

时态 workflow 模型研究



中山大学软件学院

余阳 教授

yuy@mail.sysu.edu.cn

主要内容

1. 课题来源与研究背景
2. 国内外相关研究现状与分析
3. 研究的目标和意义
4. 时态信息表示及演算
5. 时态工作流程过程元模型
6. 时态 workflow 模型
7. 过程模型的合理性分析与验证
8. 案例分析
9. 总结与展望

主要内容——来源与背景

1. 课题来源与研究背景
2. 国内外相关研究现状与分析
3. 研究的目标和意义
4. 时态信息表示及演算
5. 时态工作流过程元模型
6. 时态工作流模型
7. 过程模型的合理性分析与验证
8. 案例分析
9. 总结与展望

1.课题来源与研究背景

●课题来源

- 时态工作流过程模型及其柔性研究（国家自然科学基金编号：60573160）；
- 时态工作流模型研究（广东省自然科学基金 编号：04009746）。

●研究背景

- 随着企业竞争的加剧和政府提高效率的迫切需要，对 workflow 产品的时效性、灵活性、可靠性提出了更高的要求；
- 本文研究以提高 workflow 产品时效性为目的，对现有 workflow 模型在时间建模方面进行扩充和完善。

主要内容——相关研究现状

1. 课题来源与研究背景
2. 国内外相关研究现状与分析
3. 研究的目标和意义
4. 时态信息表示及演算
5. 时态工作流过程元模型
6. 时态工作流模型
7. 过程模型的合理性分析与验证
8. 案例分析
9. 总结与展望

2.1 国内外代表性的工作流过程模型

- 基于有向图模型：直观、易理解，比较简单，不能处理复杂的过程逻辑，缺乏柔性。
- 基于对话的工作流模型：着重支持员工或团队间的通信，与标准工作流有较大差异。
- Petri网模型：WF-net**，由于Petri网良好的理论基础，这类模型已成为当前研究普遍采用的工具。
- 基于ECA规则的工作流模型：这种模型可以较好地处理工作流的柔性。
- 多维工作流模型：不仅明确地表达业务过程中的活动以及活动间的关系，而且还对活动间所传递的信息、活动的执行实体、活动所需要的资源等方面进行定义。**R/T-net、WDRF、3DWFN、WF-RAPN**等等

2.2 与时间相关的工作流问题的研究

- 基于有向图模型的扩展
- 基于**Petri网**模型的扩展：**TWF-net**、**XTWF-net**，定性、定量分析。最为活跃。
- 基于时态逻辑的过程模型：非相邻活动间的时间约束。
- 时间表达基础问题的研究：**Combi**较全面地分析了工作流三个维度的时间属性，并指出可以用时态数据库的事物时间和有效时间来存储这些信息。
- 其它值得注意的与时间因素相关的研究：工作流**Qos**问题、分布式工作流、网格工作流中的时间问题。

2.3 相关研究的不足之处

- 基础模型及问题研究薄弱。主要表现在对时间系统的规范化模型、工作流元模型及其时间属性的研究较少。
- 非系统性和局部化：目前对 workflows 时间约束的研究主要集中在过程建模上，并基于这些过程模型分析活动/过程的时间约束和时序约束，主要目的是提高 workflows 的执行效率，而对有效性问题的研究比较薄弱。
- 相关问题研究较少：缺乏系统地研究时间因素对 workflows 柔性、异常处理等相关问题的影响。

主要内容——目标和意义

1. 课题来源与研究背景
2. 国内外相关研究现状与分析
3. 研究的目标和意义
4. 时态信息表示及演算
5. 时态工作流过程元模型
6. 时态工作流模型
7. 过程模型的合理性分析与验证
8. 案例分析
9. 总结与展望

3.1 时态 workflows 的概念

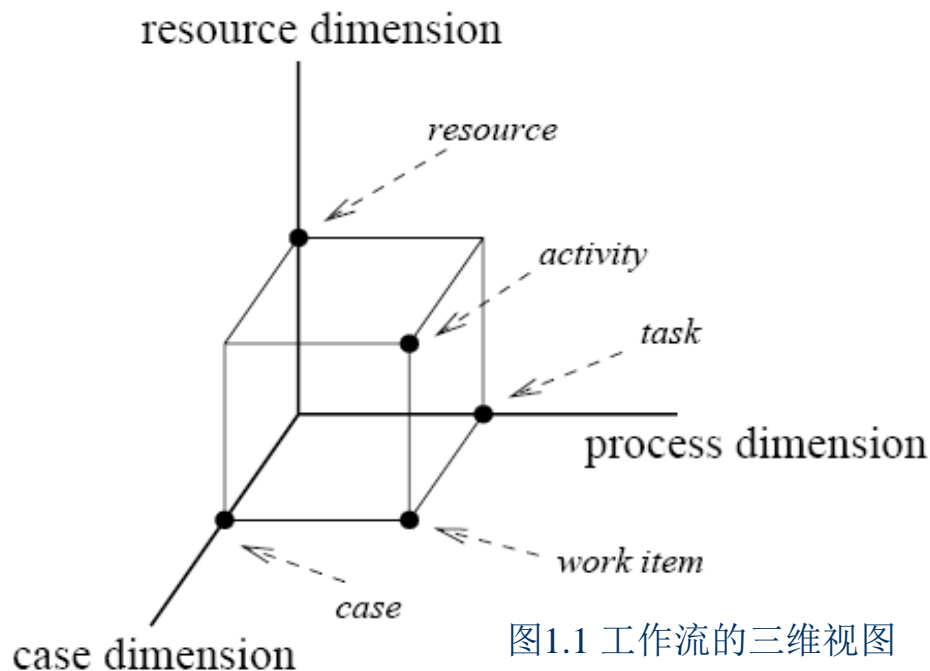


图1.1 工作流的三维视图

【定义1.1】（时态工作流，Temporal Workflow）时态工作流就是将时间作为一个维度引入工作流系统，全面、系统地研究工作流系统中各元素及元素间关系的时态特性及其规律。

●与目前所见到的“时间工作流”、“时间约束的工作流”、Time Workflow、Timed Workflow等区别开来：

- 基于时态信息处理领域成果的时间信息规范化表示和处理
- 时间作为一个维度全面引入

3.2 研究目标

- 目标
 - 建立时态工作流程元模型
 - 建立时态 workflow 模型
 - 提供对过程模型进行合理性分析和验证的方法
- 有关范围的约定
 - 本文研究的模型只支持集中部署的WFMS
 - 本文讨论的模型是以支持人工协作的WFMS为目的的

注：WFMS—— workflow 管理系统

3.3 研究的意义

- 在理论上意义：
 - 丰富和完善 workflow 基础理论的研究
 - 促进 workflow 相关问题的研究和发展
 - 促进相关学科的发展
- 应用前景：
 - 时态 workflow 产品是电子政务的重要技术基础
 - 时态 workflow 产品是电子商务的重要基础平台
 - 时态 workflow 产品是企业信息化的重要基础平台

主要内容——时态信息表示及演算

1. 课题来源与研究背景
2. 国内外相关研究现状与分析
3. 研究的目标和意义
4. **时态信息表示及演算**
5. 时态工作流过程元模型
6. 时态工作流模型
7. 过程模型的合理性分析与验证
8. 案例分析
9. 总结与展望

4.1 时间系统

- 时间模型主要有四种：连续模型（Continuous Model）、步进模型（Stepwise Model）、离散模型（Discrete Model）、恒定模型（Non Temporal Model）。
- 基本概念：时间点、时间量子、时间轴、时间基准点、时间粒度
- 【定理2.1】时间轴 A_t 是全序的，且与 $\langle I, \leq \rangle$ 同构，其中 I 是整数集合。
- 【定义2.2】时间系统 $T = \langle I, C, dtm \rangle$ 。

4.2 基本时态信息元素

- 三种基本的时态信息元素类型
 - 时间点TimePoint
 - 时间区间TimeInterval
 - 时间距离TimeSpan
- 两个特殊的时间元素
 - Now，它表示当前时间
 - UC，即Until Changed，表示直到相关信息被更新。

4.3 时态信息演算

- 时态信息关系运算
 - 时间点之间的关系运算（6种）
 - 时间区间之间的关系运算（7种）
 - 时间区间与时间点之间的关系运算（5种）
 - 时间距离之间的关系运算（6种）
- 时态信息算术运算
 - 时间点之间的算术运算（1种）
 - 时间点与时间距离之间的算术运算（2种）
 - 时间距离之间的算术运算（3种）
 - 时间区间与时间距离之间的算术运算（2种）
 - 时间区间之间的算术运算（1种）
 - 时间距离与整数之间的算术运算（2种）
- 常用的时态信息计算函数

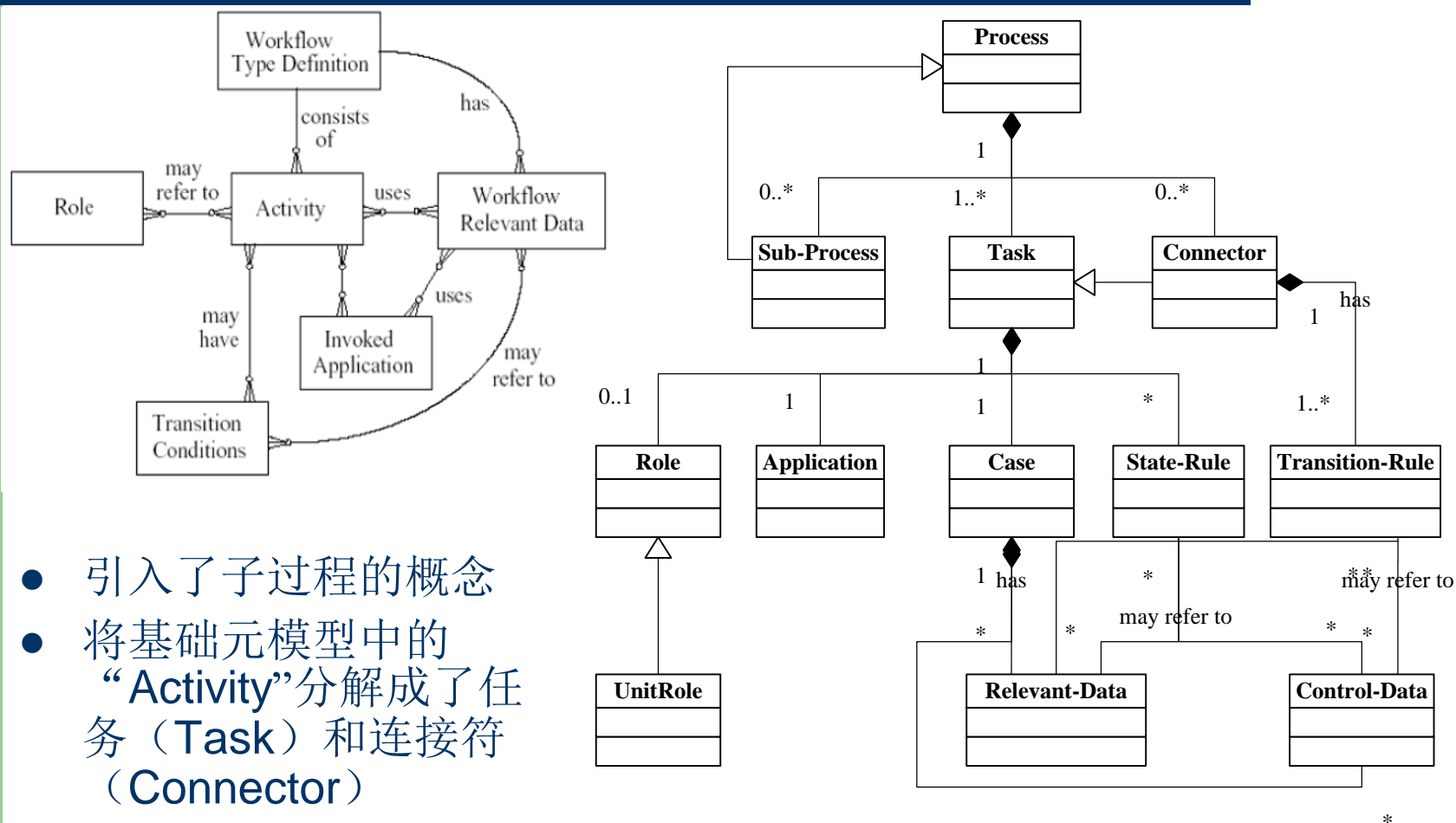
4.4 绝对时间和相对时间

- 参照基准点
- 相对时间点 **OTimePoint** , 记作 p_{rtm}
- 相对时间区间 **OTimeInterval** , 记作 $[tm, tM]_{rtm}$
- 相对时间到绝对时间的转换函数 **abs()**:
 - $abs(p_{rtm}) = p + rtm$;
 - $abs([tm, tM]_{rtm}) = [tm+rtm, tM+rtm]$ 。

主要内容——时态工作流程过程元模型

1. 课题来源与研究背景
2. 国内外相关研究现状与分析
3. 研究的目标和意义
4. 时态信息表示及演算
5. 时态工作流程过程元模型
6. 时态 workflow 模型
7. 过程模型的合理性分析与验证
8. 案例分析
9. 总结与展望

5.1 一个扩展的工作流过程元模型



- 引入了子过程的概念
- 将基础元模型中的“Activity”分解成了任务（Task）和连接符（Connector）
- Task, Role&UnitRole, Case

图3.2 过程定义元模型

5.1 一个扩展的工作流过程元模型

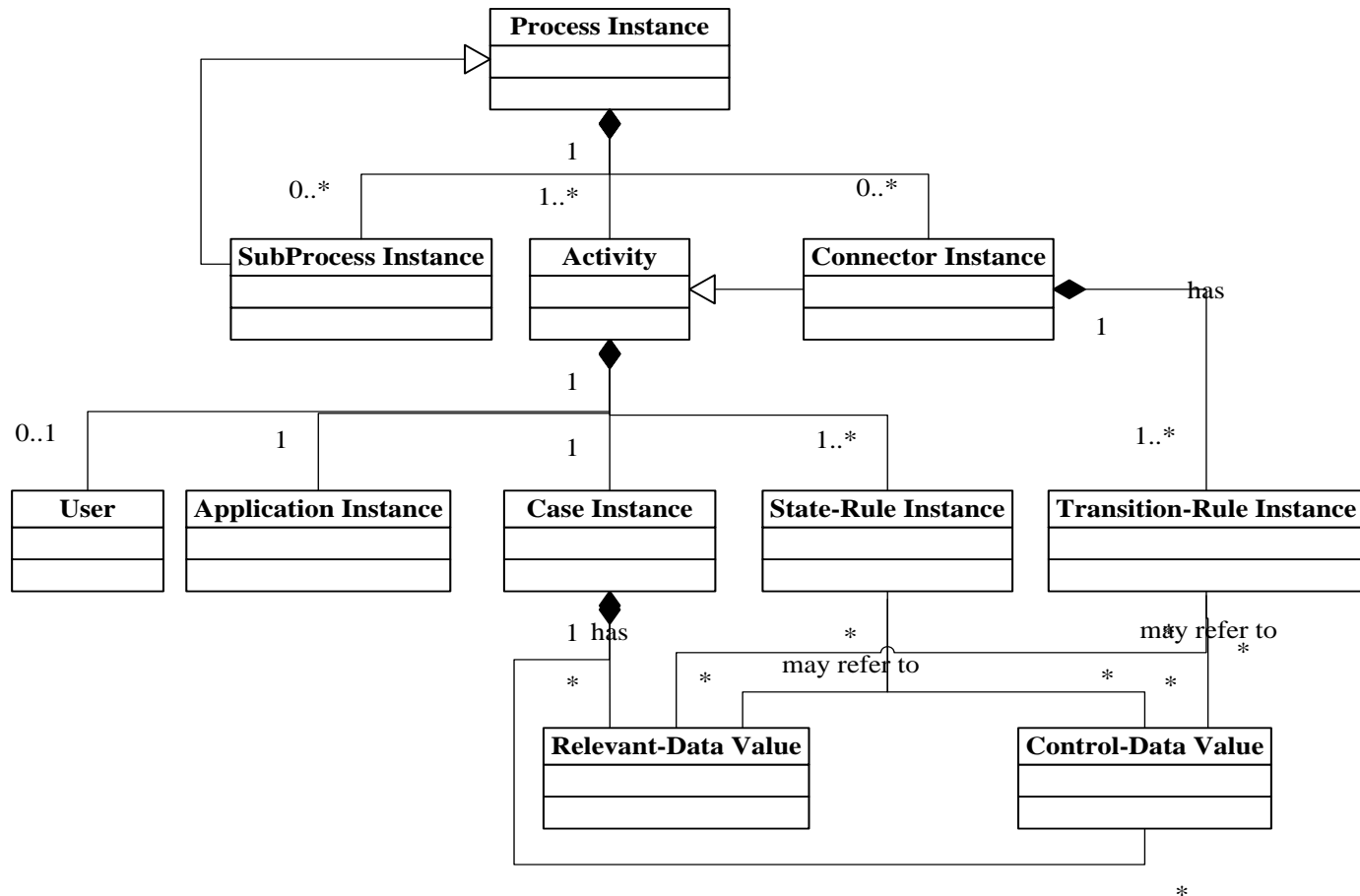


图3.3 过程执行元模型

5.2 过程元模型的时间属性分析

●过程的时间属性

- 版本创建时间(*CreTime*): *TimePoint*
- 版本有效时间(*ValidTime*): *TimeInterval*
- 实例化时间(*ICreTime*): *TimePoint*
- 实例有效时间(*IVValidTime*): 即过程处理的时间约束, *OTimeInterval*类型

●任务的时间属性

- 版本创建时间(*VerCreTime*): *TimePoint*
- 版本有效时间(*VerValidTime*): *TimeInterval*
- 调度延迟时间(*ScheduleDelay*): *OTimeInterval*;
- 触发延迟时间(*FireDelay*): *OTimeInterval*
- 执行延迟时间(*ExecuteDelay*): *OTimeInterval*

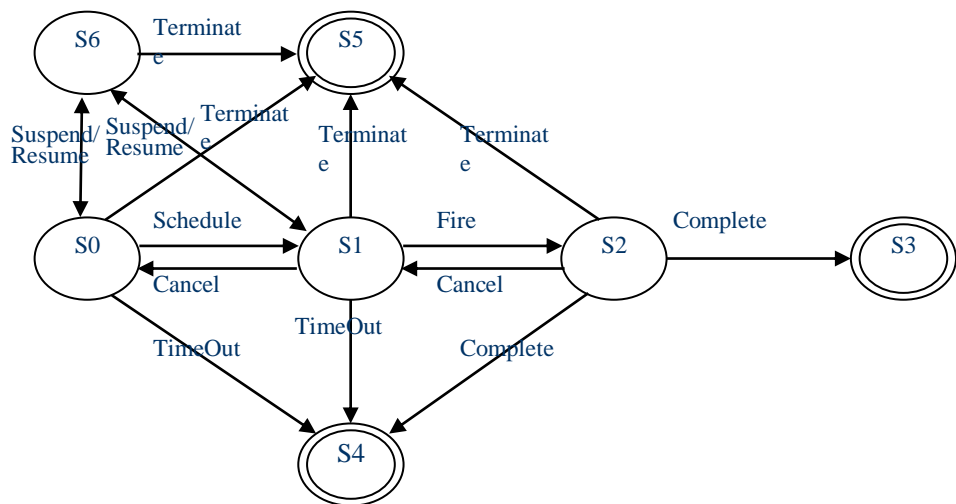
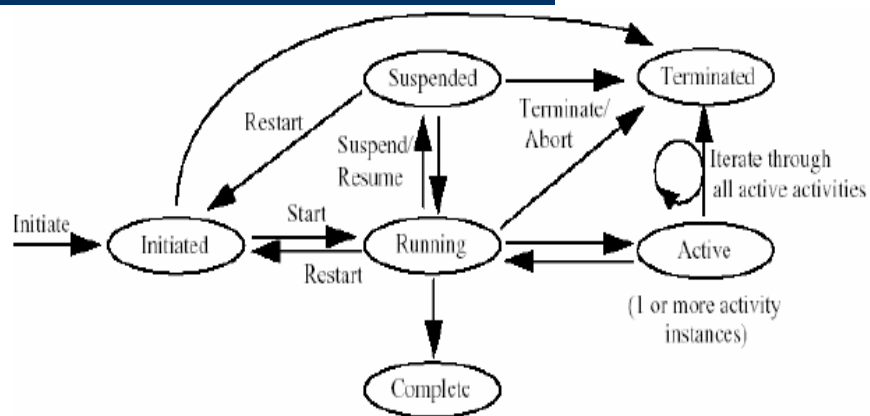


图3.7 改进的活动状态转换图

5.2 过程元模型的时间属性分析

- 角色的时间属性
 - 设立时间: *TimePoint*类型
 - 有效期: *TimeInterval*类型
- 应用程序的时间属性
 - 安装时间: *TimePoint*
 - 有效期: *TimeInterval*
- 数据的时间属性
 - 案例的创建时间 (*CreateTime*) : *TimePoint*类型
 - 案例的有效时间 (*ValidTime*) : *TimeInterval*类型
 - 案例就绪时间 (*ReadyTime*) : *TimePoint*类型
 - 调度完成时间 (*ScheduleTime*) : *TimePoint*类型
 - 触发时间 (*FireTime*) : *TimePoint*类型

5.2 过程元模型的时间属性分析

- 规则的时间属性
 - 创建时间: *TimePoint*类型
 - 有效时间: *TimeInterval*类型
- 分析结论
 - 时间属性在 workflow 元素中普遍存在
 - 最常见的时间属性是创建时间和有效时间
 - 定义期常用相对时间类型, 运行期常用绝对时间类型

5.3 时态工作流程过程元模型

- 【定义 3.1】（过程）一个工作流的过程 $P = \langle \text{Pid}, \text{Pn}, \text{Ver}, \text{PUS}, \text{F}, \text{CT}, \text{VT} \rangle$
- 【定义 3.2】（过程实例）一个过程实例 $I(P) = \langle \text{Ipid}, \text{Pid}, \text{IPUS}, \text{F}, \text{s}, \text{puid}, \text{CT}, \text{VT} \rangle$
- 【定义 3.3】（任务）一个任务 $T = \langle \text{Tid}, \text{Tn}, \text{Ver}, \text{Pid}, \text{Rid}, \text{Cid}, \text{APid}, \text{CT}, \text{VT}, \text{RS} \rangle$
- 【定义 3.4】（任务实例）一个任务的实例，即活动 $A = \langle \text{Aid}, \text{Ipid}, \text{Tid}, \text{Uid}, \text{Cid}, \text{APid}, \text{CT}, \text{VT}, \text{SD}, \text{FD}, \text{ED}, \text{RS}, \text{s} \rangle$
- 【定义 3.5】（连接符）连接符 $C = \langle T, \text{TS} \rangle$
- 【定义 3.6】（连接符实例）连接符实例 $I(C) = \langle A, \text{TS} \rangle$
- 【定义 3.7】（角色）一个角色 $R = \langle \text{Rid}, \text{Rn}, \text{CS}, \text{CT}, \text{VT} \rangle$
- 【定义 3.8】（用户）一个用户 $U = \langle \text{Uid}, \text{Un}, \text{CS}, \text{CT}, \text{VT} \rangle$
- 【定义 3.9】（应用程序）一个应用程序 $AP = \langle \text{APid}, \text{APn}, \text{Type}, \text{Loc}, \text{CT}, \text{VT} \rangle$
- 【定义 3.10】（案例）一个案例 $\text{CASE} = \langle \text{Cid}, \text{ADid}, \text{RDataList}, \text{CDataList}, \text{CT}, \text{VT}, \text{RT}, \text{ST}, \text{FT} \rangle$
- 【定义 3.11】（规则）一条规则 $\text{RL} = \langle \text{RLid}, \text{E}, \text{C}, \text{A}, \text{CT}, \text{VT} \rangle$

主要内容——时态 workflows 模型

1. 课题来源与研究背景
2. 国内外相关研究现状与分析
3. 研究的目标和意义
4. 时态信息表示及演算
5. 时态 workflow 过程元模型
6. 时态 workflow 模型
7. 过程模型的合理性分析与验证
8. 案例分析
9. 总结与展望

6.1 时态 workflows 模型

- 时态 workflows 模型是相关WFMS开发的理论基础。
- 组成 workflows 的元素分为五个维度：过程、案例（信息）、资源、工具（应用程序）和时间。
- 时态 workflows 模型分为四个子模型
 - 过程模型
 - 信息模型
 - 资源模型
 - 应用程序模型
- 过程模型将信息、资源、应用程序等元素集成在一起，是时态 workflows 的核心模型。

6.2 过程模型——概念映射

● workflows 概念到模型元素的映射

➤ 案例与托肯

- ❖ 托肯作为业务对象在过程模型中的代表，托肯被赋予独立的时间属性。数据不仅仅是被动的因素，它是有生命的。

➤ 任务与变迁和库所

- ❖ 调度前的任务（无论是业务任务还是连结符）被映射为库所，调度后的业务任务被映射为普通变迁，调度后的连结符被映射为路由变迁。
- ❖ 任务的时间属性分别赋予库所和变迁

➤ 任务间的依赖关系与弧

- ❖ 弧的权值恒为1

➤ 资源及工具的映射

- ❖ 作为变迁的属性

6.2 过程模型——时态 workflow 网 TPWF-net

• **【定义4.11】**（时态 workflow 网，TPWF-net）一个 TPWF-net 是一个三元组 $TPN = \langle P, T, F \rangle$ ，其中：

- P 是库所的有限集合， T 是变迁的有限集合，并满足： $P \cap T = \emptyset$ 且 $P \cup T \neq \emptyset$ ； $\exists i, o \in P, \bullet i = \emptyset, o \bullet = \emptyset$ ，并且每一个节点 $x \in P \cup T$ 都位于从 i 到 o 的一条路径上；
- $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ 是弧集合，并且 $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = P \cup T$ ；
- $T = T_p \cup T_r$ ，并且 $T_p \cap T_r = \emptyset$ 。其中， T_p 是普通变迁的集合， T_r 是路由变迁的集合；
- 对于 $\forall t \in T$ ， $t = \langle FD, ED, U, AP, ECA, \text{guard}(), s \rangle$ ；
- $\forall t \in T_p$ ： $|\bullet t| = 1 \wedge |t \bullet| = 1$ ，ECA 规则集包含了业务活动状态的转移规则；
- $\forall t \in T_r$ ：ECA 规则集包含了管理活动状态的转移规则以及活动间的转移规则；
- 对于 $\forall p \in P$ ， $p = \langle SD, ECA, TK, s \rangle$ ；
- 对于 $\forall tk \in TK$ ， $tk = \langle CT, VT, RT, ST, FT, RDataList, CdataList, s \rangle$

6.2 过程模型——TPWF-Net的动态语义






- **【定义4.12】**（库所的可用， Available）
- **【定义4.13】**（普通变迁的使能Enabled、可点火Firable）
- **【定义4.14】**（普通变迁的实施Fire）
- **【定义4.15】**（路由变迁的使能Enabled、可点火Firable）
- **【定义4.16】**（路由变迁的点火/实施（Fire））

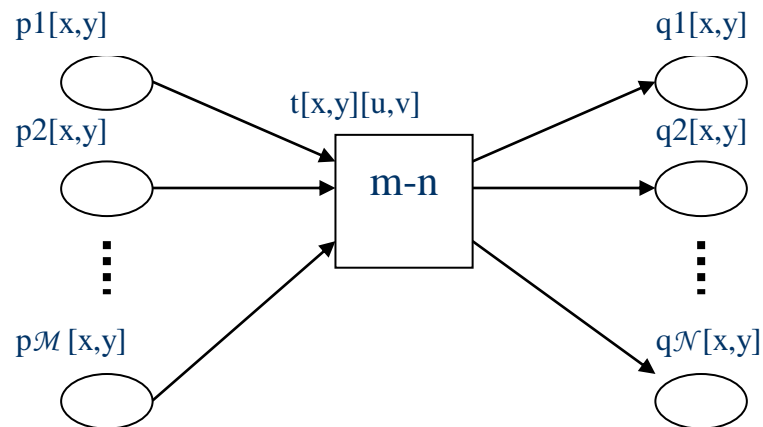
通过定义可以得出：

- 普通变迁的动态语义是路由变迁的特例
- TPWF-net虽然在静态结构上可以对应一个结构相同的WF-net，但在动态语义上却有很大不同。 $t(M, N, (m, n))$

6.2 过程模型——TPWF-Net的图形表示

- TPWF-net的基本图形符号：表4.1
- TPWF-net的基本路由结构符号：表4.2
 - 通用路由结构
 - 常用路由结构
 - ❖ 顺序路由结构
 - ❖ AND-split
 - ❖ AND-join
 - ❖ OR-split
 - ❖ OR-join

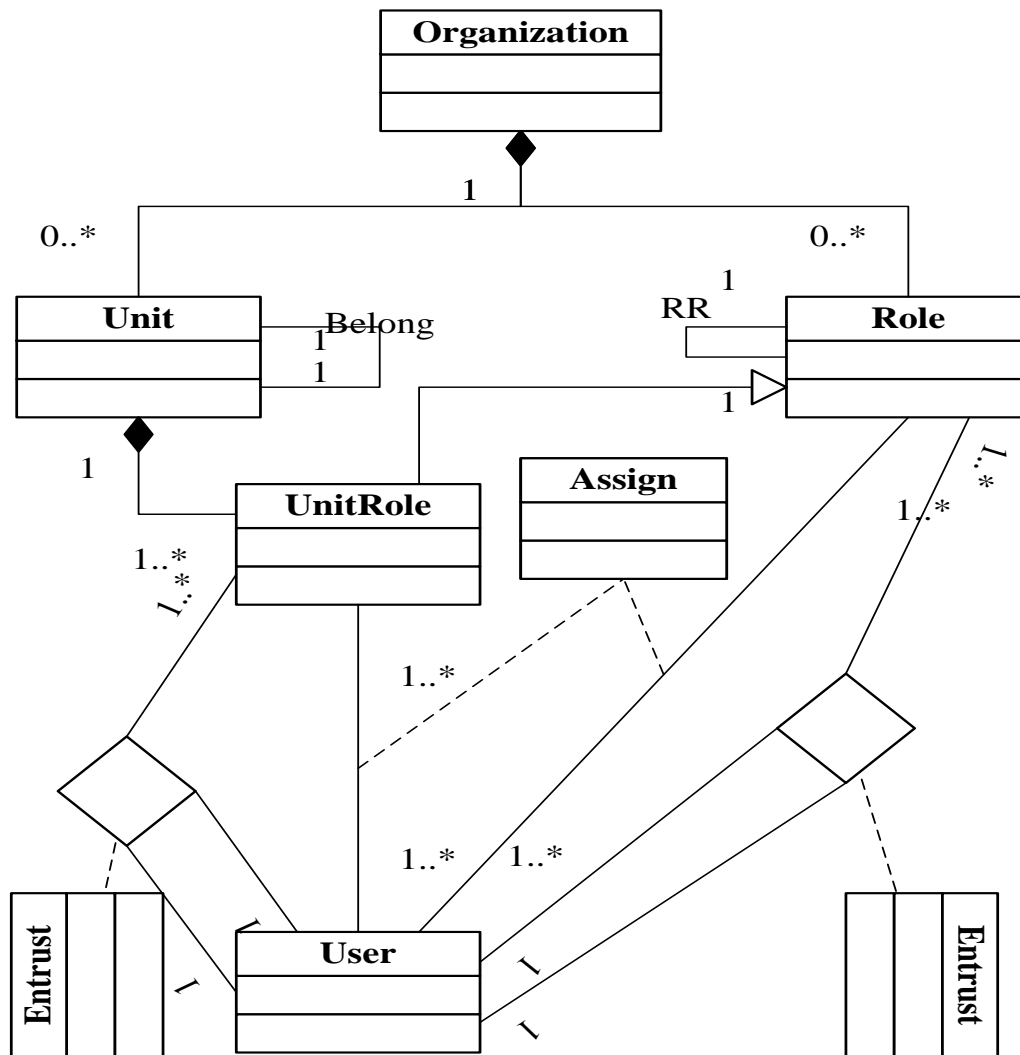
元素名称↵	图形符号↵
拖肯↵	$[x,y]$ ↵ 
库所↵	$p[x,y]$ ↵ 
普通变迁↵	$t[x,y][u,v]$ ↵ 
路由变迁↵ $t(\mathcal{M}, \mathcal{N}, (m, n))$ ↵	$t[x,y][u,v]$ ↵ 
弧↵	



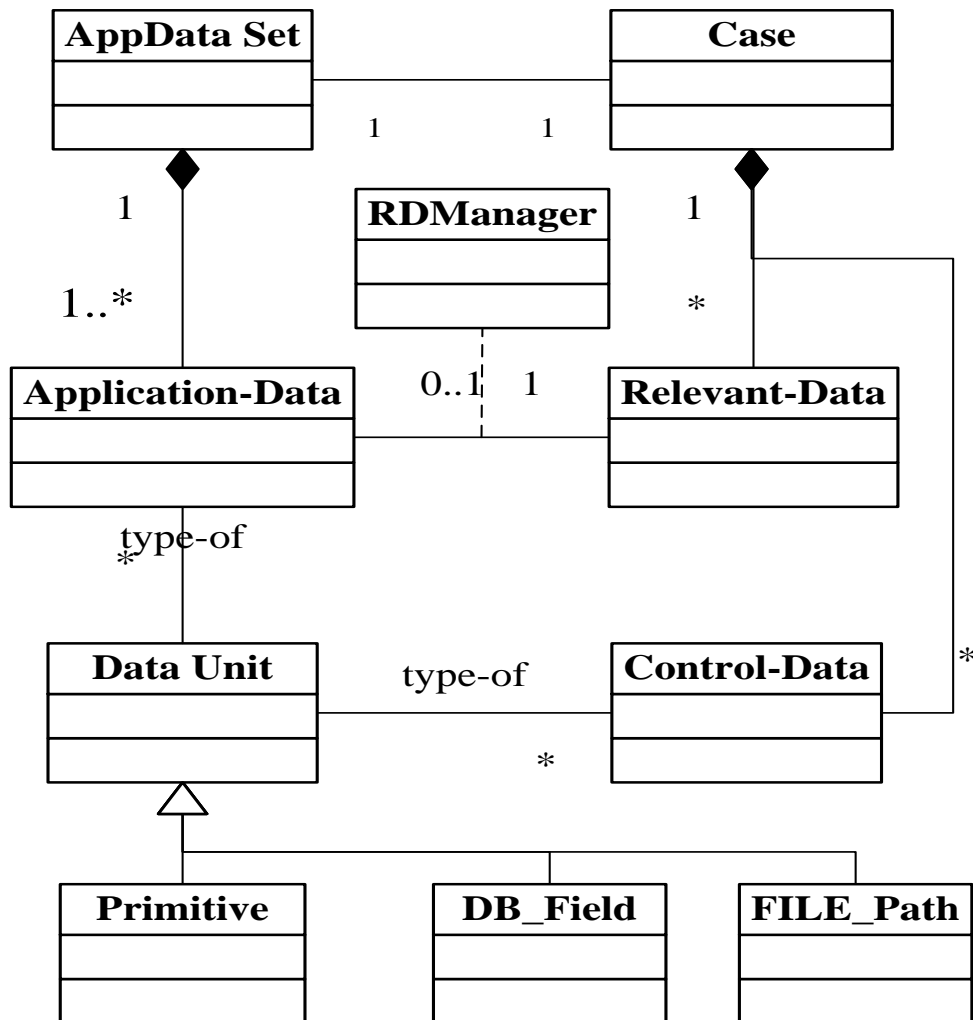
6.2 过程模型——TPWF-Net的建模步骤

- ① 根据业务需求，用有向图描述任务及任务间的依赖关系。
- ② 任务分解，用基本符号和路由结构描述模型。
- ③ 分析业务需求中的时间约束，并对模型进行时间属性标注。
- ④ 根据需要添加超时异常处理。
- ⑤ 描述路由变迁的路由规则。
- ⑥ 对模型进行合理性分析。

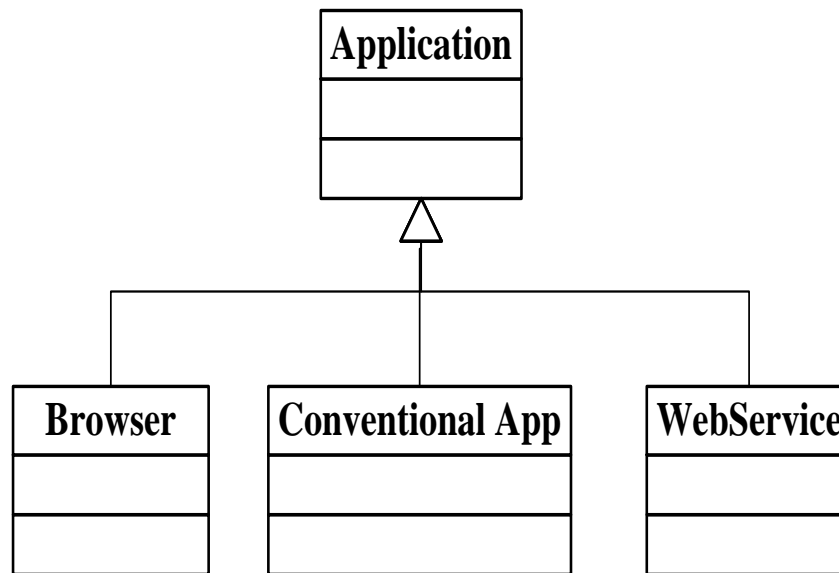
6.3 资源模型



6.4 信息模型



6.5 应用程序模型



主要内容——过程模型的合理性分析与验证

1. 课题来源与研究背景
2. 国内外相关研究现状及分析
3. 研究的目标和意义
4. 时态信息表示及演算
5. 时态工作流过程元模型
6. 时态工作流模型
7. 过程模型的合理性分析与验证
8. 案例分析
9. 总结与展望

7.1 过程模型合理性的概念

●【定义5.1】（TPWF-net的合理性）一个TPWF-net $TPN=(P,T,F)$ 是合理的，当且仅当：

- ① 对于每一个从状态*i*可达的状态*M*，存在一个变迁序列，使得可从*M*到状态*o*是可达的，形式化表示为：

$$\forall M(i[*>M) \Rightarrow M[*>o;$$

- ② 状态*o*是从状态*i*可达的唯一最终状态，且结束时其中至少会有一个托肯，形式化表示为： $\forall M(i[*>M \wedge M \geq o) \Rightarrow M=o;$

- ③ 在 (PN, i) 中没有死变迁，形式化表示为： $\forall t \in TM, M[i[*>M) \wedge M[t>M'.$

●TPWF-net合理性的验证可以分为两个方面：

- 过程结构合理性
- 时间约束一致性

7.2 过程模型的结构合理性分析

●基本概念

- **【定义5.2】** (WF-net的直接可达关系)
- **【定义5.3】** (TPWF-net的直接可达关系)
- **【定义5.4】** (结构等价) TPWF-net与WF-net
- **【定义5.5】** (等价性) 两个TPWF-net
- **【定义5.6】** (同步TPWF-net)
- **【定义5.7】** (确定TPWF-net)
- **【定义5.8】** (同步确定TPWF-net)
- **【定义5.9】** (自由选择TPWF-net)
- **【定义5.10】** (良构TPWF-net)

7.2 过程模型的结构合理性分析

- TPWF-net和WF-net的等价关系

- 两个引理：【引理5.1】 【引理5.2】
- 【定理5.1】对任何一个同步确定TPWF-net可构造一个WF-net与它结构等价。
- 【定理5.2】对任何一个TPWF-net可构造一个同步确定TPWF-net与它等价。
- 【推论5.1】对任何一个TPWF-net可构造一个WF-net与它结构等价。
- 【推论5.2】对任何一个自由选择的同步TPWF-net可构造一个自由选择WF-net与它结构等价。
- 【推论5.3】对任何一个良构的TPWF-net可构造一个良构的WF-net与它结构等价。

7.2 过程模型的结构合理性分析

●结构合理性分析的其他结论

- **【定理5.3】** 一个自由选择的同时TPWF-net的过程合理性可以在多项式时间内判定。
- **【定理5.4】** 如果一个自由选择的同时TPWF-net是过程合理的，则它也是过程安全的。
- **【定理5.5】** 一个良构的TPWF-net的合理性可以在多项式时间内判定。
- **【定理5.6】** 如果一个良构的TPWF-net是过程合理的，则它也是过程安全的。
- **【定理5.7】** TPWF-net组合定理。

●分析总结

- 建模时，应尽量满足TPWF-net的自由选择、同步特性或良构性。
- 结构化建模思想：可以先选择一些基本的合理且安全的“构造块”，通过组合这些构造块形成的过程模型也一定是合理且安全的。

7.2 过程模型的结构合理性分析

● 一组（8个）基础过程结构（如表5.1所示）

结构名称	基本过程结构	结构名称	基本过程结构
1. 元结构		5. 选并	
2. 隐选		6. 重复	
3. 显选		7. Repeat	
4. 并行		8. While	

7.2 过程模型的结构合理性分析

- 过程合理性导出的建模规则
 - **【规则5.1】** 使用表5.1所列的基础过程结构的组合来建模，组合的方式是：1）顺序连接（一个结构的输出库所与另一个结构的输入库所合并），或者2）完全嵌套（用一个结构去替换另一个结构中的一个元结构）。
 - **【规则5.2】** 在建模时使用反复/循环结构的前提是保证反复/循环能在有限次后终止，否则任何包含反复/循环的过程模型都是不合理的。
 - **【规则5.3】** 当规则5.1无法适用时，尝试使用符合自由选择且同步、或者良构的形式构建TPWF-net。
 - **【规则5.4】** 当规则5.1、5.3无法适用时，慎重采用其它建模形式，并仔细分析其合理性。
 - **【规则5.5】** 将新识别的合理且安全的基本结构补充到表5.1中。

7.3 过程模型的时间约束一致性分析

- 时间约束一致性的指标

- 1) 最大过程执行时间 T_{\max}
- 2) 最小过程执行时间 T_{\min}
- 3) 绝对可调整时间 δ_{\min} : $\delta_{\min} = V_{\max} - \text{end}(T_{\max})$
- 4) 相对可调整时间 δ_{\max} : $\delta_{\max} = V_{\max} - \text{end}(T_{\min})$

【定义5.11】（时间约束绝对一致） $\delta_{\min} \geq 0$

【定义5.12】（时间约束相对一致） $\delta_{\max} \geq 0$ 且 $\delta_{\min} < 0$

【定义5.13】（绝对合理）

【定义5.14】（相对合理）

7.3 过程模型的时间约束一致性分析

● 一组基本的结构化简规则

编号	过程结构	化简结构	编号	过程结构	化简结构
1			5		
2			6		
3			7		
4			8		

7.4 基于结构化简合理性的验证方法

●过程模型化简的步骤：

- 1) 从开始库所以深度优先或广度优先遍历过程模型，识别符合表5.2定义过程结构，并以对应的化简结构替换它；
- 2) 重复以上步骤直到过程模型没有表5.2定义的过程结构；
- 3) 辨别化简后的过程结构是否是标准构造块，若是，则该过程是过程合理且安全的，否则，人工根据过程结构合理且安全的定义进行判断；
- 4) 若过程合理且安全的，从化简后的模型计算出 T_{\max} 和 T_{\min} ，并给出时间约束一致性的条件：
 - (1) 过程模型绝对合理的条件是： $V_{\max} \geq \text{end}(T_{\max})$ ；
 - (2) 过程模型相对合理的条件是： $\text{end}(T_{\min}) \leq V_{\max} < \text{end}(T_{\max})$ ；
- 5) 计算并输出 δ_{\min} 和 δ_{\max} 。

7.5 其它合理性的验证方法

- 基于可达图的自动化方法
 - 问题实质是寻找一个图（赋时可达图）中的最短路径和最长路径，这里的最短和最长是指过程延迟时间。
- 基于结构化简与可达图相结合的方法构想

主要内容——案例分析

1. 课题来源与研究背景
2. 国内外相关研究现状及分析
3. 研究的目标和意义
4. 时态信息表示及演算
5. 时态工作流过程元模型
6. 时态工作流模型
7. 过程模型的合理性分析与验证
8. 案例分析
9. 总结与展望

8.1 案例分析——建模1

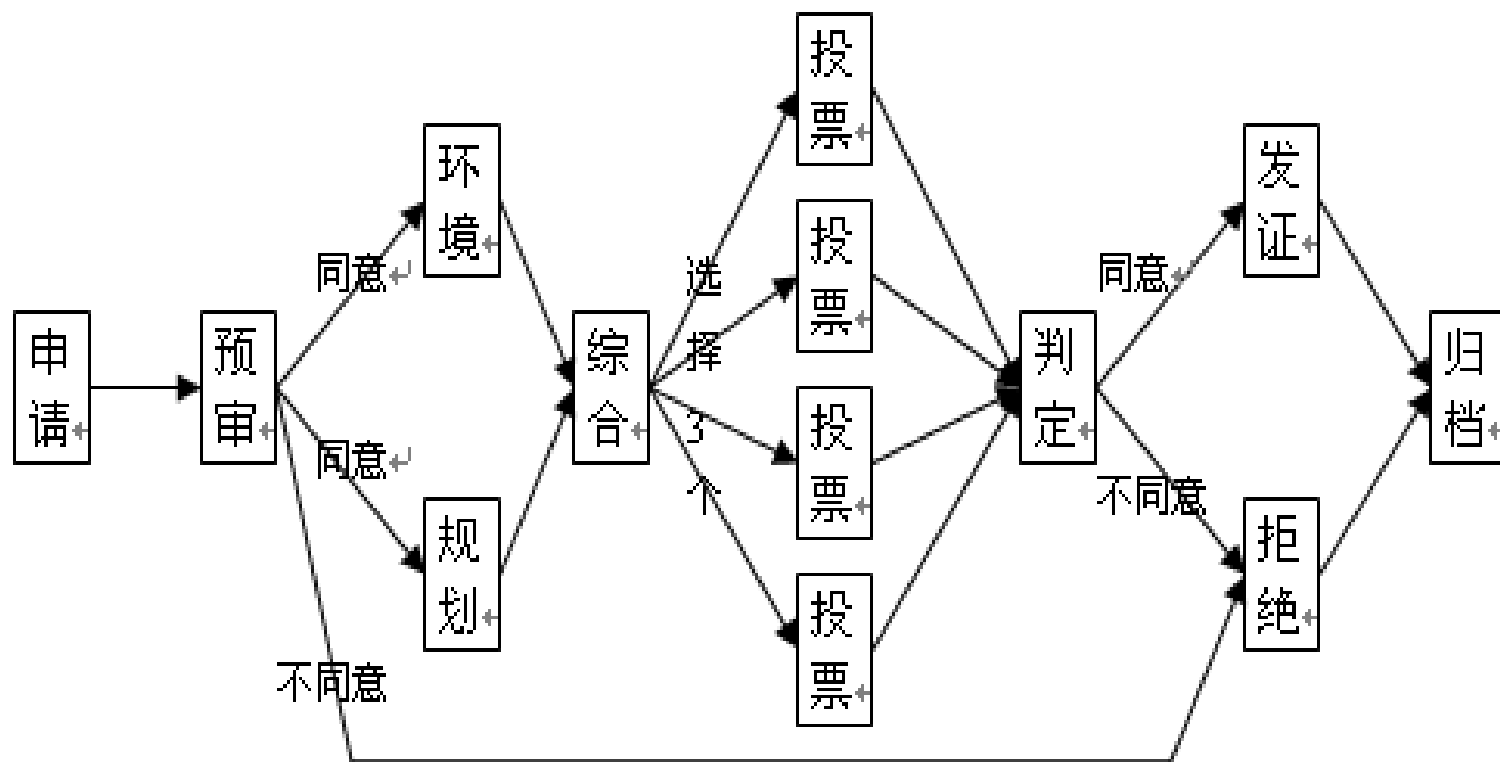
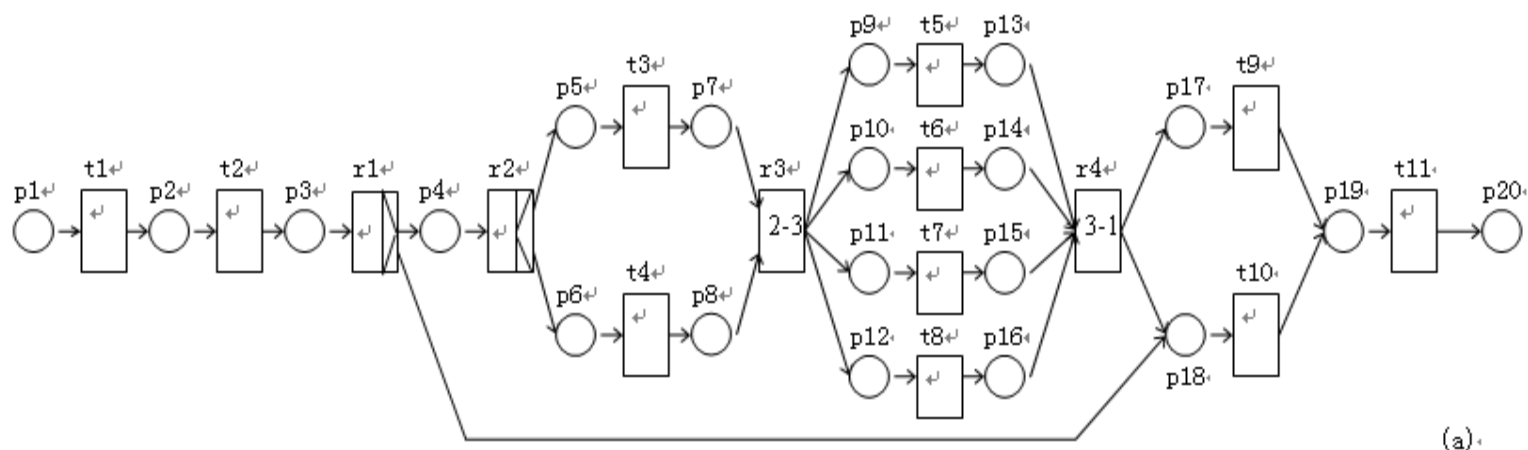
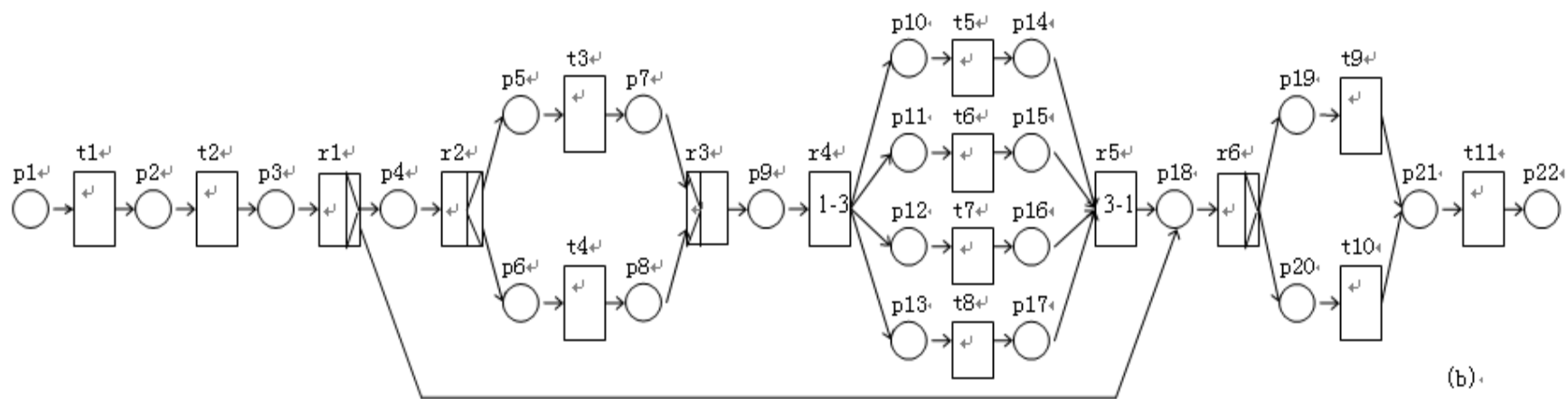


图 6.1 工厂报建的有向图

8.1 案例分析——建模2



(a)



(b)

图 6.2 工厂报建的初步过程模型

8.1 案例分析——建模3

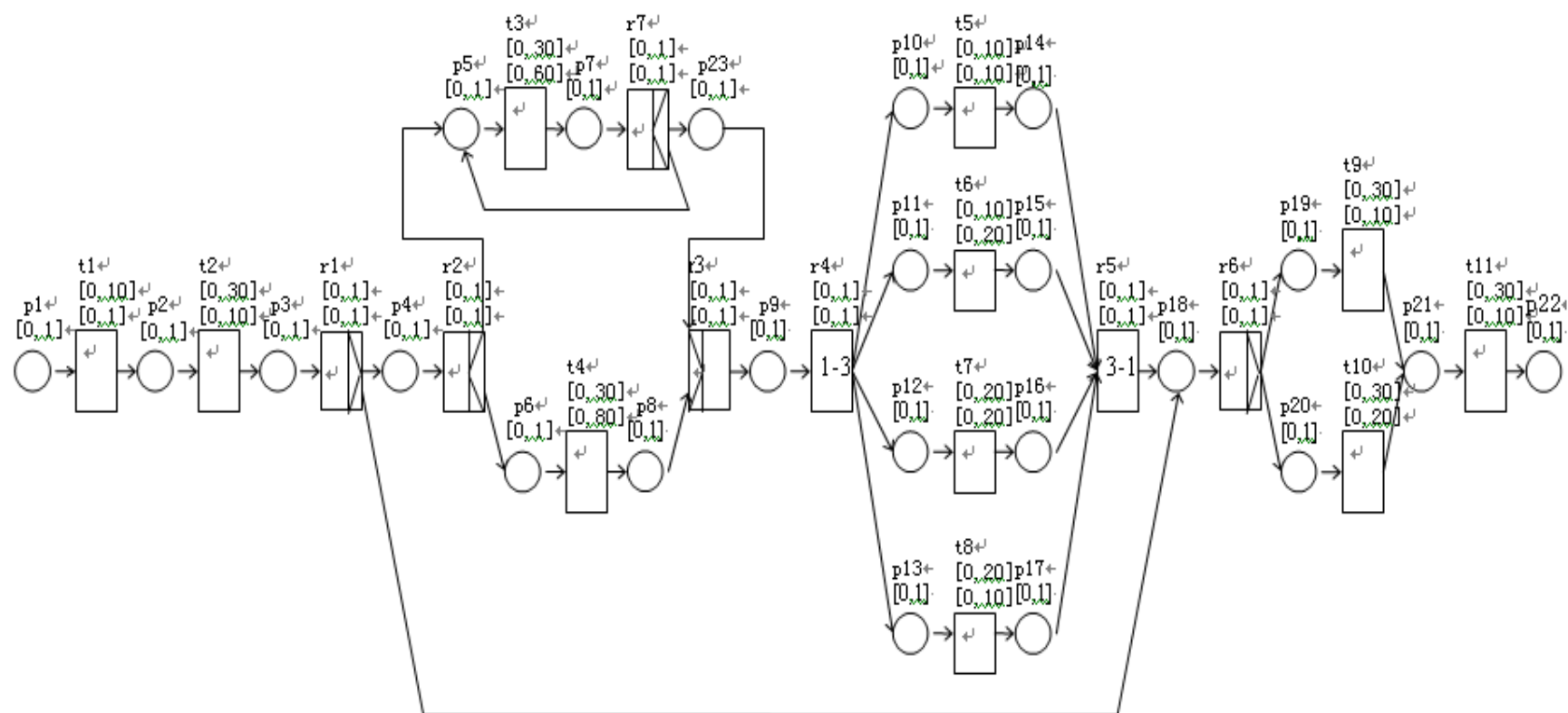
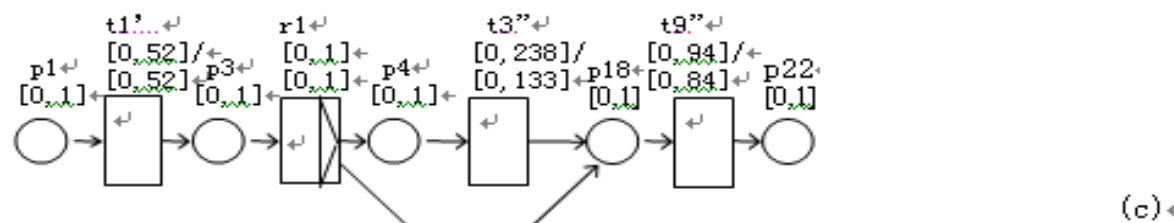
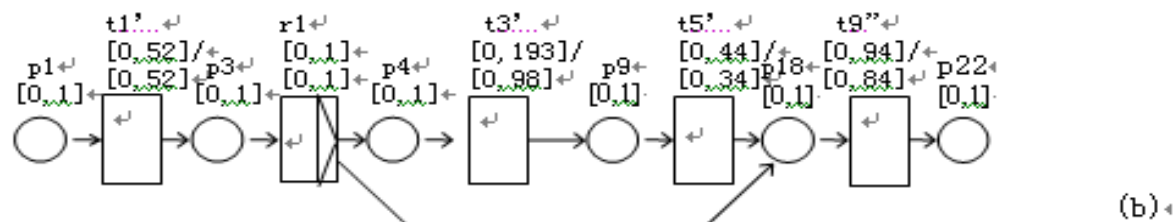
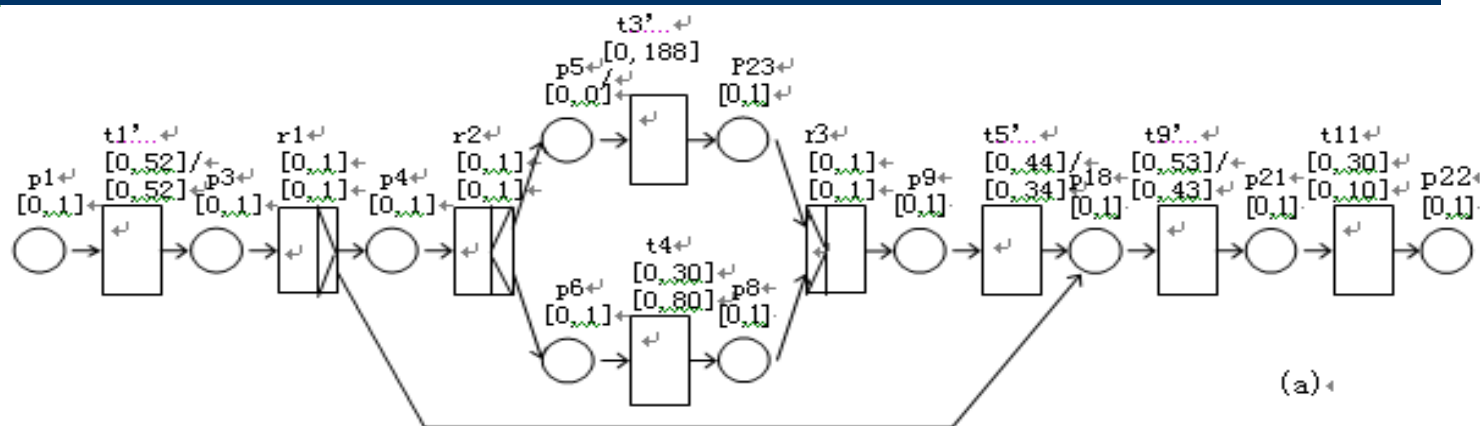
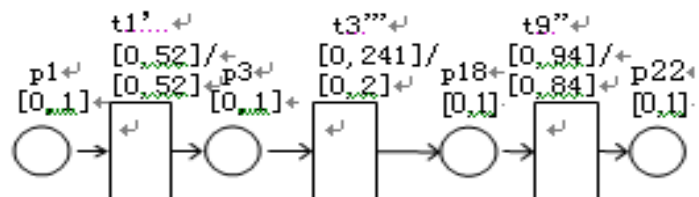


图 6.4 含超时异常处理的 TPWF-net 模型

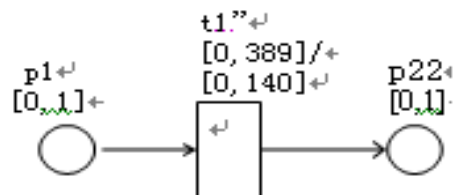
8.1 案例分析——化简验证1



8.1 案例分析——化简验证2



(d)



(e)

- $T_{\max} = [0+0+0, 1+389+1] = [0, 391]$
- $T_{\min} = [0+0+0, 1+140+1] = [0, 142]$
- 过程模型绝对合理的条件是: $V_{\max} \geq 391$
- 过程模型相对合理的条件是: $142 \leq V_{\max} < 391$

主要内容——总结与展望

1. 课题来源与研究背景
2. 国内外相关研究现状与分析
3. 研究的目标和意义
4. 时态信息表示及演算
5. 时态工作流过程元模型
6. 时态工作流模型
7. 过程模型的合理性分析与验证
8. 案例分析
9. 总结与展望

9.1 创新点

- 将时间作为一个维度引入 workflow 系统，提出了时态 workflow 的概念及其过程元模型。
- 提出了能够综合描述过程、信息、资源和应用程序四维信息的时态 workflow 过程模型 **TPWF-net**。
- 提出一种过程模型合理性分析和验证的方法。证明了 **TPWF-net** 与 **WF-net** 的结构等价性、自由选择同步 **TPWF-net** 和良构 **TPWF-net** 的合理性可以在多项式时间内判定等结论。在此基础上，提出了结构化建模和基于结构化简的 **TPWF-net** 模型验证方法。

9.2 进一步工作展望

- 时态 workflows 模型验证的自动化
- 时态 workflows 模型的动态分析和时间规划
- 时态 workflows 的灵活性和异常处理等相关问题
- 分布式时态 workflows 的研究
- 时态 workflows 的实现技术
- workflows 结构化定理的研究

結束

Any Question?