

基于 Multi-agent 协同模式的城市应急联动系统

熊立春, 陈建宏, 石东平, 杨立兵, 杨珊

中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083

摘要 针对目前城市应急联动系统缺少系统集成、未集中管理、智能程度不高、易形成信息孤岛等局限性, 通过分析城市应急联动系统协同模式的相关特性, 认为它与多代理 (Multi-agent) 的特性, 特别是协作性有很强的契合度。以 Multi-agent 理论为基础, 针对集监控、预警和救援为一体的城市应急联动系统, 提出了一种基于 Multi-agent 技术的分布式城市应急联动系统的体系结构, 这种智能系统更具感知性、主动性和自适应性。通过对系统内部结构的细化, 确立了该系统的结构模型。在此基础上, 就应急联动系统的接警、分析判断、处警等信息处理的流程进行分析, 并借助 Multi-agent 技术的优点, 基于构建的 Multi-agent 系统, 分析了它们之间的成员及其协同关系; 运用黑板模型和合同网模型, 对城市应急联动系统的协同机制进行研究, 设计了一个应急联动系统综合协同运行控制方案。

关键词 多代理; 协同模式; 黑板模型; 合同网模型; 应急联动系统

中图分类号 X924.4

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.05.004

Multi-agent Based on City Coalition Emergency Response System with a Cooperative Mode

XIONG Lichun, CHEN Jianhong, SHI Dongping, YANG Libing, YANG Shan

School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract Aiming at the current limitations of the City Emergency Response System (CERS), such as lack of system integration, uncentralized management, lower intelligence technology, and its accessibility to form the information isolated island, the related properties of the CERS's collaborative model are analyzed. Then, it is deemed to its properties, especially its cooperativeness, agree completely with the characteristics of the multi-agent. For this reason, based on the multi-agent technology, the system architecture of distributed CERS in the collaborative mode is proposed; the system is an integration of monitor, early warning, and rescue in CERS, and has more powerful perceptiveness, initiative, and self adaptability. Meanwhile, the structure of multi-agent systems is refined, and its structural model is sequentially established. Thus, on this basis, the course of information processing involving alarm receiving, analysis and judgment, and alarm processing is discussed in details. At the same time, based on the multi-agent system, its members and coordination between them in the system are considered. Finally, by using the blackboard model and contract net model, the coordination mechanism of CERS is studied. In addition, a comprehensive and collaborative operation control scheme on CERS is designed.

Keywords multi-agent; cooperative mode; blackboard model; contract net model; CERS

0 引言

随着城市现代化步伐的加快和信息化建设的提升, 城市对应急联动系统建设水平的要求越来越高; 同时各种突发灾害事件的频繁发生, 对联动系统的快速响应能力的要求也越

来越迫切。在重大灾害面前, 系统是否能迅速快捷地进行事故预警、准备、接警、分析、处警及联动协调已成为衡量政府为民服务的重要指标。同时, 如何在应急管理中整合各方资源, 协同工作, 提高应急响应的速度和效率并建设一个能够

收稿日期: 2011-11-15; 修回日期: 2012-01-04

基金项目: 湖南省博士生科研创新项目 (CX2010B123)

作者简介: 熊立春, 博士研究生, 研究方向为城市公共安全信息化, 电子信箱: 281621877@qq.com; 陈建宏 (通信作者), 教授, 研究方向为资源经济及安全应急管理, 电子信箱: cjh@263.net

满足突发事件快速应对要求的应急联动系统是当前应急管理迫切要求。

张佰成的城市应急联动系统^[1]、王文俊的突发公共事件应急系统^[2]、寇有观的国家应急响应信息系统^[3]、张兴凯的城市安全规划及应急地理信息系统^[4]、田依林的城市公共安全应急管理信息系统^[5]等都是基于非智能体系架构模式下的应急联动系统研究。2006年,史忠植提出了一个基于主体网格的城市应急联动与社会综合服务系统,该系统基于多主体集成环境 MAGE 开发,具有较强的智能性,但对主体的应用主要限于通信及模块整合^[6]。

本文以城市应急联动系统为研究对象,以系统内警情处理流程为研究内容,采用基于 Multi-agent 的人工智能研究方法,以协同的观点重构了系统的运行方式和处理方法,并以不同的协作方式对不同主体之间的协同性进行设计。本文的多主体系统是指应急联动阶段的城市应急指挥中心、各应急联动部门乃至更上一级(省级、国家级)的应急部门。

1 Multi-agent 理论

Multi-agent 是一种由多个 Agent 组成的分布式自主系统。Multi-agent 的功能是通过 Agent 之间的交互实现的,多个 Agent 之间通过相互协作、相互支持以完成系统的共同目标。Multi-agent 技术特别适用于那些物理分布或逻辑结构上具有分布特点的应用领域,已成为分布式人工智能领域的一个研究热点^[7]。

多主体系统由若干不同的主体组织在一起,每个主体在系统中充当不同的角色,对系统的运行起着不同的作用。在表达实际系统时,Multi-agent 通过各 Agent 间的通讯、合作、互解、协调、调度、管理及控制来表达系统的结构、功能及行为特性。Multi-agent 系统除了具有个体 Agent 的基本特性外,还具有社会性、协作性、智能性和适应性等特性。

2 城市应急联动系统的组成

从管理的角度来看,城市应急联动系统是提供给政府部门联合应急的系统处置平台,具有信息共享、决策、调度和快速应急处置职能,能够有效和快捷地为市民在突发事件发生时提供紧急救援,在平常时期提供综合服务。

城市应急联动系统集成计算机、通信、网络、GIS、图形图像、GPS、数据库、视频监控和信息处理等多种先进技术于一体,一般包含有接处警系统、通信调度系统、无线通信系统、计算机网络系统、语音记录系统、无线数据传输系统、视频图像传输系统、电源系统、城市地理信息系统、移动目标定位系统、移动通讯指挥车系统、机房监控系统等(图 1)。

3 城市应急联动系统的协同模式与 Multi-agent 的协作

城市应急联动系统按照建设模式可分为授权模式、集权模式、代理模式和协同模式 4 种。协同模式是多个不同类型、



图 1 城市应急联动系统技术及功能组成
 Fig. 1 Technology and functional components of city coalition emergency response system

不同层次的指挥中心和执行机构通过网络组合在一起,按照约定的流程,分工协作、联合指挥、联合行动。协同模式的特征是:应急联动机制由多类型、多层次的指挥系统构成,通常由一个应急指挥中心、多个联动部门和更多个基层远程协同终端构成^[1]。

Multi-agent 的协作是指 Agent 之间互相配合一起工作,多个 Agent 协作完成大型复杂问题求解的能力是单个 Agent 不可比拟的。建立多 Agent 系统的目的在于解决单个 Agent 难以处理的复杂问题,即任务在时间或空间上的复杂性超越了个体的能力,仅依靠个体行为的实现是不可能、不经济、不完整或不精确的,此时协作成为必不可少的行为。

协同模式下应急联动系统的核心在于整合城市各个应急联动部门的处置力量,合理梳理应急处理流程,形成一个一体化、透明化、网络化的城市应急联动系统,实现突发事件发生时政府和部门管理的协同效应,达到城市整体应急救援能力及资源的优化配置,增强整个城市的应急管理能力和应急响应能力。Multi-agent 具有许多良好特性,特别适用于构建协同模式下的应急联动系统。

对于基于 Multi-agent 的城市应急联动系统来说,每一个 Agent 都是自治的、实时性很强的基本模块单元,各个高度自治的 Agent 相互作用、相互合作与相互协调,构成了一个实时性很强的分布式联动功能实体。图 2 描述了一种典型的协同模式下网络分布式 Multi-agent 城市应急联动系统的总体结构。城市应急联动指挥中心 Agent 处于全局调度与决策的地位,称为集中 Agent 集;各个应急联动部门 Agent 主要完成应急的各项实际功能,称为分散 Agent 集。城市的分散 Agent 集通过通信网络和信息平台相互沟通与交流,直接进行信息交互。在每个联动部门 Agent 的外围都分布着无数大大小小的基础终端 Agent,称为基层 Agent 集,它们是应急处置力量的最基层也是最直接单位。集中 Agent 集起着综合协同和决策作用,对城市的其他联动部门 Agent 集进行集成与综合,完成应急任务^[8-10]。

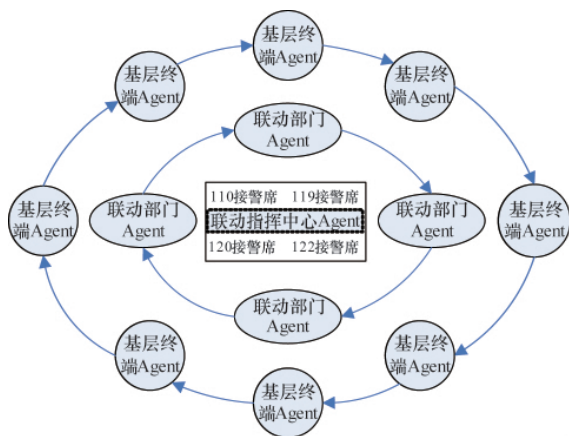


图 2 基于 Multi-agent 的分布式协同网络
应急联动系统体系结构

Fig. 2 Architecture of multi-agent based distributed cooperative network of coalition emergency response system

4 基于 Multi-agent 协同模式的城市应急联动系统结构

4.1 基于 Multi-agent 的城市应急联动系统结构

根据城市应急联动系统的内容和多 Agent 的特点,对 Multi-agent 城市应急联动系统进行内部结构的细化,图 3 给出了一个应急联动系统的多 Agent 框架结构模型。

Agent 主要有如下几种^[1]。

(1) 管理协作 Agent:管理协作 Agent 是整个系统的核心,负责系统中各个 Agent 的通信协作,其中全局性黑板负责全局的通信、任务分配和初始化协作活动,维护和监督协作任务的进展,处理来自其他 Agent 的协作请求、冲突消解和功能 Agent 新增等管理协调工作。

(2) 约束 Agent:约束 Agent 包括处置信息约束和资源约束两部分,处置信息约束主要模拟现实危机应急中的各种限制,包括时间限制、法规限制等;资源约束包括查询系统资源库中各种资源的存量,在出现资源不足时提出告警信息等,主要为决策 Agent 的决策提供服务。

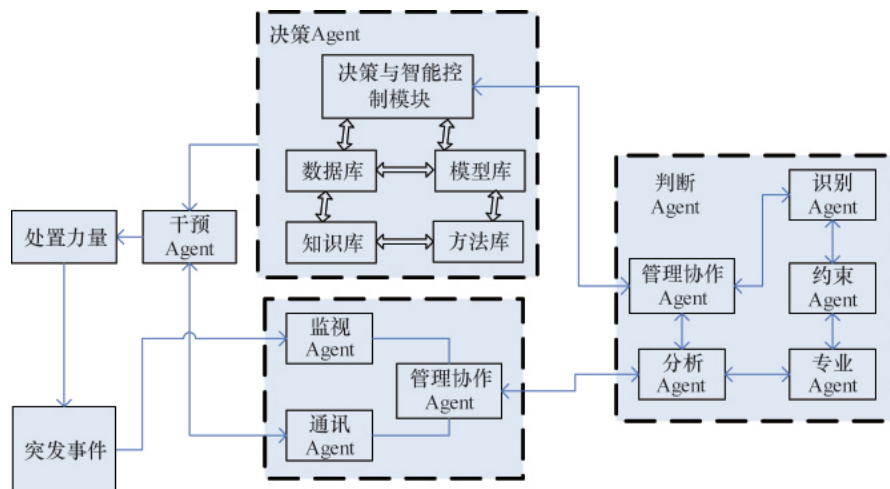


图 3 基于 Multi-agent 的应急联动系统结构模型

Fig. 3 Architecture model of multi-agent based city coalition emergency response system

(3) 专业 Agent:专业 Agent 模拟现实危机应急中各类专家的专业支持,如相关数据的处理和分析方法、复杂模型的计算、损失估计等。

(4) 决策 Agent:决策 Agent 主要根据输入的相关信息,在约束 Agent 的限制下,综合本 Agent 内数据库、知识库和模型(必要时可以通过黑板请求专业 Agent 的协作)完成决策,给出决策措施。

(5) 功能 Agent:功能 Agent 具有与各自功能相适应的背景知识和学习推理能力,能够根据这些能力和知识进行相关问题求解。如果对某个问题的求解需要其他 Agent 的协助,功能 Agent 将通过通信模块向协同 Agent 提出协作请求,在协同 Agent 的协调下完成相应功能。功能 Agent 包括监视 Agent、干预 Agent、处理 Agent、分析 Agent 和识别 Agent,见表 1。

表 1 功能 Agent 的功能

Table 1 Functions of functional agent

| Agent | 功能 |
|----------|--|
| 监视 Agent | 从接警系统中取出接警席处理完的接警信息,并完整地交给处理 Agent |
| 处理 Agent | 统一接警信息的数据格式和定义,过滤与本系统无关的数据,对数据进行编号 |
| 分析 Agent | 完成信息的有效性分析,剔除无效值,并获取各子系统的工作状态 |
| 识别 Agent | 与其他功能 Agent 进行信息交互、多源信息融合,判断突发事件的当前状态,确定外警等级 |
| 干预 Agent | 根据决策结果,将决策措施转换为正常的、可以被识别的处理信息传送给处置力量组 |

4.2 城市应急联动系统信息处理的流程

城市应急联动系统的工作流程^[12-13]如下。

(1) 监视 Agent 从系统接警中心计算机取出报警单的相关数据,并以一定的时间间隔不断向接警席计算机进行轮询,一旦发现有接警单完成就马上获取并送达处理 Agent。

(2) 处理 Agent 得到接警单后,按照系统统一的数据格式和定义,对粗略零散的报警单信息进行加工,形成统一的、可以被决策系统识别的标准信息流。

(3) 信息经过处理 Agent 完成后,系统自动联系专业 Agent 和分析 Agent 在已经掌握的标准信息上进行分析计算,得出各自的处理结果,并生成报告,交由识别 Agent 进行分析。

(4) 根据(3)得到的相关态势,识别 Agent 识别出当前警情级别。警情一般包括一级、二级、三级警情。系统根据警情级别、发生地点及其他要素,做出提示应由哪些处警单位处置。

(5) 根据(4)得到的 3 种结果,系统提取相应的处理预案,按照系统的规定处置措施,通过干预 Agent 进行派警信息传达。

(6) 系统完成处警调度后,通过通讯 Agent 进行跟踪监控,及时得到现场处理信息的反馈。将不断得到的信息传递到判断 Agent,判断 Agent 再根据信息情况按照事件性质、严重程度、可控性和影响范围等因素将态势分成 4 级,特别重大的是 I 级,重大的是 II 级,较大的是 III 级,一般的是 IV 级。判断 Agent 根据得到的当前态势结果,判断是否需要启动联动协同机制。

(7) 根据(6)中的判断结果进行下一步的行动,如果不需要联动,则按照系统事前制定的预案执行,如果预案库中找不到相似问题的预案,处警单位也不能现场解决问题,则将事态信息转至决策 Agent,由决策 Agent 进行分析。这个过程需要专业 Agent 进行相关领域专业问题的解答,分析 Agent 进行事态模型和沙盘分析,通过专业的决策支持系统的介入,得出的一套切实可行的最优行动处置方案。

(8) 方案生成后,将其发送至干预 Agent,由于干预 Agent 进行救援工作的分配。救援工作包括:人员救助、工程抢险、警戒与交管、医疗救护、人群疏散、环境保护、现场检测。

(9) 不断跟踪现场动态,对现场处置状况进行评估,如果方案效果不明显且事态有进一步扩大趋势,则申请响应升级。信息流转入到决策 Agent,再次进行决策分析,得出解决方案并执行,直到事态得到较好的控制。

(10) 在事态得到平息控制后,进行应急联动恢复工作,包括现场清理、解除警戒、善后处理、事故调查。

图 4 静态反映了多 Agent 的城市应急联动处理过程,在实际应用中,该应急处理过程是个动态的过程,各个 Agent 可以并行工作,在不同的系统建设模式下多 Agent 系统的运行流程也不尽相同。

5 基于 Multi-agent 的城市应急联动系统协同机制分析

Agent 之间的协作是实现多代理问题求解所必需的。基

于多代理的城市应急联动系统是一个多层分布式的协作处理系统。应急过程的决策与救援表现在 Agent 对突发应急事件的处理认识上,Agent 由此产生解决问题的意图。在此过程中它会与其他 Agent 合作共同处理问题,Agent 会根据实际情况选择协作对象,并且可以使协作更加高效地完成。Agent 之间的通信与协作主要指应用 Agent 与各专业 Agent 的通信,应急指挥中心 Agent 与各应急联动部门 Agent 之间的相互通信与协作,以及联动部门 Agent 之间的交流与协作。Agent 之间的交互是通过不同的协作方式来进行的,主要包括黑板模型协作方法与合同网模型协作方法。

5.1 联动部门 Agent 之间的协作

城市应急联动系统的联动部门在处置救援现场过程中,会因新情况新形式的不断出现,而动态出现作业新任务,这时单一的联动部门处警就可能存在问题解决方面的瓶颈,如警种单一、手段落后、决策支持简单等困难,它需要联合处在同一个层次上的其他联动部门来共同解决,这时处警的单位需要将新任务分解成不同的子任务,并把子任务按照一定规则分配给各个协同者,它们之间共同调度,协同解决问题,这种调度方式与合同网协议的思想非常吻合,因此联动部门 Agent 之间的协商机制采用合同网协同机制。

合同网方法^[14]由加拿大学者 Smith 于 1980 年提出,其思想源自人们在商务过程中用于管理商品和服务的合同机制。在合同网方法中,所有 Agent 分为两种角色:管理者和工作者,并且不需要预先规定 Agent 的角色,任何 Agent 均可通过发布任务通知书而成为管理者,也可通过应答任务通知书而成为工作者。这一灵活性使得任务能够被层层分解分配。

当一个联动部门 Agent 节点发现自己没有足够的知识或能力独自处理当前的任务,或需要把一个任务分解成几个子任务并与其他节点协同求解时,联动部门 Agent 即成为管理者,通过发布任务通知书给其他可能的合作者,从返回的投标中选定“最合适”的工作者 Agent,将子任务分配给这一 Agent,并建立相应的合同,协同过程随之开始。

在协同通讯过程中,采用知识查询与操纵语言 (Knowledge Query and Manipulation Language, KQML)、智能体通信语言进行通讯,系统除了会用到原始行为原语之外,为了更好地进行通讯和支持智能体之间的协作,系统还需定义一些新的通讯原语,如图 5 中的 <cfp>, <propose>, <reject-proposal>, <accept-proposal>, <failure>, <inform-done>。

在发布标书的过程中,如果对所有的应急联动部门 Agent 都发送标书,将会造成后续的工作量加大和网络通讯的拥堵,所以系统一般按照经验发给可能适合处理该问题的多个联动部门 Agent。标书的内容应当规定了投标 Agent 满足的条件和投标截止时间,这样也限定了投标方 Agent 在规定的时间内按要求进行评估选择。当然,如果一个投标 Agent 不能提供一个满意的解或出现意外不能求解时,招标 Agent 可为任务寻求另一个投标 Agent^[15]。

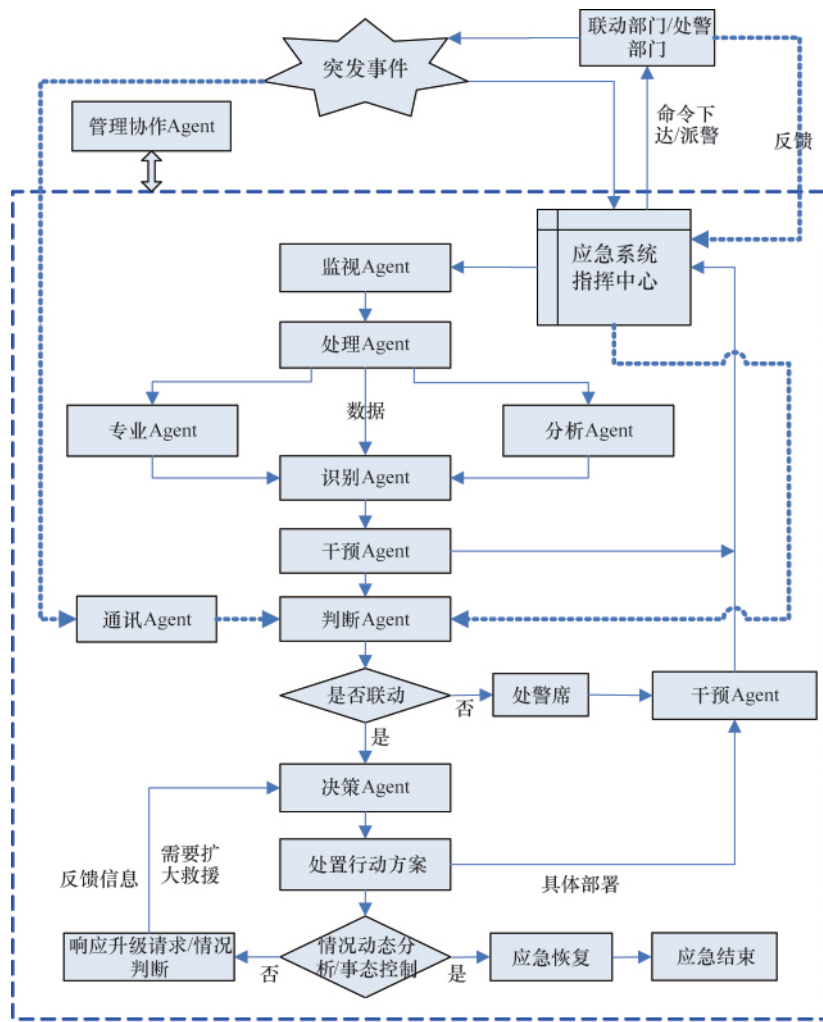


图 4 基于 Multi-agent 的城市应急联动系统流程

Fig. 4 Flowchart of multi-agent based city coalition emergency response system

5.2 应急指挥中心 Agent 与联动部门 Agent 协作

应急联动中心 Agent 与联动部门 Agent 之间的协同交互属于上层与下层之间的关系,它们之间的协同类似于黑板模型交互方式,适于采用该策略模型作为协作方法。

黑板模型协作方法中,黑板是一个公共存储区域,它记录了各 Agent 的输入输出数据和计算结果数据,并能被所有的 Agent 所访问。黑板模型的基本思想是:将黑板作为一个协作媒介,通过黑板这个共享的问题求解工作空间,多个 Agent 相互交换对自己所求解的问题有用的数据信息和经验知识。当某个 Agent 发现黑板上的信息足以支持它进一步求解问题时,它就求解结果记录在黑板上。新增加的信息有可能使其他 Agent 继续求解。重复这一过程直到问题彻底解决,获得最终结果^[6]。

应急联动中心确定启动协同机制后,所有 Agent 都处于工作状态,监控事故现场的事态发展,事态数据经通讯 Agent、数据采集和信号调理后传送给应急联动指挥中心的判断 Agent 和识别 Agent,该 Agent 如果能完成该事故的识别与

诊断,并可以做出相应的处警,则安排干预 Agent 进行下一步事故的救援动作;如果判断 Agent 认为该事故的最新事态单一部门不能完成处置或者找不到合适的方法解决,则申请联动协同机制,并通过黑板向应急联动指挥中心 Agent 发出协作任务请求,联动指挥中心 Agent 在收到任务请求后,就在公共黑板(即其内嵌的全局黑板)上发布该请求信息,同时分析任务的性质。指挥中心 Agent 在一组可能预先已存在的联动部门 Agent 间协调其智能行为,向联动部门 Agent 发出任务协作要求,使它们通过协调其知识、目标、技能、计划,以共同采取行动或求解问题。联动部门 Agent 可能为单个目标或多个既独立又相互作用的目标工作,各联动部门 Agent 之间共享关于问题和解的知识。相应联动部门 Agent“看到”任务请求后,对自身的工作任务和当前状态做出判断,决定是否采纳该任务请求。如果能对事故进行专业上的处理和救援处置,则应急联动指挥中心 Agent 协调相应的应急联动部门 Agent 执行事故救援行动,并将决策结果存入自己的知识库中,以便下次发生类似事件可以快速识别和诊断,这称为

Agent 的一个学习过程^[7-18]。

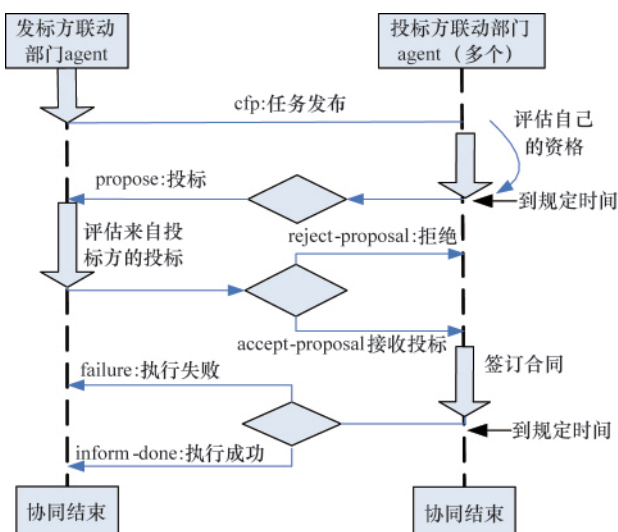


图5 联动部门 Agent 间合同网协同工作过程

Fig. 5 Contract net cooperative process among coalition department agents

6 结论

突发事件的多主体应急联动系统是一个以突发事件应急响应全过程为主线,涵盖各类突发事件监测监控、报警、接警、多主体联合处置、善后和灾后重建等环节的复杂巨系统。本文提出了一种新的基于多 Agent 技术的城市应急中心系统的设计方案,基于该方案设计的系统有利于各功能之间的协调交互、维护更新以及区域系统之间的广泛联动。与原有的系统相比,该设计方案具有模块化程度较高、运行速度较快、鲁棒性和可扩充性较强等优点。

Multi-agent 技术在城市应急联动系统中的应用,从整体上提高了联动系统的智能性、可靠性和灵活性。目前 Multi-agent 系统(MAS)的研讨还处于发展阶段,理论与方法的讨论有其潜在的发展前景,特别是 MAS 的协同思想对联动系统的软件工程构成了潜在的挑战,它将会引起应急联动系统的重大改革。

此外,本文从 Multi-agent 的角度构建了城市应急联动系统模型,并利用 Multi-agent 技术研究城市应急联动系统的信息协同机制和问题协同解决机制,在一定程度上简化了各个协作单位联动的行为规则,但却忽略了不同处置力量在处理问题的规则、力量等方面的差异。这些方面有待进一步的研究和拓展。

参考文献 (References)

- [1] 张佰成, 谭伟贤. 城市应急联动系统建设与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
Zhang Baicheng, Tan Weixian. The construction and application of city emergency response system[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [2] 王文俊. 突发公共事件应急信息系统及其技术体系[J]. 信息化建设, 2005(9): 18-20.

- Wang Wenjun. *Informatization Construction*, 2005(9): 18-20.
- [3] 寇有观. 国家应急信息系统总体框架研究 [J]. 办公自动化, 2003, 6(3): 4-5.
Kou Youguan. *Office Informatization*, 2003, 6(3): 4-5.
- [4] 张兴凯. 城市应急信息系统建设与开发[J]. 劳动保护, 2004(4): 26-29.
Zhang Xingkai. *Labour Protection*, 2004(4): 26-29.
- [5] 田依林. 城市公共安全应急管理信息系统建设模型[J]. 武汉理工大学学报:信息与管理工程版, 2007, 28(3): 68-71.
Tian Yilin. *Journal of WUT: Information & Management Engineering Edition*, 2007, 28(3): 68-71.
- [6] 史忠植, 施智平, 罗杰文, 等. 城市应急联动系统 GEIS[J]. 数字通信世界, 2006, 2(7): 11-15.
Shi Zhongzhi, Shi Zhiping, Luo Jiewen, et al. *Digital Communication World*, 2006, 2(7): 11-15.
- [7] 史忠植. 高级人工智能[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
Shi Zhongzhi. *Advanced artificial intelligence*[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [8] Sycara K P. Multi-agent systems[J]. *AI Magazine*, 1998, 19(2): 79-92.
- [9] Rabelo R J, Camarinha-Matos L M, Afsarmanesh H. Multi-agent-based agile scheduling[J]. *Robotics and Autonomous System*, 1999, 27(1): 15-28.
- [10] Krothapalli N K C, Deshmukh A V. Design of negotiation protocols for multi-agent manufacturing systems[J]. *International Journal of Production Research*, 1999, 37(7): 1601-1624.
- [11] 郭齐胜, 董志明, 李亮, 等. 系统建模与仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
Guo Qisheng, Dong Zhiming, Li Liang, et al. *System modeling and simulation*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2007.
- [12] 赵林度, 杨世才. 基于 Multi-agent 的城际灾害应急管理信息和资源协同机制研究[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 139-143.
Zhao Lindu, Yang Shicai. *Journal of Catastrophology*, 2009, 24(1): 139-143.
- [13] 崔艳萍, 唐祯敏, 武旭. 基于 Multi-agent 的地铁事故应急处理系统研究[J]. 铁道学报, 2004, 26(3): 8-12.
Cui Yanping, Tang Zhenmin, Wu Xu. *Journal of The China Railway Society*, 2004, 26(3): 8-12.
- [14] Smith R G. The contract-net protocol: High level communication and control in a distributed problem solver[J]. *IEEE Transation on Computers*, 1980, C-29(12): 1104-1113.
- [15] 高阳, 曾小青, 周伟. 多智能体协同生产管理及其系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
Gao Yang, Zeng Xiaoqin, Zhou Wei. *Research on multi-agent based collaborative production management and system*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [16] 郭茂耘. 基于多 Agent 的航天发射应急处理系统研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
Guo Maoyun. Study on emergency system for the crisis based on multi-agent[D]. Chongqing: Chongqing University, 2004.
- [17] 王斌, 张尧学, 陈松乔. 分布式环境下代理协同的主动黑板结构设计模式[J]. 计算机工程, 2004, 30(9): 147-149.
Wang Bin, Zhang Yaoxue, Chen Songqiao. *Computer Engineering*, 2004, 30(9): 147-149.
- [18] 贾利民, 刘刚, 秦勇. 基于智能 Agent 的动态协作任务求解[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
Jia Limin, Liu Gang, Qin Yong. *Intelligent agent based dynamical collaboration mechanism for complex task solving* [M]. Beijing: Science Press, 2007.

(责任编辑 马宇红, 代丽)