

基于 Multi-Agent 的城际灾害应急管理信息和资源协同机制研究^{*}

赵林度, 杨世才

(东南大学 系统工程研究所, 江苏 南京 210096)

摘 要: 以 Multi-agent System 理论为基础, 从 Multi-agent 的角度分析了城际灾害应急管理系统的结构, 构建了基于 Multi-agent 的城际灾害应急管理系统。借助 Multi-agent 技术的优点, 运用黑板理论和模型, 对城际灾害应急管理的信息协同机制进行了研究。在信息协同机制分析的基础上, 设计了一种城际灾害应急管理资源协同机制。研究表明: 基于 Multi-agent 的城际灾害应急管理信息和资源协同机制, 能够很好地促进城际灾害应急管理系统中的信息共享和资源优化配置, 产生协同效应, 提高城际灾害应急管理的水平, 保障城市安全与稳定。

关键词: 灾害; 应急管理; 城际; Multi-agent; 协同机制

中图分类号: X4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)01-0139-05

0 引言

目前, 中国正处于经济学家所预言的“非稳定状态”频发的“关键时期”^[1], 即人均国民收入水平处于发展阶段, 来自自然和社会的突发事件都有可能引发城市灾害, 并在都市圈中产生连锁反应, 如 2003 年初爆发的 SARS 事件、2005 年 11 月哈尔滨全市停水事件、2007 年 5 月无锡蓝藻事件、2008 年初南方部分地区的雨雪冰冻灾害, 这些突发事件在给城市 and 都市圈带来巨大灾害的同时, 无不以深刻的教训验证了中国城市公共危机综合管理能力的不足, 特别是城市之间灾害应急管理能力的不足。

我国已经形成了环渤海湾经济区、长三角经济区、珠三角经济区等 3 大经济区, 而且南京、武汉等城市也在积极构建“1 小时都市圈”, 这些都极大地方便了城际间的交流, 促进了都市圈经济的发展。都市圈这种呈圈层状布局的空间组织形式^[2], 使圈中各个城市的联系更为紧密, 经济活动更加密切^[3]。Bryson 和 Crosby 认为, 城市在灾难发生后能否迅速做出适当的反应体现了一座城市的管理能力, 而城市管理能力是由可得资源和资本的多少, 以及有效发挥这些资源最大效用的能力决定的^[4]。任何一座

城市都无法单独应付像 SARS 疾病等重特大突发事件, 必须有更多的城市积极参与, 在更高层次上实施应急管理, 共享城际间的信息资源和应急管理资源, 才能保障城市经济健康、协调、可持续发展和城市居民生命财产的安全。因此, 需要做好城市和城际公共安全规划^[5], 更好地整合城际间的信息资源和应急管理资源。

本文基于 Multi-agent 系统具有的分布性、自主性、协调性、鲁棒性等特性, 将 Multi-agent 技术应用于城际灾害应急管理系统, 研究构建 Multi-agent 的城际灾害应急管理系统的结构, 在此基础上, 运用黑板模型理论对城际灾害应急管理协同机制进行研究, 希望能更好地促进城际间的信息共享和资源整合, 为城际间的应急管理提供一种可行的研究方法和思路。

1 Multi-agent 理论

Minsky 首次提出了 Agent 概念^[6], 认为社会中的某些个体经过协商可求得问题的解, 这个个体即是 Agent。这个定义还不是很明确, 因此, 不同的研究者根据自己的研究背景和研究领域提出了自己对 Agent 的研究观点和看法。迄今为止, 尚没有形成一个统一的 Agent 定义。文献[7]和[8]中

^{*} 收稿日期: 2008-06-11

基金项目: 国家社会科学基金项目(06BZZ019); 国家自然科学基金项目(70671021); 南京市软科学项目(宁科 200702011; 宁科 200602034; 宁科 200503047)

作者简介: 赵林度(1965-), 男, 山东烟台人, 教授、博士, 主要从事应急系统优化与控制. E-mail: ldzhao@seu.edu.cn

指出, Agent 是由知识、信念、意向、期望等因素组成的一个实体, 它可以感知系统环境的变化, 并对这种变化做出自主的反应。在 Michael Wooldridge 等人的定义中^[9], 规定 Agent 是一个具有自主性(Autonomous)、反应性(Responsive)、自觉性(Pro-active)和社交性(Social)的软件实体。根据 Russel 和 Norvig 的观点^[10], Agent 可以是任何能通过传感器感知环境并通过效应器作用于环境的事物。

MAS(multi-agent system)是一种由多个 Agent 组成的分布式自主系统。MAS 的功能是通过 Agent 之间的交互实现的^[11], 多个 Agent 之间如何相互协作、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, 它已经成为分布式人工智能领域的一个研究热点。

在表达实际系统时, MAS 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 技术具有自主性、分布性、协调性, 并具有自组织能力、学习能力和推理能力^[12], 具有信息共享、决策支持、知识积累、系统稳定性和鲁棒性等优点, 在处理一些大规模的、无准备的突发事件时具有很大优势^[13], 适用于研究城市和城际灾害应急管理系统。本文正是利用 Multi-agent 技术的优点, 研究城际灾害应急管理系统的协同机制, 以实现城际信息资源和应急管理资源的合理分配。

2 基于 Multi-agent 的城际灾害应急管理协同机制分析

城际灾害应急管理的关键在于整合城际间的信息资源和应急管理资源, 形成一个一体化、透明化、网络化的城际灾害应急管理系统, 实现城际间的协同效应, 以达到都市圈整体上应急资源的优化配置, 增强整个都市圈的应急能力。MAS 具有的许多良好特性, 适用于构建协同化的城际灾害应急管理系统。本文将从 Multi-agent 的角度构建城际灾害应急管理系统, 并利用 Multi-agent 技术研究城际灾害应急管理的信息协同机制和资源协同机制。

2.1 基于 Multi-agent 城际灾害应急管理系统结构

对于基于 Multi-Agent 的城际灾害应急管理系统来说, 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功能实体。对不同的任务和应急需求, Agent 间的协调方法是多种多样的, 对不同的协作目的与性能要求, 可采用不同的协调方案。这种能力主要是由 Agent 的自治性和智能性所决定的。

在图 1 中描述了一种典型的网络分布式 Multi-agent 城际灾害应急系统的总体结构。城际 Agent 处于全局调度与决策的地位, 称为集中 Agent 集; No. 1 ~ No. N 城市的 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。城际集中 Agent 集起着综合协同和决策作用, 对 N 个城市的 Agent 集进行集成与综合, 完成应急任务。

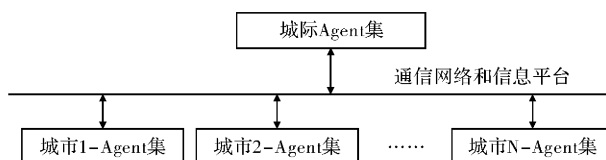


图 1 基于 Multi-agent 的城际灾害应急管理系统总体结构

在图 2 中, 对 Multi-agent 城际灾害应急管理系统进行了细化, 描述了 Multi-agent 城际灾害应急管理系统的框架结构。城际 Agent 集是一个集中的 Agent 集, 主要由通信 Agent、决策 Agent 和协调 Agent 组成, 负责整体上的城际灾害应急管理。其中, 通信 Agent 的载体是城际间的通信网络和信息平台, 决策 Agent 和协调 Agent 的功能主要由城际灾害应急指挥和管理机构完成, 主要负责协调各个城市的信息共享和资源配置, 并做出决策, 经通信 Agent 传递给相应的城市 Agent 执行。

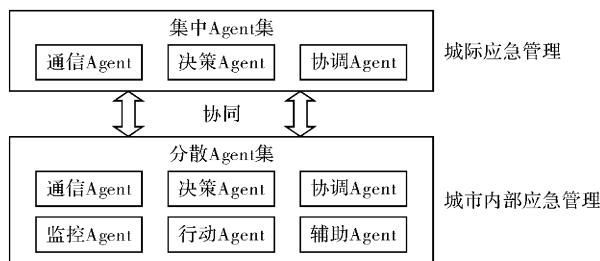


图 2 基于 Multi-agent 的城际灾害应急管理系统的框架结构

城市 Agent 集是分散的, 位于各个城市, 主要负责城市内部应急管理, 并真正实现应急的各项具体功能。每座城市 Agent 集, 主要由通信 Agent、决策 Agent、协调 Agent、监控 Agent、行动 Agent 以及辅助 Agent 等 6 个具体 Agent 组成。通信 Agent 作为信息载体, 主要保持与其他 Agent 之间的联

络, 最重要的通信 Agent 就是城市内部和城际间的通信网络和信息平台; 决策 Agent 对危险状况做出反应, 确定是否需要协同, 并经过协调 Agent 和通信 Agent 与城际 Agent 和其他城市 Agent 保持联系, 并进行相应的协调; 监控 Agent 时刻保持警惕, 并与环境交互作用, 具有特殊的目的, 当监测状况发生变化时, 如出现危险、错误、异常等状况, 监控 Agent 会及时做出反应, 并通过通信网络和信息平台进行预警; 行动 Agent 和辅助 Agent 主要负责危机发生时的应急工作, 并迅速处理危险, 保障城市安全。这些城市 Agent 集的载体都是由城市应急管理主体, 如重大危险源企业、城市安全生产监督管理部门、消防部门、公安部门、医疗部门、教育部门、交通部门、通信部门以及城市应急管理中心等组成的。

2.2 城际灾害应急管理信息协同机制

研究 Agent 通信机制的重要先导之一是黑板模型, 它是为了解决分布在不同环境下多个实体协作完成任务的并行和分布计算模型, 该模型能够实现异构知识源的集成。它是传统的人工智能系统和专家系统的议事日程的扩充。黑板作为一个共享的数据结构, 随着知识不断提供问题的部分答案, 通过采用恰当的结构支持分布式问题求解。黑板模型可以为 Agent 通信模型提供 Agent 的并发控制、Agent 的交互、Agent 的实时控制等^[14]。

本文采用分布式黑板结构来描述城际灾害应急管理系统中 Agent 的信息协同机制。每个 Agent 都采用黑板的信息传递方式, 形成 Agent 间通用的通讯接口, 增强 Agent 间协作与通讯的效率。每一座城市 Agent 集内部都有一个黑板, 作为该 Agent 集通信信息的存储区, 并作为与其他 Agent 集通信信息的接口通道。城际 Agent 集内嵌全局黑板, 用以接受和响应各个城市 Agent 集的信息, 它可以通过全局黑板向各个城市 Agent 集发送全局协调和决策信息。

在 Multi-agent 城际灾害应急管理系统中, 存在 3 种任务协同请求响应机制。

(1) 城际 Agent 中转协同机制 当单个城市 Agent 不能单独完成应急任务时, 它就通过黑板向城际 Agent 发出一个协同任务请求。若城际 Agent 认为有必要服务该任务请求, 就在公共黑板上将该请求信息发布出来。同时, 对该任务的性质进行分析, 向具有相应功能的城市 Agent 发出任务协同请求(图 3)。

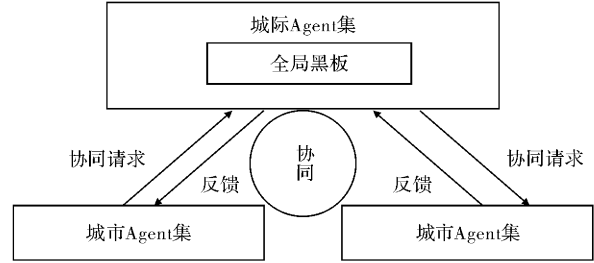


图3 城际 Agent 中转协同机制

(2) 城市 Agent 共享协同机制 各个城市 Agent 通过信息共享, 直接进行交流和通讯, 然后进行双方或多方的任务协同请求(图 4)。在城市 Agent 共享协同机制中, 城市 Agent 之间通过共享信息, 直接进行协同请求和协同应答, 不需要经过城际 Agent, 这是与城际 Agent 中转协同机制的区别所在。

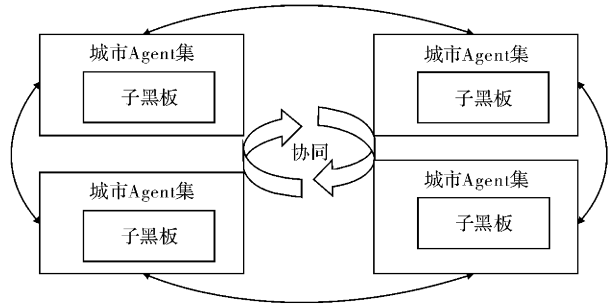


图4 城市 Agent 共享协同机制

(3) 城际 Agent 分解协同机制 城际 Agent 建立一个应急任务分解与任务执行状况评价体系, 首先对总体的应急任务进行分解, 并分配给各个功能城市 Agent 执行, 然后对任务执行情况做出评价, 对任务执行进行更有效的调度。它与城际 Agent 中转协同机制的区别在于, 分解协同机制中的城际 Agent 直接面对应急任务, 在城际 Agent 这个层次上直接协同, 然后进行任务分解, 下达分解后的任务给城市 Agent, 而中转协同机制中城际 Agent 是在接受城市 Agent 的应急协同请求后, 再寻求与相应城市 Agent 之间的协同(图 5)。

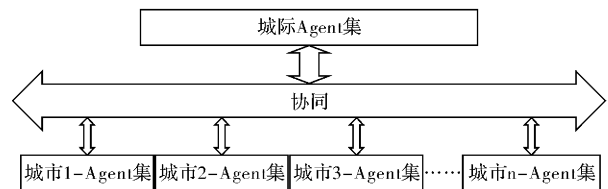


图5 城际 Agent 分解协同机制

总之, 各个 Agent 之间的信息传递与消息交互是通过黑板来完成的, 并在不同的情况使用不同的协同机制, 通过黑板上的信息进行共享与交流,

最终实现城际灾害应急管理的信息协同。

2.3 城际灾害应急管理资源协同机制

城际灾害应急管理是一项涉及多因素、多任务、多主体的系统工程,应急管理资源是城际灾害应急管理工作的一个关键所在,是采取应急行动的基础。重大突发事件往往需要大量的各种各样的应急管理资源,包括实时信息、专业人员、可用设备、紧急救援物资、问题解决技能等,如果仅依靠单个城市就会产生一定的局限性。因此,本文在信息协同机制的基础上,设计了一种城际资源协同机制,为有效协同城际灾害应急管理资源、满足紧急救援需求奠定基础。主要包括如下2部分内容:

2.3.1 资源定义机制(图6)

城际 Agent 定义资源描述语言(Resource Description Language, RDL),界定城际资源范围,并作为发布资源和请求资源的规范;然后,城市 Agent 根据 RDL 发现城市每个 Agent 所拥有的各种资源,城市中的各个 Agent 对所包含的所有资源进行管理。城市 Agent 对城市内的资源对外公布,并报送城际 Agent,由城际 Agent 记录每座城市拥有和配置应急管理资源的能力,以方便调度这些资源。RDL 的实现可以参考文献[15]。

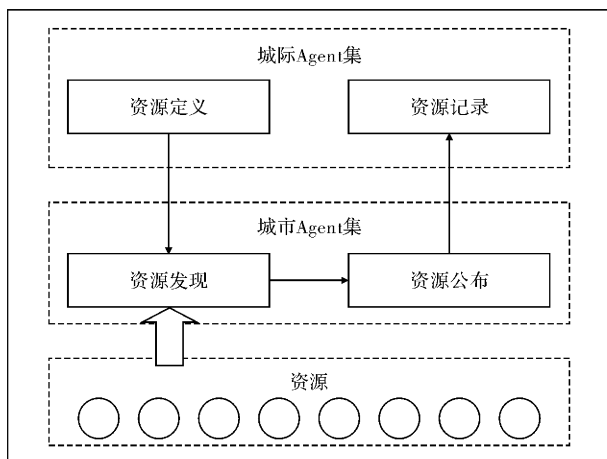


图6 资源定义机制

2.3.2 资源分配机制

根据上述不同的信息协同机制,可以建立以下3种资源分配机制。

(1) 基于协同请求的资源分配机制 参考文献[16]的资源协同分配思想,当遇到危机或重大突发事件时,城市 Agent 检查是否有协同需求,若需要协同,则以 RDL 的形式向城际 Agent 发布应急任务的资源协同分配需求。城际 Agent 检查资源记录表,若有足够的应急资源,则城际 Agent 将资源

协同分配需求发至相关城市 Agent,由相关城市 Agent 进行协商,综合考虑时间和成本因素,调配相应的资源给需要的城市 Agent(图7)。若需要的应急管理资源不足,则由城际 Agent 检查备用资源或者替代资源,同时反馈给涉及到协同的所有城市 Agent,进行资源协同。

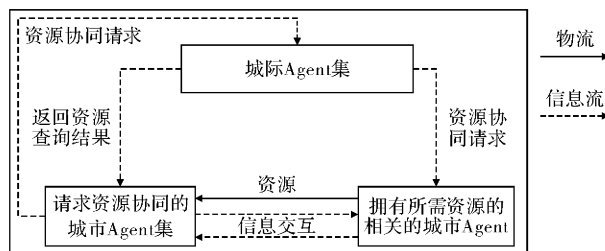


图7 基于协同请求的资源分配机制

(2) 基于共享的资源分配机制 在一座城市发生重大灾害时,都市圈的其他城市都以 RDL 的形式发布各城市内部的可用应急资源,在都市圈内部共享所有可用的应急资源,形成都市圈资源共享联盟,评估应急时间、应急成本以及预期灾害损失等因素,将资源提供给相应的城市应急使用(图8)。

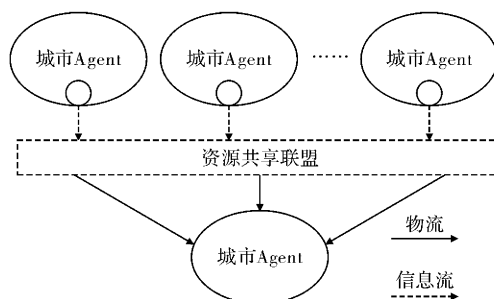


图8 基于共享的资源分配机制

(3) 基于城际 Agent 的资源集中分配机制 在发生城市重大灾害时,由城际 Agent 集中都市圈内部的所有应急资源,并从整个系统的角度考虑,统一分配所有的应急资源(图9)。在这种机制下,整个都市圈是以一个整体的形式存在的,消除了城市间的资源边界,不但可以降低资源使用成本,还可以避免资源冲突,提供更大的城市安全度。

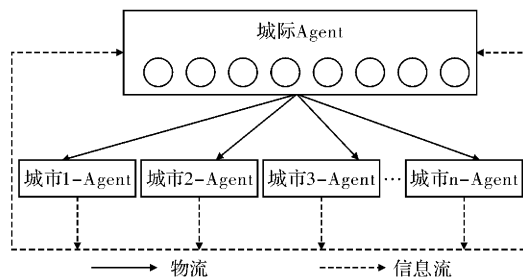


图9 基于城际 Agent 的资源集中分配机制

3 结论

随着经济全球化的快速发展, 都市圈在世界经济中已经占据了十分重要的地位, 伴随而来的城市和城际安全问题也日益突出, 使得城际灾害应急管理的需求变得十分迫切。考虑到城际灾害应急管理系统的分布式和自主性特征以及 MAS 的众多特性, 本文采用 Multi-agent 技术和方法研究城际灾害应急管理系统, 研究各城市 and 城际灾害应急管理主体如何实现信息协同和资源协同, 对实现都市圈内信息资源和应急管理资源的优化配置提供了很好的策略, 有利于提高城际灾害应急管理水平, 保障都市圈的安全与稳定。尽管城际灾害应急管理协同机制远比城市内灾害应急管理协同机制复杂, 但是城市内应急协同是城际应急协同的基础。因此, 在今后的研究中, 需要进一步研究城市内应急协同机制, 并在建设具有中国特色的城市应急联动系统的基础上^[17], 加强城际灾害应急联动与资源协同分配方面的研究^[18]。在信息协同和资源协同机制的基础上, 考虑采用定量的方法来分析城市和城际灾害应急管理的信息协同度和资源协同度模型, 并构建基于 Multi-Agent 理论的城际灾害应急协同软件系统。

参考文献:

- [1] 成松柏, 陈国华. 高风险社会及其对策研究[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 18-22.
- [2] 戴宾. 城市群及其相关概念辨析[J]. 财经科学, 2004, (6): 101-104.
- [3] 何萍, 李志强. 城市群地震[J]. 华南地震, 2005, 25(2): 38-41.
- [4] Gwyndaf Williams, Stuart Batho, Lynne Russell. Responding to urban crisis - The emergency planning response to the bombing of Manchester city centre [J]. Cities, 2000, 17(4): 293-304.
- [5] 赵成银. 发达国家大城市危机管理中的社会参与机制[J]. 北京行政学院学报, 2006, (4): 13-17.
- [6] Minsky. The Society of Mind [M]. New York: Simon & Schuster, 1985.
- [7] Sycara K P. Multi-agent systems [J]. AI Magazine, 1998, 19(2): 79-92.
- [8] Weske M, Vossen G, Mederos C B. Workflow management in geo-processing applications [C]// Proceeding of the ACM International Geographic Information System ACMGIS'98, Washington, 1998: 88-93.
- [9] Wooldridge M J, Jennings N R. Intelligent agents: Theory and practice [J]. Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115-152.
- [10] Russell S, Norvig P. Artificial intelligence: A modern approach [M]. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1995.
- [11] Kadar B, Monnstor L Szelke E. An object-oriented framework for developing distributed manufacturing architecture [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 1998, 9(2): 173-179.
- [12] Jennings N R, Sycara K P, Wooldridge M J. Agent technology: Foundations, applications and market [M]. Heidelberg: Springer-Verlag, 1997.
- [13] S. Kornienko, O. Kornienko, J. Priese, Application of multi-agent planning to the assignment problem [J]. Computers in Industry, 2004, 54(3): 273-290.
- [14] 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.
- [15] Wickler G J. Using expressive and flexible action representations to reason about capabilities for intelligent agent cooperation [D]. Edinburgh: University of Edinburgh, 1999.
- [16] 张红君, 李庆华, 周玉龙. 基于 Agent 联盟机制的网格资源协同分配[J]. 计算机应用, 2004, 24(7): 4-6.
- [17] 刘士驻, 任亿. 论城市应急管理[J]. 中国公共安全: 学术版, 2006, (4): 44-58.
- [18] 刘颖, 余侃民, 江胜荣. 支持资源协同分配的网格任务调度研究[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2006, 7(1): 80-83.

Information and Resources Synergetic Mechanism of Inter-city Disaster Emergency Management based on Multi-agent Systems

Zhao Lindu and Yang Shicai

(Institute of Systems Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Based on the Multi-agent technology, the inter-city emergency management system is studied to realize the integration of information and the optimal allocation of resources among cities. The blackboard theory and model are used to study information synergy mechanisms of inter-city emergency management, which can promote the information sharing and exchanges among cities. On the basis of that, resources synergy mechanisms are studied. The information and resources mechanisms could produce the synergistic effect, improve the inter-city emergency management and protect the security and stability of cities.

Key words: disaster; emergency management; inter-city; Multi-agent; synergetic mechanism