



同济大学 1907-2017
Tongji University



同济博士论丛
TONGJI Dissertation Series

总主编 伍江 副总主编 雷星晖

蒋昌俊 审 丁志军 著

基于Petri网精炼的 系统建模与分析

Petri Net Refinement Based System
Modeling and Analysis



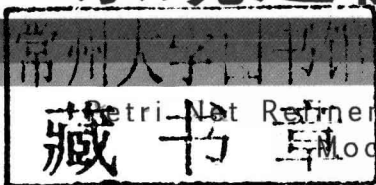
同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

 同济博士论丛
TONGJI Dissertation Series

总主编 伍江 副总主编 雷星晖

蒋昌俊 审 丁志军 著

基于Petri网精炼的 系统建模与分析



Petri-Net Refinement Based System
Modeling and Analysis

 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书面向系统综合,着重从 Petri 网语言角度讨论了 Petri 网精炼操作的动态行为和系统性质。首先定义了一类 Petri 网的精炼操作,基于序列投影,建立了精炼 Petri 网与原网、子网间的动态行为关联关系,并分析了该精炼操作的相关动态性质,给出了一组性质保持判据。本书可供本领域的研究人员阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

基于 Petri 网精炼的系统建模与分析 / 丁志军著. —
上海: 同济大学出版社, 2017. 5
(同济博士论丛 / 伍江总主编)
ISBN 978 - 7 - 5608 - 6829 - 5

I. ①基… II. ①丁… III. ①Petri 网—系统建模
IV. ①TP393.19

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 059446 号

基于 Petri 网精炼的系统建模与分析

蒋昌俊 审 丁志军 著

出 品 人 华春荣 责任编辑 陈佳蔚 胡晗欣

责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

排版制作 南京展望文化发展有限公司

印 刷 浙江广育爱多印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 10

字 数 200 000

版 次 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5608 - 6829 - 5

定 价 50.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

“同济博士论丛”编写领导小组

组 长：杨贤金 钟志华

副 组 长：伍 江 江 波

成 员：方守恩 蔡达峰 马锦明 姜富明 吴志强
徐建平 吕培明 顾祥林 雷星晖

办公室成员：李 兰 华春荣 段存广 姚建中

“同济博士论丛”编辑委员会

总 主 编：伍 江

副 总 主 编：雷星晖

编委会委员：（按姓氏笔画顺序排列）

丁晓强	万 钢	马卫民	马在田	马秋武	马建新
王 磊	王占山	王华忠	王国建	王洪伟	王雪峰
尤建新	甘礼华	左曙光	石来德	卢永毅	田 阳
白云霞	冯 俊	吕西林	朱合华	朱经浩	任 杰
任 浩	刘 春	刘玉擎	刘滨谊	闫 冰	关侗红
江景波	孙立军	孙继涛	严国泰	严海东	苏 强
李 杰	李 斌	李风亭	李光耀	李宏强	李国正
李国强	李前裕	李振宇	李爱平	李理光	李新贵
李德华	杨 敏	杨东援	杨守业	杨晓光	肖汝诚
吴广明	吴长福	吴庆生	吴志强	吴承照	何晶晶
何敏娟	何清华	汪世龙	汪光焘	沈明荣	宋小冬
张 旭	张亚雷	张庆贺	陈 鸿	陈小鸿	陈义汉
陈飞翔	陈以一	陈世鸣	陈艾荣	陈伟忠	陈志华
邵嘉裕	苗夺谦	林建平	周 苏	周 琪	郑军华
郑时龄	赵 民	赵由才	荆志成	钟再敏	施 骞
施卫星	施建刚	施惠生	祝 建	姚 熹	姚连璧

袁万城 莫天伟 夏四清 顾 明 顾祥林 钱梦騷
徐 政 徐 鉴 徐立鸿 徐亚伟 凌建明 高乃云
郭忠印 唐子来 閻耀保 黄一如 黄宏伟 黄茂松
戚正武 彭正龙 葛耀君 董德存 蒋昌俊 韩传峰
童小华 曾国荪 楼梦麟 路秉杰 蔡永洁 蔡克峰
薛 雷 霍佳震

秘书组成员：谢永生 赵泽毓 熊磊丽 胡晗欣 卢元姗 蒋卓文

总序

在同济大学 110 周年华诞之际，喜闻“同济博士论丛”将正式出版发行，倍感欣慰。记得在 100 周年校庆时，我曾以《百年同济，大学对社会的承诺》为题作了演讲，如今看到付梓的“同济博士论丛”，我想这就是大学对社会承诺的一种体现。这 110 部学术著作不仅包含了同济大学近 10 年 100 多位优秀博士研究生的学术科研成果，也展现了同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色，向建设世界一流大学的目标迈出的坚实步伐。

坐落于东海之滨的同济大学，历经 110 年历史风云，承古续今、汇聚东西，秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念，发扬自强不息、追求卓越的精神，在复兴中华的征程中同舟共济、砥砺前行，谱写了一幅幅辉煌壮美的篇章。创校至今，同济大学培养了数十万工作在祖国各条战线上的人才，包括人们常提到的贝时璋、李国豪、裘法祖、吴孟超等一批著名教授。正是这些专家学者培养了一代又一代的博士研究生，薪火相传，将同济大学的科学研究和学科建设一步步推向高峰。

大学有其社会责任，她的社会责任就是融入国家的创新体系之中，成为国家创新战略的实践者。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视科技创新，对实施创新驱动发展战略作出系列重大决策部署。党的十八届五中全会把创新发展作为五大发展理念之首，强调创新是引领发展的第一动力，要求充分发挥科技创新在全面创新中的引领作用。要把创新驱动发展作为国家的优先战略，以科技创新为核心带动全面创新，以体制机制改

革激发创新活力,以高效率的创新体系支撑高水平的创新型国家建设。作为人才培养和科技创新的重要平台,大学是国家创新体系的重要组成部分。同济大学理当围绕国家战略目标的实现,作出更大的贡献。

大学的根本任务是培养人才,同济大学走出了一条特色鲜明的道路。无论是本科教育、研究生教育,还是这些年摸索总结出的导师制、人才培养特区,“卓越人才培养”的做法取得了很好的成绩。聚焦创新驱动转型发展战略,同济大学推进科研管理体系改革和重大科研基地平台建设。以贯穿人才培养全过程的一流创新创业教育助力创新驱动发展战略,实现创新创业教育的全覆盖,培养具有一流创新力、组织力和行动力的卓越人才。“同济博士论丛”的出版不仅是对同济大学人才培养成果的集中展示,更将进一步推动同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色、明确大学定位、培养创新人才。

面对新形势、新任务、新挑战,我们必须增强忧患意识,扎根中国大地,朝着建设世界一流大学的目标,深化改革,勠力前行!

万 钢

2017年5月

论丛前言

承古续今,汇聚东西,百年同济秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念,注重人才培养、科学研究、社会服务、文化传承创新和国际合作交流,自强不息,追求卓越。特别是近20年来,同济大学坚持把论文写在祖国的大地上,各学科都培养了一大批博士优秀人才,发表了数以千计的学术研究论文。这些论文不但反映了同济大学培养人才能力和学术研究的水平,而且也促进了学科的发展和国家的建设。多年来,我一直希望能有机会将我们同济大学的优秀博士论文集中整理,分类出版,让更多的读者获得分享。值此同济大学110周年校庆之际,在学校的支持下,“同济博士论丛”得以顺利出版。

“同济博士论丛”的出版组织工作启动于2016年9月,计划在同济大学110周年校庆之际出版110部同济大学的优秀博士论文。我们在数千篇博士论文中,聚焦于2005—2016年十多年间的优秀博士学位论文430余篇,经各院系征询,导师和博士积极响应并同意,遴选出近170篇,涵盖了同济的大部分学科:土木工程、城乡规划学(含建筑、风景园林)、海洋科学、交通运输工程、车辆工程、环境科学与工程、数学、材料工程、测绘科学与工程、机械工程、计算机科学与技术、医学、工程管理、哲学等。作为“同济博士论丛”出版工程的开端,在校庆之际首批集中出版110余部,其余也将陆续出版。

博士学位论文是反映博士研究生培养质量的重要方面。同济大学一直将立德树人作为根本任务,把培养高素质人才摆在首位,认真探索全面提高博士研究生质量的有效途径和机制。因此,“同济博士论丛”的出版集中展示同济大

学博士研究生培养与科研成果,体现对同济大学学术文化的传承。

“同济博士论丛”作为重要的科研文献资源,系统、全面、具体地反映了同济大学各学科专业前沿领域的科研成果和发展状况。它的出版是扩大传播同济科研成果和学术影响力的重要途径。博士论文的研究对象中不少是“国家自然科学基金”等科研基金资助的项目,具有明确的创新性和学术性,具有极高的学术价值,对我国的经济、文化、社会发展具有一定的理论和实践指导意义。

“同济博士论丛”的出版,将会调动同济广大科研人员的积极性,促进多学科学术交流、加速人才的发掘和人才的成长,有助于提高同济在国内外的竞争力,为实现同济大学扎根中国大地,建设世界一流大学的目标愿景做好基础性工作。

虽然同济已经发展成为一所特色鲜明、具有国际影响力的综合性、研究型大学,但与世界一流大学之间仍然存在着一定差距。“同济博士论丛”所反映的学术水平需要不断提高,同时在很短的时间内编辑出版110余部著作,必然存在一些不足之处,恳请广大学者,特别是有关专家提出批评,为提高同济人才培养质量和同济的学科建设提供宝贵意见。

最后感谢研究生院、出版社以及各院系的协作与支持。希望“同济博士论丛”能持续出版,并借助新媒体以电子书、知识库等多种方式呈现,以期成为展现同济学术成果、服务社会的一个可持续的出版品牌。为继续扎根中国大地,培育卓越英才,建设世界一流大学服务。

伍江

2017年5月

前言

精炼操作是 Petri 网论一类重要的综合方法。它可以为复杂系统提供自顶向下的、逐步求精的模块化和层次化建模和设计方法,而且有助于采用“分而治之”的思想将复杂网系统抽象为若干子系统,分别分析和验证,并最终实现复杂系统行为和性质的有效分析。然而,现有的研究主要关注于精炼操作模型的系统性质保持性问题,而缺少对精炼过程中的行为保持性进行深入的讨论。此外,对基于精炼操作系统综合过程中的 Petri 网模型之间的行为和性质关系未作研究。

循此要求,本书面向系统综合,着重从 Petri 网语言角度讨论了 Petri 网精炼操作的动态行为和系统性质。首先定义了一类 Petri 网的精炼操作,基于序列投影,建立了精炼 Petri 网与原网、子网间的动态行为关联关系,并分析了该精炼操作的相关动态性质,给出了一组性质保持判据。在此基础上,定义了精炼 Petri 网的子系统相关性,包括子系统一致相关、子系统受控相关和子系统溢出相关。并分别研究了各类相关性的行为和性质关系,以刻画和反映精炼过程中子系统之间的相互作用,揭示系统间交互行为机理。进而,面向 workflow 管理,定义了 workflow 网的精炼操作,提出了可靠 workflow 网的概念,证明了可靠 workflow 网满足结

构、行为和性质的保持性,给出了可靠工作流网的行为表达式,进而将工作流网的精炼操作应用于工作流集成的建模和分析中,实现了交通信息服务网格系统工作流集成的分析和验证。针对实时系统建模和分析,给出了时间约束下的精炼操作行为保持性条件,在行为保持性基础上,研究了精炼操作的动态性质保持性,表明精炼操作满足有界性和活性性质的保持关系,进一步得到了一个基于原网和子网可达树的精炼 Petri 网可达性判定算法。最后,基于上述理论成果,面向 Web 服务组合,提出了 OWL-S 组合服务的混合建模和分析方法,即通过精炼操作实现组合服务控制流自顶向下的层次化建模,然后,利用 Petri 网合成运算实现数据流和控制流模型自底向上的协同建模,综合得到最终的集成 Petri 网模型;利用精炼和合成操作中的性质保持性,分析和验证集成模型的活性和有界性性质,实现了建模和分析方法的统一。

目 录

总序

论丛前言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 Petri 网理论发展与应用	1
1.2 系统建模与分析的 Petri 网方法	4
1.2.1 合成与分解	5
1.2.2 精炼与抽象	6
1.2.3 化简	7
1.3 Petri 网精炼	8
1.4 研究动机与主要贡献	12
1.4.1 研究动机及主要研究内容	12
1.4.2 主要贡献	13
1.5 内容组织	14

第 2 章 基础知识	16
2.1 Petri 网	16
2.1.1 Petri 网定义	16
2.1.2 Petri 网的结构和动态性质	19
2.2 语言及其运算.....	21
2.3 网的精炼操作.....	23
第 3 章 Petri 网的精炼操作及其动态性质	25
3.1 Petri 网的精炼操作	26
3.2 精炼 Petri 网的动态性质	28
3.3 基于库所的精炼操作.....	37
3.4 顺序资源共享系统示例.....	41
3.5 本章小结.....	44
第 4 章 精炼 Petri 网的子系统相关性	45
4.1 k -有序网系统的性质	46
4.2 精炼 Petri 网的子系统相关性	49
4.2.1 子系统一致相关	49
4.2.2 子系统受控相关	52
4.2.3 子系统溢出相关	53
4.3 应用示例.....	56
4.4 本章小结.....	60
第 5 章 workflow 网的精炼操作	62
5.1 workflow 网的精炼操作.....	63
5.1.1 workflow 网	63

5.1.2	工作流网的精炼操作	65
5.2	精炼工作流网的动态性质	67
5.2.1	结构保持性	67
5.2.2	行为保持性	68
5.2.3	性质保持性	70
5.3	示例	71
5.4	工作流集成建模与分析	75
5.4.1	交通信息服务网格系统简述	75
5.4.2	分层工作流模型	77
5.4.3	工作流集成模型	80
5.5	本章小结	83
第 6 章	时间 Petri 网的精炼操作	85
6.1	时间 Petri 网的精炼操作	87
6.1.1	时间 Petri 网	87
6.1.2	时间 Petri 网的精炼操作	90
6.2	时间 Petri 网精炼操作的行为和性质保持性	91
6.2.1	行为保持性	91
6.2.2	性质保持性	94
6.3	精炼时间 Petri 网的可达性判定	96
6.4	示例	98
6.5	本章小结	104
第 7 章	Web 组合服务的混合建模及其分析方法	106
7.1	基于同步合成技术的自底向上的建模及其分析方法	107
7.2	基于 OWL-S 的组合服务模型	109

7.2.1	控制流网	109
7.2.2	数据流网	111
7.2.3	组合服务的集成模型	113
7.3	组合 Web 服务的混合建模及其验证	114
7.3.1	建模方法	114
7.3.2	基于建模方法的验证	115
7.4	示例：在线购书服务 BuyOnline	118
7.5	相关工作	122
7.6	本章小结	123
第 8 章	结论与展望	124
8.1	结论	125
8.2	进一步研究工作	126
	参考文献	128
	后记	142

第 1 章

绪 论

1.1 Petri 网理论发展与应用

Petri 网(Petri Net)是并发系统的建模和分析工具。作为一种既具有图形表达能力又具有严格数学定义的模拟工具,Petri 网特别适于描述系统中进程或部件的顺序、并发、冲突以及同步等关系。

Petri 网的概念是 1962 年由德国科学家 Carl Adam Petri 在他的博士论文“Communication with Automata”(用自动机通信)中首先提出来的^[1]。为了使并发这一概念直观化,论文中提出了一种用于描述物理进程和物理系统的组合的网状模型。由此发展起来的一类系统模型,后来被人们称为 Petri 网。20 世纪 70 年代初,Petri 网的概念和思想方法受到欧美学者的广泛关注。人们对 Petri 网的各种性质的研究,以及把 Petri 网应用于各种实际系统的建模和性质分析的论文和研究报告开始大量涌现。1981 年 Peterson 出版了第一本 Petri 网的专著,书中罗列了 1980 年前发表的大部分有关 Petri 网的论文^[2-3]。随之相关的国际会议也陆续召开,自 1980 年开始的每年一次的 Petri 网理论与应用国际会议的会议论文集以计算机科学序列讲义(Lecture Notes in Computer