析、优化, 这样大大提高系统的柔性和可靠性。

CIMS 应用集成平台中的应用协作系统的主要功能有:

- 1) 应用协作模型 (workflow 模型) 的建立;
- 2) 应用协作模型的实例化、运行及运行过程的监控管理;
- 3) 应用协作模型的用户接口, 包括任务发送、用户通知、日程提示、流程信息反馈等。

CIMS 集成平台为应用协作模块的实施提供了良好的基础条件, 它解决了底层的异构、数据分布等问题。应用协作模块系统可以利用集成平台提供的服务实现与其它应用或其内部各子系统之间的信息传递。本文主要研究了在 workflow 管理方法的支持下, 利用面向对象的技术, 进行应用协作模块总体设计的方法, 并在最后讨论了应用协作模块在实现过程中的一些问题和解决办法。

---

\* 863/CIMS 主题资助项目

## 2 workflow管理技术介绍

workflow管理技术是实现应用协作功能的一个良好方法。workflow管理系统最早应用于保险、金融等办公自动化流程。随着能够实现异种网络之间、异种数据库之间、异种操作系统之间的互操作技术的逐渐成熟，以及企业对跨部门、跨组织的协作的重视，workflow管理技术得到了迅速的发展

所谓workflow是根据一组定义的顺序规则，对生产经营过程的部分或全部的自动化。一个workflow包括一组活动及它们之间的连接关系，还包括过程的启动和终止条件，以及对每个活动的详细描述，如活动的执行者、相关的应用程序，需要和产生的数据等。而workflow管理系统则是用于定义workflow模型，建立workflow实例和管理workflow执行的系统。它通过运行一个或多个叫做workflow机的软件来解释过程定义，与workflow的参与者（人或应用）交互，推进workflow实例的执行，并监控workflow的运行状态。

workflow管理系统的实际应用可以提高系统的柔性和软件的重用性，并且可以增加工作过程的透明度，提高工作效率。利用workflow管理系统还可以对生产经营过程的合理性进行分析，从而为BPM（经营过程重组）提供支持。为了适应市场的多元化及实现不同workflow系统之间的集成，必须对workflow管理系统的主要功能的实施接口进行标准化。“workflow管理联盟”（简称WFMC）提出了一个workflow管理系统的参考模型，其中规范了有关workflow管理系统的相关术语，定义了workflow管理系统的结构及其与应用、管理工具和其它workflow管理系统之间的应用编程接口。依据该模型可以实现不同workflow管理系统之间的互操作，并且可使依据该结构和应用编程接口编制的客户端应用访问不同的workflow机提供的服务[3]。

从生产经营过程的角度出发，一个企业可以被视为由多个相互关联的不同层次的流程组成的网络。例如，顶层的“订货—采购—设计—生产—交货”流程，可以被分解为多个彼此相关的小流程，如产品设计流程、产品制造流程、销售经营流程等。这些流程相互之间有着顺序关系、资源共享等关联。在CIM信息环境下，这些流程可以被处理为多个相关的工作流。

通过以上的分析，我们认为，workflow管理可以作为CIMS应用集成平台中应用协作模块的实现技术。通过在CIMS应用集成平台上通过应用协作服务，可以大大提高企业的工作效率，提高系统的柔性和重用性。而且，为了使我们的系统具有较好的开放性，我们将在CIMS集成平台的应用协作支持环境中选择由WFMC定义的一系列系统结构、模型和应用编程接口作为我们设计和实施的依据。

## 3 应用协作模块的分析和设计

### 3.1 应用协作模块的体系结构分析

应用协作模块的设计参照WFMC提出的参考模型进行，从CIMS应用集成平台的需求出发，增强了任务表管理器的功能，由它统一负责workflow执行服务与建模工具、workflow管理工具、用户界面的接口，并改名为workflow管理器。这样统一接口可以减少开发和调试的工作量。而且，因为workflow管理器并不直接面对使用者，且对三类使用者都是相同的，在集成平台根据使用者的角色进行系统配置的动态裁剪时，workflow管理器可以保持不变，减少了裁剪的难度，增加了系统的稳定性。应用的激活也通过workflow管理器进行，而不由workflow机直接启动。

图1是应用协作模块的系统体系结构。应用协作模块系统的各部分功能如下：

- 1) workflow执行服务：由一个或多个workflow机组成，完成以下功能：
  - (1) 解释过程的定义。
  - (2) 生成过程实例，并管理其实施过程，包括开始、结束、挂起、恢复等。
  - (3) 依据workflow相关数据为过程的活动导航，包括顺序或并行操作、期限安排等。
  - (4) 生成任务项并填写到有关用户的任务表上，与用户交互通知，完成或其它状态信息。
  - (5) 维护workflow控制数据和workflow相关数据，并向用户传递必要的相关数据。
  - (6) 支持管理人员的控制、管理、监督。

- 2) 任务表：是工作流机为用户分配的任务项队列表。其中每个任务项应包含任务名称、任务内容，完成期限和其它为准确完成操作所必备的数据。
- 3) 过程定义：是计划人员向工作流执行服务提交的模型定义。
- 4) 工作流控制数据：包括工作流系统及其过程实例的动态信息，根据控制数据可以得到过程的执行轨迹，以支持管理员的监督、查询。如每个过程实例的状态信息（初始、运行、活动…）；每个活动实例的状态信息（准备、活动、挂起…）；每个实例的挂起、恢复等动作的时间等历史信息
- 5) 工作流相关数据：工作流执行服务依据模型定义所生成的过程实例的静态信息。它包括过程的属性、活动的属性和活动简单连接关系，以及每项活动的执行所需的具体信息。例如，分配给哪些人来完成、完成期限、执行时必要的的数据等任务项中所含信息。
- 6) 组织/角色模型：包括按照角色划分的工作人员的一系列信息，它将为模型定义及生成和管理过程实例提供参考。
- 7) 工作流管理器：工作流执行服务和工作流管理系统使用者之间的接口。在 WAPI 接口中定义了标准的调用，完成它与工作流机的通讯。
- 8) 用户界面：工作流用户处理如下的界面。用户选择该任务项后，通过用户界面发确认消息；否则，发放弃消息。工作完成后，发完成消息。
- 9) 管理工具：支持管理员进行以下操作：
  - (1) 工作流管理：改变过程实例的属性或状态，改变活动的属性或状态，改变过程定义，暂停、恢复、退出全部或部分过程实例。
  - (2) 工作流控制：竞争授权。
  - (3) 工作流监督：查看系统运行轨迹及现行状态，读取过程实例或活动实例的属性等细节信息。
- 10) 建模工具：为计划人员提供描述经营过程的工具。
- 11) 应用：工作流执行服务通过工作流管理器直接启动的应用，它可以部分或完全自动化的执行一个活动，或支持工作流用户完成某个任务项。

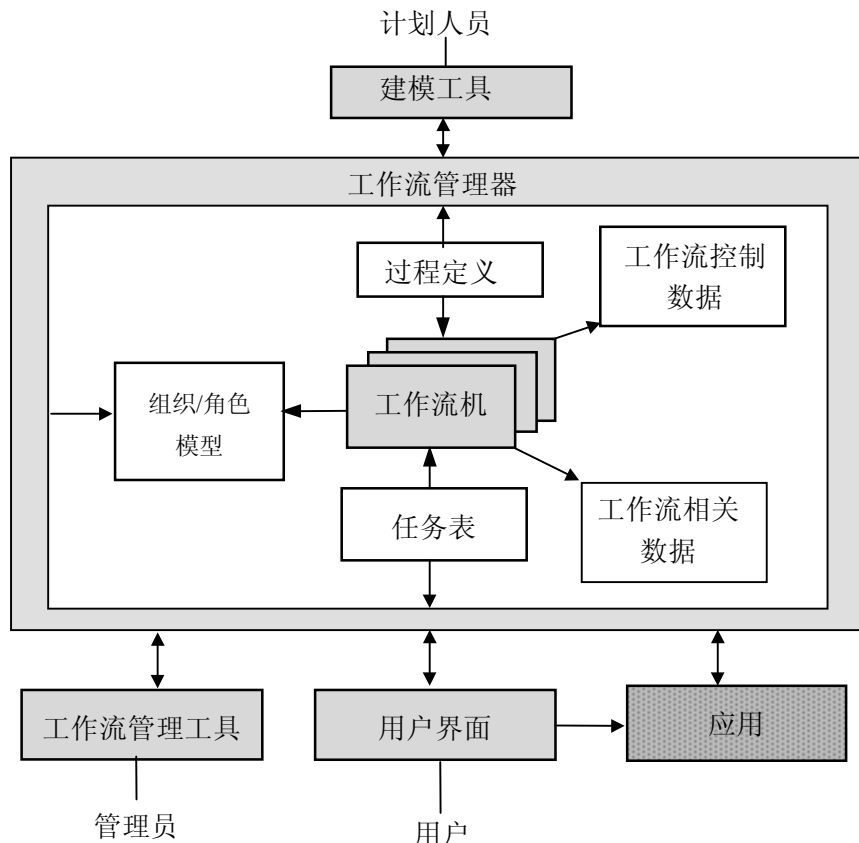


图 1 应用协调模块体系结构

### 3.2 应用协作模块系统设计

我们在进行应用协作模块的系统设计过程中采用了面向对象的系统分析和设计方法来获得系统的需求模型和分析模型。

1) 首先, 我们根据应用协作模块的体系结构划分, 获得应用协作模块的需求分析。

从我们确定的体系结构中可以看出, 应用协作模块主要向计划人员、管理员、用户这三类使用者提供支持。参照W F M C发布的文档, 结合C I M S应用集成平台的特点, 我们得到了应用协作模块的需求分析。下面我们以为编制模型定义的计划人员提供的建模工具为例, 简单介绍应用协作模块的需求分析。

应用协作模块的建模工具除了保证计划人员可以编辑模型定义的拓扑结构和填写模型中的属性这两项基本功能之外, 为了方便计划人员编制的模型更加准确、合理, 我们还应该提供以下功能:

(1) 在拓扑图的编辑过程中提供丰富的关系表达

为了让计划人员在建模的过程中能够方便、灵活地表达他的计划思想, 我们在建模工具中应该提供尽可能丰富的应用协作关系表达, 包括顺序、开发、竞争、选择、与、或、条件转移、跳转和三种类型的循环等连接关系表达, 以及开始、结束、暂停等控制表达。下面, 对其中几个连接关系加以简单说明:

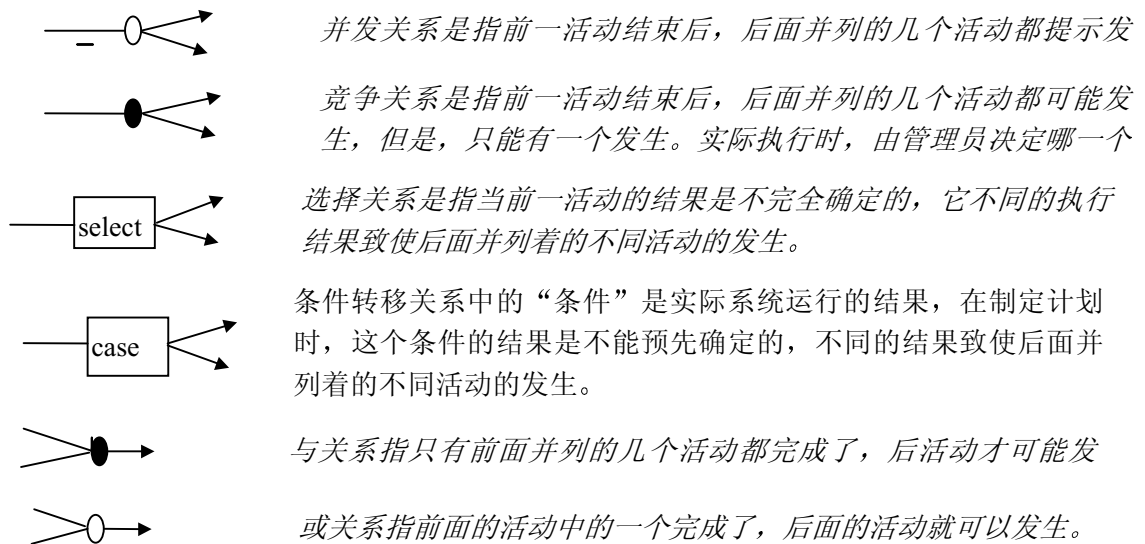


图2 workflow建模中几个连接关系及说明

(2) 提供模型的多种表示方式和多种视图

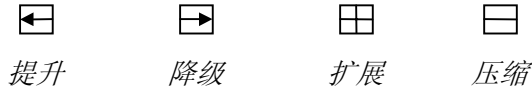
在对模型的执行过程进行描述的视图中, 除了拓扑图这种基本表示方法之外, 为方便计划人员对模型有清晰的、全面的了解, 还提供了表示活动随时间进展情况的GANTT图和显示活动信息的列表[4]。虽然, 这三种表示方法的形式并不相同, 但是, 它们只是对同一个模型定义数据的不同角度的提取和不同方式的表达, 因此, 可以做到这三种表示方式的一致。

另外, 在企业的经营过程中, 每一个任务的执行都会占用一些资源。这里所说的资源是广义的, 例如雇员、组织单元、机器设备等。因此, 单纯的一个描述活动之间关系的视图是无法包容企业经营的全部信息的, 这就需要其他几类视图, 如资源视图和组织视图来做补充。视图之间可以采用超文本连接方, 当用户需要了解模型定义中某一资源的属性和状态, 可以通过这一集成功能迅速获得其他视图的相关信息。多视图集成的实现依赖于IS(全局信

息系统)的支持下的对分布式的、异构的各种数据库与文件系统的全局一致透明访问。

(3) 提供对活动的概括功能

所谓概括,就是把一系列活动用一个父活动统一表示,这样,一系列活动就成为父活动下的子活动,从而达到分层次描述工作流程的目的。在应用协作模型中,概括的表示应该很简单,在拓朴图中,可以通过双击父活动,来查看其子活动;在按行显示活动信息的列表中,可以把子活动缩排在父活动之下。同时,提供几个简单的按钮来进行概括操作:



其中提升和降级可以改变某一个活动的级别,扩展用来显示父活动下一级的子活动,压缩的功能是隐藏父活动的子活动。

分层次描述工作流程是支持层次化建模的前提。企业结构的层次性决定了模型的层次性必须清晰。在集成平台逐步完善的过程中,我们有必要实现分层次的建立模型和执行过程。

(4) 提供分析工具

在应用协作模块中,建立对过程的评价体系是不可缺少的一环。为了帮助计划人员合理地改进计划,我们在应用协作模块中应该提供一系列的分析工具。分析的指标可以从时间、资源、数量、成本和个人等角度来考虑例如,例如寻找过程关键路径以及预计过程的资金和设备占用情况。分析的对象也可以分成从单个活动到整个过程等不同层次。

2) 在系统需求分析的基础之上,我们依据 Use Case 方法,建立系统的需求模型[5]。

需求模型是开发所有其它模型的基础,是整个系统开发中最重要的部分,同时,它也是生成用户手册的基础。我们通过需求模型用来确定系统的边界,决定系统将完成哪些功能。我们采用的 Use Case 方法就是从用户的视角出发,用“演员”及其“Use Case”建立了系统需求模型的。演员是系统以外的因素,是与系统交互的人员或其它系统的抽象模型。Use Case 是系统内部的描述,每个 Use Case 都是由演员引起的一个完整事件过程,描述了演员与系统之间的交互序列。由于 Use Case 是直接面向应用的,是简单易懂的,我们可以在其基础上与用户进行很好的合作和交流,为确定系统的功能打下良好的基础。

为提高持久性,用详细的界面描述向用户介绍 Use Case 通常比较合适。下面我们以 workflow 用户界面操作主流程的 Use Case 为例,介绍应用协作模块需求模型的设计。

workflow 用户操作主流程,界面见图 3。

- (1) 进入场景后任务表内显示用户当前需要完成的任务及任务的属性;
- (2) 每当有新任务到达时,任务表自动更新;
- (3) 每当有应用协作系统发来的通知信息时,将其附加在通知框的通知信息尾部;
- (4) 用户选中一项任务后选择任务处理菜单,进入任务处理场景,流程结束返回本场景;
- (5) 用户选择任务查询菜单,进入任务查询场景,流程结束后返回本场景;
- (6) 用户选择退出菜单,结束本场景。

3) 在需求模型的基础之上,采用 Booch 方法,提取出系统的类和对象,开发出系统的分析模型[6]。

分析模型是分析过程生成的第二个模型。它用来组成系统逻辑的、持久的结构。因为不考虑实际的实施环境,所以它是理想的、逻辑的。说它是持久的,因为它集中考虑系统的本质功能。分析模型用三类对象来构造系统:接口对象、实体对象和控制对象。接口对象是系统中所有与接口有关的功能的模型抽象。实体对象是系统用来处理需要长期保存的信息的功能的模型抽象。控制对象是接口对象和实体对象之外的功能的模型抽象。

开发分析模型的目的在于为进行系统设计生成应该良好的平台,成为设计的基础。在需

求模型中,我们已经描述了系统将发生哪些行为。开发分析模型的工作的实质是把分散在 Use Case 描述中的行为转化为分析模型中对象的操作。我们也可以把 Use Case 描述为对象形式,说明对象是如何支持 Use Case 的。这样的描述也有助于理解 Use Case 的行为是如何分散到对象上的。

下面,我们以工作流用户界面的设计为例,介绍应用协作模块分析模型。在设计过程中,我们根据用户界面的 Use Case 生成五个类作为分析模型的框架。



图 3 工作流用户操作主流程

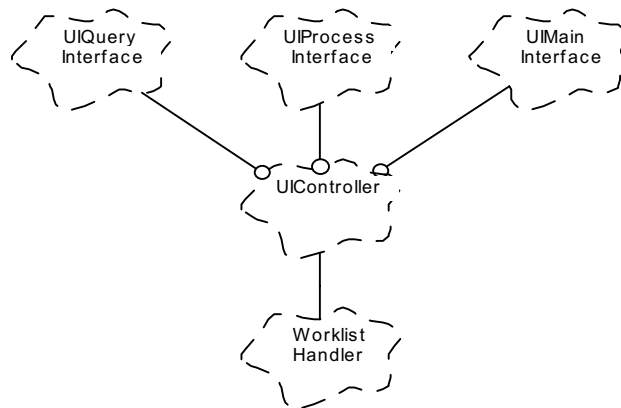


图 4 工作流用户界面的类设计

其中 UIQueryInterface、UIProcessInterface、UIMainInterface 是用户界面的实体对象类,它们分别对应用户界面的 Use Case 中的三个场景; UIController 是用户界面的控制对象类,它负责用户界面的实体对象的调度及与 workflow 管理器的交互; WorklistHandler 是接口对象类,负责客户端与 workflow 机的接口。

## 4 应用协作的实现技术

### 4.1 应用协作关系模型的数据结构

#### 1) 关系类型的归纳

为了计划人员工作的方便,我们提供给计划人员的关系表示中存在着冗余,但是提交给 workflow 机的模型定义应该比较简洁、整齐,因此我们有必要忽略一些细节的差别,对这些关系表示进行归纳。

通过逐步归纳,我们得到在提交的模型定义中可以只保留五种关系:条件转移、选择、并发、与、或。其它的关系表示,都可以看作这五种关系类型中某个特例。建模工具向工作

流机提交的过程定义中的连接关系就由这五种关系来表示。

## 2) 模型定义的数据结构

在应用协作模块中,过程实例、活动实例和模型定义都离不开活动及连接关系。连接关系包括前面归纳的五类关系类型和活动结点。活动结点只记录着活动的标识,通过标识工作流机可以找到记录着该活动所有信息的数据块。通过活动节点,实现连接关系数据和活动信息数据的分离,从而为将来的分布式执行提供方便。

一个活动的数据由三部分组成:开始条件,执行信息,结束条件。

(1) 开始条件:依照连接关系的指引,前一活动结束后,工作流机将其后继活动调入。在活动开始之前,要检查它的开始条件,只有全部满足了,该活动才能开始。开始条件包括三个方面:前活动约束、资源约束和优先权约束。前活动约束指顺序活动之间的约束关系。通常,只有前活动完成了,后活动才能被调入工作流机。资源约束里所说的资源是广义的,泛指前活动完成条件之外的一切制约本活动开始的条件。优先权约束指并列的几个活动之间约束关系。

(2) 执行信息:执行信息是一个活动的核心,说明了活动由哪些任务项构成以及每项活动的具体信息,例如,该任务应由哪些人来完成,完成期限,执行时所需的设备和必要数据等。

(3) 结束条件:一个活动开始执行后,工作流机开始定时地查询该活动的结束条件,以确定其是否完成。

结束条件包括三部分:任务项约束,资源约束,后继约束。任务项约束将指出哪些任务项的完成是本活动完成的必要条件。资源约束泛指除任务项约束之外的一切限制条件。例如只有对某些设备表示释放,才能结束本活动。后继约束,将指导工作流机在选择关系中确定下一个活动。如果后续活动不存在选择关系,此约束缺少为满足;否则,只有完成此操作,该活动才可以结束。

## 4.2 工作流机的组织

每台服务器上的工作流执行服务可以由两类工作流机组成。一类负责响应来自工作流管理器接口的所有消息,这类工作流机在工作流执行服务中是常驻的;另一类负责维护各自的过程实例的执行,它伴随过程实例的启动而产生,伴随过程实例的完成而消亡。

响应消息的工作流机进入消息循环后,根据消息的类型和发出请求的对象不同进行不同操作。

维护过程实例的工作流机生成后,首先创建该过程实例的控制数据,它从工作流相关数据中提取相应过程实例的活动连接关系到控制数据中,然后按照连接关系将活动实例依次调入工作流控制数据。每个活动执行完毕后,由该工作流机负责维护工作流相关数据中该活动的信息。

具体到一个活动的内部,工作流机的执行步骤如下:

- (1) 检查开始条件,通过后初始化活动的状态字,将活动置为 Active;
- (2) 从工作流相关数据取得活动细节信息,并依据它宣布对某些重要共享资源的占用,即修改相关数据中该资源的状态;
- (3) 向任务表中填写工作项;
- (4) 等待工作人员的信息答复,如确定和完成等。如在限定时间内未收到,发出催促消息,直至报警;
- (5) 任务结束后,释放资源,填写后继情况表,置活动状态为 Complete;

这种组织方式首先带来的好处在于,它能够方便的对活动的分层次执行进行描述。如果过程实例中一个活动是由一系列子活动组成的,则可以视之为子过程,在该活动的执行过程

中创建一个子工作流机负责维护这个子过程。

其次,这种组织方式的优势在于支持应用协作模块的分布执行,我们可以方便地把活动的执行分布到多台服务器上。如果我们把分布在某个服务器上的活动组视为一个子过程,那么这些活动的执行就可以由维护主过程的工作流机在这台服务器上创建的子工作流机来完成。

## 5 结论

提供了应用协作模块后,CIMS应用集成平台的柔性和应变能力将获得很大的提高。本文着重讨论了基于工作流管理技术,用面向对象的方法,进行集成平台应用协作模块系统设计的方法。并对应用协作模块在实现过程中将遇到的问题提出了解决办法。

另外,在应用协作模块的实现过程中,为了减少开发的难度和工作量,还应注意以下两个问题:

- (1)应用协作模块要充分利用有集成平台底层提供的通讯服务。
- (2)把WFMC定义的一系列系统结构、模型和应用编程接口作为实施依据。

## 参考文献

1. 范玉顺,吴澄,石伟.“CIMS应用集成平台技术发展现状与趋势”.《计算机集成制造系统—CIMS》. Vol.3, No.5, 1997, pp.3-8.
2. 范玉顺,吴澄,俞盘祥,黄涛等.“制造业CIMS应用集成平台总体设计与原型系统开发”项目总体设计报告.技术报告.1997年8月,北京.
3. Workflow Management Coalition. The Workflow Reference Model, [WfMC1003] WFMC TC00-1003, 1994
4. 袁全超等译,电子工业出版社,Microsoft Project 项目管理软件使用教程,1993
5. I. Jacobson, Object-Oriented Software Engineering: a Use Case Driven Approach, Addison-Wesley Pub, 1992
6. G.Booch, Object-Oriented Analysis and Design with Applications, Second Edition, Addison-Wesley Pub, 1994

## The Analysis and Design of Application Coordination Module Based on Workflow Management Method

Liu Tieming      Fan Yushun

Dept. of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084

**Abstract:** CIMS application integration platform is an effective supporting tool for the rapid implementation of CIMS in manufacturing enterprises. Application coordination module is an important part of CIMS application integration platform. It can improve the flexibility and agility of CIMS of the enterprises. In this paper, the application coordination system is designed using workflow management technology and object-oriented method. The system architecture, requirements model and analysis model are defined. The connection relationships, Use Case of the user interface and organization mechanism of the workflow engine are given. Some key technologies for realizing application coordination module are presented, some solutions are also given.

**Key words:** CIMS; Application Integration Platform; Application Coordination;



Workflow management