



中国科学院软件研究所

杰出青年人才发展专项计划年度进展报告书

(2012 年度)

姓名	乔颖	课题名称	面向复杂反应式系统的实时推理技术研究
资助金额	160 万	课题起止时间	2010 年 1 月--- 2013 年 12 月
资助类别	应用基础研究	所在部门	人机交互与智能信息处理实验室

研究工作主要进展和阶段性成果（含论文、研究生培养等）

1. 主要进展与阶段成果

（1）具有硬实时约束的规则推理方法研究

对于航空航天、智能电网、生产过程控制等硬实时应用来说，规则推理的实时约束必须予以保证，而推理过程的不可预测性，则对此提出了极大的挑战。为应对这一挑战，本课题首次给出了具有硬实时约束的规则推理问题的定义，提出了基于分层端对端调度的实时推理方法。该方法将规则推理过程转化为一系列非周期的特殊两级端对端硬实时推理任务（推理任务的前续子任务在同一处理器上运行，后继子任务在若干处理器上运行），通过局部优先级分配，将两级端对端调度问题转化为了单机调度问题。在各处理器上，采用 EDF 调度算法对推理任务的子任务--- 规则匹配任务或规则执行任务进行调度，并利用基于处理器合成利用率的准入控制方法保证了各处理器上子任务的截止期，从而保证了规则推理的时间约束。相关工作发表在重要的国际学术会议(RACS)与期刊(ACR)上。

作为上述工作的改进，我们还对单处理器上非周期硬实时任务的在线可调度分析方法进行了研究，提出了改进的基于任务利用率的任务准入算法以及非周期任务的最优任务准入算法，提高了各处理器上对推理子任务准入控制的效率，从而提高了规则推理任务的时间约束成功率。相关工作已整理成学术论文，已投稿 ECRTS 会议。

(2) 分布式实时主动规则推理方法研究

分布式主动规则推理是复杂实时系统推理方法研究中的重要内容，本年度，本课题继续对此进行了研究。我们将分布式实时主动规则推理问题转化为了普式两级端对端硬实时推理任务的调度问题。在此，各前续子任务负责规则匹配，运行在若干规则匹配处理器上；各后续子任务负责规则执行，运行在若干规则执行处理器上。解决普式两级端对端硬实时推理任务调度问题的难点在于：由于推理任务的前继子任务---规则推理子任务的运行结果会影响其后续子任务的运行时间，因此，如何在这种情况下，找到在推理任务时间约束成功率方面最优的两级端对端任务调度方法，便成为了一个十分具有挑战性的问题。目前，本课题正围绕着该难点问题进行研究，拟借鉴面向具有概率的运行时间的实时任务调度方法对该问题加以解决。该部分工作的工作成果将整理为学术论文，投稿 RTSS 会议。

(3) 不确定实时推理方法研究

本年度，本课题对不确定实时推理方法的研究主要集中在基于概率的不确定推理上。本课题提出了基于点事件的不确定复合事件模型，并利用贝叶斯网络求解实现了基于点事件的不确定复合事件检测。此外，本课题还研究了基于时段事件的不确定复合事件模型，在此，本课题给出了基于高斯分布的不确定时段事件模型，并在基础上，正在研究基于时段事件的不确定复合事件检测方法。该部分工作的工作成果将整理为学术论文，投稿 VLDB 会议。

(4) 实时多智能体平台 AgiBuilder 研发

为了给分布式主动规则推理提供实现框架，本年度，本课题继续对实时多智能体平台 AgiBuilder 进行研发。该平台提供了开发实时智能体系统的基本框架和功能，包括智能体和任务模型、网络通讯、智能体管理和实时调度机制以及图形化的多智能体系统开发环境。本年度在对 AgiBuilder 实时调度机制的研发中，本课题针对多智能体系统的任务特点，提出了面向资源的调度方法。该方法给出了实时智能体内的硬实时任务调度算法以及智能体间的任务迁移方法，相对于传统的以处理器为唯一资源的调度，更具通用性。此外，本课题还研发了实时多智能体的图形化开发环境，提出了实时多智能体的图形化建模语言。这一部分工作的成果已申请了软件著作权，目前正被应用于国家电网智能配电网自愈控制系统的研发中，为智能配电网自愈控制系统高级应用与测试软件提供开发平台。同时，正在准备相关的学术论文。

（5） 基于主动规则的实时推理系统原型实现与案例实现

本年度，本课题集成了所提出的一系列实时推理算法与推理最坏运行时间分析方法，继续对基于主动规则的实时推理系统原型进行了实现。该系统可针对输入的事件，根据规则库中的 ECA 规则，推理出响应事件的动作决策。同时，用户可在线地对规则库中的规则进行增加、修改与删除，且在此期间，推理机不必停机。系统的主要部件包括：基于 ECA 规则的实时推理引擎、ECA 规则处理中间件、ECA 规则制定工具、ECA 规则推理可视化工具以及规则调试与分析工具。

实时推理引擎是 RERS 的核心，通过可配置的动态图结构以及相应的回滚机制，集成基于启发式图搜索的具有时间约束的主动规则推理算法以及基于分层端对端调度的实时推理方法，完成 ECA 规则的匹配，并在此过程中支持 ECA 规则的在线修改。ECA 规则制定工具提供了 ECA 规则的图形化描述语言，以及 ECA 规则的自动编译，使用户可根据需求以图形化方式定义推理系统的规则集。ECA 规则推理可视化工具可支持对规则推理过程的可视化展示；规则调试与分析工具则集成了基于分层结构的推理最坏运行时间估算方法，可提供对推理系统最坏运行时间的分析与预测。相关工作正在准备专利申请。

同时，该原型被应用在了实时老人家庭监护这一应用案例中。相关工作发表在国内一级学术刊物上。

2. 国内外学术交流情况

本年度所进行的学术交流情况如下：

（1）2012 年 4 月 20 日：课题组与来自美国 Washington University at st. Louis 的吕晨阳教授进行了学术交流。对基于 EDF 可调度分析方法的具有硬时间约束的主动规则推理算法进行了深入讨论。

（2）2012 年 9 月 24 日： 美国 Notre Dame 大学的胡晓教授访问实验室。课题组向胡晓波教授介绍了在面向硬实时系统的实时推理方法研究上的进展，并与胡晓波教授针对基于分层端对端调度的实时推理方法进行了深入讨论。

（3）2012 年 4 月 17-19 日参加 IEEE Real-time and Embedded Technology and Applications Symposium 会议。与参会学者讨论了 CPS 系统调度问题。

3. 研究生培养情况与论文发表情况

本年度通过本课题培养硕士生三人，其中一人获得硕士学位。本年度发表及录用论文四篇，其中，国际期刊一篇，国际会议一篇，国内一级学报两篇；已投稿两篇。本年度获得软件著作权一项；正在申请专利两项。

下一年度工作计划，包括国内外合作与交流计划

1. 下一年度研究工作计划

- (1) 面向硬实时系统的分布式实时规则推理方法研究：提出基于特殊两级端对端实时任务调度的最优推理方法；深入研究基于普式两级端对端实时任务调度的推理方法；继续研究多机环境下基于实时多智能体的硬实时推理算法。
- (2) 不确定实时推理方法研究：继续研究基于时段事件的不确定复合事件模型及其检测方法；继续研究基于模糊 ECA 规则的实时推理方法。
- (3) 进一步完善基于主动规则的实时推理系统原型，集成在分布式实时推理、不确定实时推理上的新的研究成果。
- (4) 在相关领域顶级会议上发表文章 1-2 篇。
- (5) 申请专利 1-2 项。
- (6) 申请软件著作权 1-2 项。

2. 下一年度国际合作与交流计划

- (1) 继续与吕晨阳教授就硬实时推理中的调度算法与可调度分析方法进行交流与合作
- (2) 继续与胡晓波教授就基于端对端实时任务调度的最优推理方法进行讨论与合作
- (3) 参加 IEEE Real-time and Embedded Technology and Applications Symposium 会议
- (4) 参加 IEEE Real-time Systems Symposium 会议

年度经费使用情况概要
<p>课题 2012 年度共支出 42 万元，其中设备费 5.73 万元，主要用于设备的购置；测试化验加工费 2.63 万元；燃料动力费 5 万元，主要用于设备耗电和空调运行费用；差旅费 2.71 万元，用于项目差旅交通费用；出版费用 1.83 万元，主要用于出版、文献、信息传播及知识产权事务费；劳务费 15.7 万元，支付学生及聘用职工劳务费以及间接费用 8.4 万元。</p>
存在的问题、建议及其他需要说明的情况
<p>进一步加强国际学术合作与交流，争取高质量学术论文的发表。</p>

备注：1.杰出青年人才入选者应实事求是地填写此报告，禁止弄虚作假；
2.此报告作为专项计划跟踪、管理的主要依据，每年报送人力资源处；
3. 此报告将在所网站对外发布。