

智能公交系统中动态网格 workflow 模型研究

杨浩澜^{1,2} 李 华¹ 李世畅¹ 高 旻¹ 吴中福¹

(重庆大学计算机科学与工程学院 重庆 400044)¹ (重庆邮电大学通信学院 重庆 400065)²

摘 要 针对智能公交系统(ITS)车辆调度难的问题,提出了网格环境下跨越多个域和系统的车辆实时调度 workflow 模型的特点和要求,以得到适用于 ITS 车辆调度的 workflow 元模型;提出了采用基于 Petri 网的柔性 workflow 建模技术和自顶向下分层树形分解方法来构造 workflow 模型,以产生适用于 ITS workflow 建模的思路和方法。最后提出了一种验证模型的算法来证明其有效性。

关键词 智能交通, workflow, 柔性, workflow 模型

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on Dynamic Grid Workflow Model of ITS

YANG Hao-lan^{1,2} LI Hua¹ LI Shi-chang¹ GAO Min¹ WU Zhong-fu¹

(College of Computer Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)¹

(College of Telecommunication, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)²

Abstract Aiming at the problem that it is hard to scheduling vehicles in ITS, the characteristic and requirement of the workflow model for real-time vehicles scheduling in Grid environments which cross lots of domains and systems was presented. A meta-model of workflow was proposed for ITS vehicles scheduling. It utilizes Petri Net-based flexible workflow model technique and top down layered decomposition approach to create the workflow model. And then a dynamic modifying strategy was proposed in order to suit the ideas and methods of ITS workflow modeling. At last, an algorithm was given to validate the model.

Keywords Intelligent transportation system, Workflow, Flexibility, Workflow model

智能交通系统 ITS(Intelligent Transportation System)是当前交通运输管理系统发展的主要方向^[1],目标是解决城市交通拥塞、调度效率低下、紧急事件处理响应速度慢等问题。其核心部分是解决车辆的调度问题。车辆运行过程中,除了交通系统外,还涉及到其他诸如火警、医疗急救、保险事故处理等应急部门系统;又因车辆运行情况复杂,动态性强,牵涉面广,以及各系统融入网格技术的趋势等要求,使得车辆的准确、自动调度成为一个难题,成为智能交通发展的瓶颈^[2]。

除了上述特点外,车辆的调度业务过程清晰,定义明确。而在融合了计算机网络技术、信息处理技术、定位导航技术、数据通信传输技术、自动控制技术以及图像分析技术等^[1]的 ITS 中,车辆的调度符合 workflow 特性。

通过以上的分析,本文提出了一种采用基于 Petri 网的柔性 workflow 建模技术和自顶向下分层树形分解方法来构造车辆调度 workflow 模型,以产生适用于 ITS workflow 建模的思路和方法。

1 ITS 技术

ITS 的核心部分是对城市公交运营车辆进行调度管理和应急处理。其主要组成部分是信息采集终端和管理中心。

信息采集终端主要用于采集车辆运行状态信息,这可以

使用车载终端来实现。车载终端的主要实现技术是采用 GPS 定位技术和基于里程的信息采集技术。其中后者比较先进,能采集更多车辆运行状态信息。

基于里程的信息采集技术实现的车载终端智能采集器,除了采集信息并送到管理中心外,最主要的功能就是接收并处理本车的调度信息,以启动 workflow 实例的调度。

管理中心主要分为智能调度系统和应急处理系统。智能调度系统最核心的功能是在网格环境下,实现对网格车辆调度 workflow 的管理。应急处理系统主要负责管理对外接口处理模块,如对跨域或跨系统的 120, 119, 110 等中心的相关子 workflow 的管理。

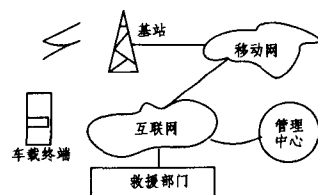


图 1 ITS 体系结构图

基于里程的信息采集技术 ITS 体系结构图如图 1 所示。车载终端采集车辆运行里程、速度、车载人数、车辆故障、火警、急救、事故、匪警等信息,通过移动网络和互联网转发到智

能交通管理中心。智能交通管理中心根据状态信息和工作流模型的定义,发起并管理工作流,并负责处理与救援等部门的交互。此外管理中心还可以与地理信息系统交互以实时直观监控工作流和车辆运行状况^[11]。

2 适合 ITS 的工作流模型

2.1 ITS 工作流元模型

车辆调度数据必须准确一致。适用于它的模型不仅能够有正确的语义,而且能提供一个由分析模型到投入实际实施模型的转换接口,从而使该模型能够在 ITS 管理中心实际应用的 workflow 管理系统中执行。因而对 ITS 中各种车辆调度工作流模型的元模型采用 workflow 管理联盟的定义,如图 2 所示。

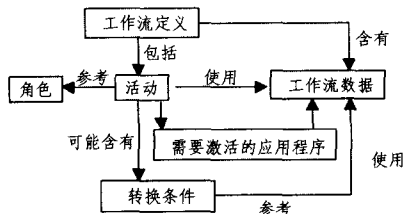


图 2 工作流元模型

分析 ITS 中车辆调度的过程,把某路线中某辆车的全天运行过程定义为一个工作流,某一趟作为子工作流,某路段的运行作为工作流的活动。由此得到以下对元模型描述。

1) 工作流定义:即过程定义。此定义要求完成车辆的实时调度和遇到情况后对应的处理措施,主要包含工作流模型名称、版本号、过程启动和终止的条件、系统安全、监控和控制信息等一系列基本属性。其中包括车辆正常运行的正常启动和终止工作流的条件;监控车辆工作流执行状态;遇到匪情、火情、故障、事故等情况控制启动或转换到网格中应急处理子工作流;车辆非正常运行的工作流继续执行、终止的控制等。

2) 活动:主要包含路段活动名称、活动类型(原子级活动、子流程)、活动的前后条件、调度约束参数等。活动类型中,原子级的活动主要指车辆在某两个站之间(路段)的运行;子流程包含车辆运行的某趟子工作流和网格中车辆应急处理子工作流。调度约束参数主要为排队等待时间。

3) 转换条件:主要负责为车辆调度运行过程实例的推进提供导航依据。参数包括车辆调度运行工作流的过程条件,即过程实例向前推进的条件、执行某个活动的条件、通知不同用户(驾驶员、应急处理中心等)的条件。

4) 工作流相关数据:工作流处理机制根据工作流相关数据和转换条件进行推进,工作流相关数据的属性包括数据名称、数据类型和数据值等。它是工作流处理机制执行任务推进的依据,主要包含车辆相关数据、运行状态数据、应急处理相关数据等。

5) 角色:角色属性主要包括角色的名称、组织实体、角色的能力等。角色包含驾驶员、售票员、调度员、应急处理人员、公交部门、应急处理部门如 120, 119, 110 中心等。描述角色的能力,以界定其功能。

6) 需要激活的应用程序:主要对应于车辆调度程序、地理信息处理系统实时状态处理程序、网格中跨域或系统的应急处理程序、告警处理程序等。属性包括应用程序的类型、名称、路径及运行参数等。

2.2 ITS 工作流控制结构

工作流模型中的基本控制结构包含 4 类,分别是或分离、或汇聚、并分离、并汇聚。工作流模型由这 4 类控制结构组成。常用于工作流建模的工作流模型主要有:基于活动网络的工作流模型、基于语言行为理论的工作流模型、事件驱动的过程链模型和 Petri 网模型等^[3-6]。每种模型都要提供以上 4 类基本控制结构。Petri 网模型的 4 个构造模块如图 3 所示。



图 3 Petri 网模型 4 类构造模块

Petri 网模型相比于其他几个模型的优势体现在以下几个方面:

1) 模型描述能力强。Petri 网具有足够丰富的表达能力,可以支持所有用于工作流建模的元素。另外, Petri 网可以明确表示整个流程的状态。

2) 分析验证技术成熟且丰富。Petri 网建模的分析技术为我们对工作流模型的各种特性的分析提供了可能,这些分析技术可以用来验证安全性、不变性、合理性以及死锁等属性,并可以从多方面来评价工作流。

所以本文采用基于 Petri 网工作流模型来研究适合 ITS 工作流的建模。ITS 工作流的控制结构采用 Petri 网模型的 4 类构造模块。

2.3 ITS 工作流模型柔性建模技术

车辆调度工作流会因为车辆运行中的特殊情况,例如故障、事故、驾驶员突然失去操作能力、其他告警等而中断。ITS 工作流模型就要能处理这些情况以继续工作流的执行,提供系统的柔性。

2.3.1 ITS 工作流业务过程分析

1) 过程构成:车辆运行的过程由某条路线上某车的全天运行任务构成,具体由多趟子过程组成,每趟子过程又由路段任务组成。若遇突发事件,要能够插入应急处理子过程,具有动态性。子过程之间、任务之间有时时间和状态的条件约束关系。

2) 过程执行:ITS 中车辆运行过程的执行是完成此车一天的业务过程任务。其中要涉及到相关的数据资源和人力资源等。过程的执行除了涉及到组织内的业务过程外,还可能涉及到组织间的业务过程。不同的业务过程独立执行,无直接关系,利用共享相关资源相互影响,协调可能涉及到的逻辑关系。例如某车业务过程开始执行多长时间后,有逻辑关系的第二辆车应启动业务过程的执行。

3) 访问数据:即在任务的执行过程中需要访问的数据,包含车辆运行数据、状态数据、路况信息、报警数据以及工作流控制数据等。

4) 执行者:执行者分属于内外部组织单元。内部组织单元主要由各管理部门,如调度室(调度员、驾驶员、售票员)、告警处理部门、维修部门等构成。外部组织单元由 120, 119, 110 等可能参与进来的外部组织机构组成。执行者参与任务的执行。

2.3.2 ITS 工作流活动建模

ITS 工作流活动建模用于描述工作流活动(车辆路段任

务)的内容,建立活动与活动中使用的资源、数据及相关执行部门/人员之间的关系,并确定活动所要求的输入、活动所产生的输出等。活动所具有的状态、状态之间的迁移过程如图4所示。

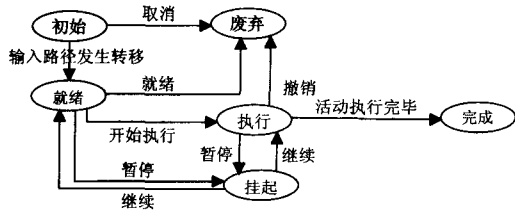


图4 活动状态转移图

2.3.3 基于Petri 网的 ITS 柔性工作流树形分解过程建模方法

在 ITS 中,车辆调度工作流过程由诸多子过程构成,子过程由路段任务构成。各子过程相似度比较大。在建模的时候,充分考虑这种特点,采用自顶向下、多级树形分解的思想,把过程分解为子过程来建立符合 ITS 中车辆调度工作流模型是合适的。

具体是在 Petri 网工作流技术基础上,利用库所表示状态,变迁表示过程,对变迁多级分解为子过程实现建模。这里核心就是分解规则。分解规则要求避免死锁和缺失 Petri 网结构元素等不合理情况的产生^[7]。由此定义以下 4 个规则,如图 5 所示。4 个规则的定义中,分解的前后接口不变,每个分解规则产生的结果都是一个独立的子过程,都有并行同步结构或归并结构或循环不越界等特性。由此,避免了死锁的产生和保证了 Petri 网结构元素的完整性。

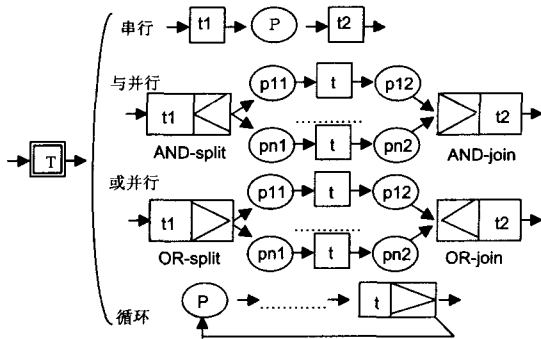


图5 树形分解规则

根据这 4 条分解原则,对 ITS 车辆调度工作流过程进行逐级的细化,产生的空活动变迁可以通过将其前后的状态进行合并来简化,最后当每一个叶子变迁都代表一个具体的动作时,工作流建模完成。

例如,对车辆运行过程中遇故障处理的工作流子过程建模。对业务过程进行自顶向下建模,层层分解后构成一个树状结构,从树的根节点开始,树的每一层为一级,依次分解后得图 6。

图 6 中,1 变迁表示车辆运行中遇到故障处理的工作流过程,利用串行规则把它分解为 2 与 3。其中车辆在运行过程 2 中出现了故障。利用与并行分解规则把 2 分解为 4,5,6,8 变迁,其中 4 表示运行遇故障停车,5 表示公交管理系统故障记录,6 表示维修。5 与 6 并行进行。8 表示维修好后继续运行,进入下一过程。6 过程中,有可能一次维修不好,需

要重复维修过程,利用循环分解规则将其分解为 7。

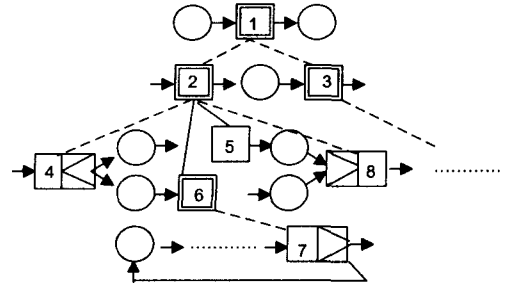


图6 ITS 工作流树形分解实例

对工作流的执行,就是对上述树叶节点的一个遍历过程,可以利用树的形式化描述和遍历算法实现。

2.3.4 ITS 工作流动态修改策略

车辆运行过程中的各种突发事件,会引发一系列处理流程,改变业务过程。业务过程的变动会影响工作流。工作流必须具备动态修改机制以适应这种变动,并以此提高系统的柔性。通过对 ITS 工作流动态变化的原因分析,工作流的动态修改策略体现在以下几点:

1) 动态增加活动。主要是完成顺序、并发、选择或循环活动的动态添加。例如车辆预备出发活动中增加车辆状态临时检查活动;车辆运行活动中临时增加普通话考评活动等。

2) 动态删除活动。主要是完成顺序、并发、选择、循环活动的动态删除。例如车辆遇交通拥塞,在可以有其他路线选择情况下,删除某些活动,临时选择近路直达某个站点,或删除后再添加其他工作流活动以临时行走另外的路径。

定义以上具体操作类型时也要避免死锁等情况的发生,去掉可能产生结构错误的情况^[3]。

3 ITS 工作流模型验证算法

工作流模型在构建和动态修改后,一定要保证模型的逻辑正确性和可靠性,以保证工作流的正确执行。所以,需要对 ITS 工作流模型进行验证。

ITS 工作流模型的验证主要集中在对 Petri 网构建的模型逻辑结构的正确性验证上,以避免死锁、不可达等结构性错误。在分解形成树状模型的 4 个规则定义和动态修改时,已经尽量避免结构冲突的存在。但其作为子过程放到大的工作流模型中时,还是可能产生错误^[7],所以需要进一步验证。根据构造 ITS 工作流模型的特点,提供以下算法来验证。其算法主要思想如下:

- 1) 先判断工作流 Petri 网结构完整性,是否有且仅有一个起始节点和一个终止节点;
- 2) 从起始节点开始采用深度优先策略求出所有可达节点数,找出不可达的节点;
- 3) 对于每个节点采用深度优先策略遍历,判断是否可以到达终止节点;
- 4) 验证模型中是否存在结构冲突。

其中每个步骤都必须没有发生错误才能进入下一步,否则就要进行修改,重新从第一条开始验证。

有关结构的冲突,是通过查找工作流模型中是否有相悖于树形分解的 4 个规则来确定。算法从初始节点开始遍历,系统设置两个冲突栈,分别依次存放 split 节点和 join 节点。

(下转第 137 页)

结束语 Ad Hoc 由于其自身的特点越来越成为研究的热点,而 Anycast 服务作为 IPv6 的一个新特性,也越来越成为众人瞩目的焦点。本文提出了一种在 Ad Hoc 网络中实现 Anycast 服务的通信模型,并在实验网络实现了此模型。通过对实验数据的分析可知,此模型很好地实现了在 Ad Hoc 网络中的 Anycast 服务。

由于在 Ad Hoc 网络中实现 Anycast 服务的研究还处于初级阶段,因此还存在许多问题需要进一步探讨和研究。

参 考 文 献

- [1] Hinden, Hindon R, Deering S. Internet protocol version 6 addressing architecture[C]//IETF, RFC 3513. 2003
- [2] Wakikawa R, Malinen J, Perkins C, et al. Global connectivity for IPv6 mobile Ad Hoc networks[C]// IETF Internet Draft, draft-wakikawa-manet-globalv6-03. txt. 2003
- [3] Narten T, Nordmark E, Simpson W. Neighbor discovery for IP version 6 (IPv6)[C]//IETF, RFC2461. 1998
- [4] Thomson S, Narten T. IPv6 stateless address autoconfiguration [C]//IETF, RFC 2462. 1998
- [5] Tseng Yu-Chee, Shen Chia-Ching, Chen Wen-Tsuen. Integrating Mobile IP with Ad Hoc Networks[J]. IEEE Computer,

2003, 36(5):48-55

- [6] Lamont L, Wang M, Vilasenor L. Integrating WLAN&MANET to the IPv6 based Internet Communications[C]//ICC'03, IEEE International Conference, May 2003
- [7] Park I K, Kim Y H, Lee S S. IPv6 address allocation in hybrid mobile Ad Hoc networks [C] // Proc. 2nd IEEE Workshop Softw. Technol. Embedded Ubiquitous Comput. Syst. May 2004:58-62
- [8] Perkins C E, Belding-Royer E M, Das S. Ad Hoc on-demand distance vector (AODV) routing[C]//IETF, RFC 3561. 2003
- [9] Perkins C E, Bhagwat P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers[J]. ACM Comput. Commun. Rev. , 1994, 24(2):234-244
- [10] Clausen T, Jacquet P. Optimized link state routing protocol[C]//IETF, RFC 3626. 2003
- [11] Haas Z J, Pearlman M R. The zone routing protocol (ZRP) for Ad Hoc networks[C]// IETF Internet Draft. draft-ietf-manet-zone-zrp-04. txt, 2002
- [12] Perkins C, Malinen J, Wakikawa R, et al. IP address autoconfiguration for Ad Hoc

(上接第 132 页)

通过对两个栈中的元素进行的匹配验证,说明了基于 Petri 网络技术构建的 ITS workflow 网络结构的正确性和有效性。

结束语 针对智能交通中车辆调度 workflow 建模的核心问题,采用 workflow 管理联盟定义的工作流元模型表达 ITS 中车辆调度业务过程的定义、相关活动、数据和调度条件。以 Petri 网架构 workflow 过程作为核心,将 Petri 网的库所、变迁和弧与 ITS workflow 过程中的相关信息对应,更好地描述了实际的车辆运行业务过程。采用自顶向下的分层树形分解方法建立了适合 ITS 的车辆调度 workflow 模型。设计的 4 个分解规则在构造模型的同时,可有效地避免模型的结构冲突问题。另外,定义的活动的动态添加和删除策略能适应实际车辆运行的实际状况,也使系统具有较好的柔性。最后提供了算法来验证动态修改后的模型的有效性,以检测结构和语义冲突,确保修改后的 workflow 模型的正确性。

参 考 文 献

- [1] Berger C R, Smith E. Intelligent Transportation Systems Provide Operational Benefits for New York Metropolitan Area Roadways: A Systems Engineering Approach[C]// Applications and Technology Conference, 2007. LISAT 2007. IEEE Long Island, May 2007:1-8
- [2] Huang Ailing, Shen Jinsheng, Guan Wei. ITS planning methodology for Chinese cities and its evaluation mode[C]//Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC '06. IEEE, Sept. 2006:1125-1130
- [3] Sorde S W, Aggarwal S K, Jie Song, et al. Modeling and Verifying Non-DAG Workflows for Computational Grids[C]//Serv-

ices, 2007 IEEE Congress. July 2007:237-243

- [4] Zeng Ming, Luo Ying, Yang Yang. A fast method to build Grid workflow system[C]//Machine Learning and Cybernetics, 2008 International Conference. Volume 2, July 2008:629-633
- [5] Liu Min, Yan Jun-wei, Bai Li. The Inter-operating Mechanism of the Alliance-Collaboration-Oriented Dynamic Grid Workflow[C]//Integration Technology, 2007. ICIT '07. IEEE International Conference. March 2007:301-306
- [6] Park M-J, Kim K-H. Control - Path Oriented Workflow Intelligence Analysis and Mining System[C]//Convergence Information Technology, 2007. International Conference. Nov. 2007:951-960
- [7] 罗新星, 岳柳青. 一种基于树形分解的柔性 workflow 模型[C]// 信息系统协会中国分会 2006 年学术研讨会. 2006
- [8] Zhao Wen, Huang Yu, Yuan Chong-yi. Synchronic Distance Based Workflow Logic Specification[C]// High Performance Computing and Communications, 2008. HPCC '08. 10th IEEE International Conference. Sept. 2008:819-824
- [9] Luh Yuan-Ping, Pan. Collaborative workflow solution for distributed product development[C]//Computer Supported Cooperative Work in Design, 2008. CSCWD 2008. 12th International Conference. April 2008:594-599
- [10] Lu Kai, Liu Qiang. An Algorithm Combining Graph-Reduction and Graph-Search for Workflow Graphs Verification[C]//Computer Supported Cooperative Work in Design, 2007. CSCWD 2007. 11th International Conference. April 2007:772-776
- [11] 周温庆, 冯文菲, 陈继努. 基于 GIS 平台的 GPS 智能车载终端的设计[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2008(z1):18-21