

应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构研究*

潘星晨,汪云峰

(同济大学 经济与管理学院,上海 200030)

摘要: 基于 Agent 的应急响应建模仿真具有优越性和现实性,通过分析应急响应体系中 Agent 主体所应具有的特征——反应性、推理性、互动性和能动性,构建了基于 BDI 模型的反应+思考+通信的混合型 Agent 结构,并在 NetLogo 仿真平台上实现。为今后进一步研究基于 Agent 的应急管理建模仿真奠定研究基础,同时也为在 NetLogo 平台下开发基于 BDI 模型的 Agent 结构提供范式和标准。

关键词: 应急响应;BDI 模型;Agent 结构;NetLogo 平台

中图分类号: TP391.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)05-0081-04

Research of agent architecture based on BDI under emergency response

Pan Xingchen, Wang Yunfeng

(School of Economics & Management, Tongji University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Through analyzing in the characteristic of agent behaviors in emergency response systems, we built a hybrid-agent architecture based on BDI and developed partial code for simulation on Netlogo platform, which could provide a research base of emergency management modeling and simulation for us and provide standard patterns or criteria for developing the procedures of agent architecture based on BDI.

Key words: emergency response; BDI; agent architecture; NetLogo platform

由于公共事件的突发及发展具有不可逆性和不可实验性,建模仿真成为研究各类突发公共事件应急管理的重要实验手段之一。Agent 作为分布式人工智能概念模型,具备自己行为、目标和知识,是在一定环境下能自主运行的实体,具有主动性、独立性、智能性、反应性、交互性等特点,并具有良好的决策分析的能力,能够适应应急响应过程建模的需要。因此,基于 Agent 的应急响应建模仿真具有优越性和现实性。

本文通过研究和构建应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构,并在 NetLogo 平台中实现,为今后进一步研究基于 Agent 的应急管理建模仿真奠定研究基础;同时也为在 NetLogo 平台下的程序开发工作,提供一定的 Agent 结构的范式和标准。

1 BDI 模型

BDI(Belief-Desire-Intention)模型是近年来学术界广泛研究的一种基于思考型的 Agent 结构,其哲学观点源自 Bratman^[1]在 IRMA 系统的设计中明确表示了信念、愿

望和意图,并将意图看作部分行为计划,这些计划是 Agent 承诺执行、完成其目标的计划,从而使 Agent 能够根据资源的变化情况有效实现手段目的推理。

BDI 模型的结构可以表示为^[2]:

Agent : : = <Aid, P, B, D, I, A, see, brf, options, filter, execute>.

其中,Aid 为某一具体 Agent 的标识;P 为 Agent 的视觉状态集,即 Agent 所感知的外部事物;B 为 Agent 的信念,即对 P 进行的理解和认知;D 为 Agent 的愿望,即对 B 所形成所要达到目标的偏好和情感;I 为 Agent 的意图,即对达成 D 中的一项或多项愿望进行行动承诺;A 为 Agent 根据 I 所做出的行动集;see、brf、options、filter、execute 五个具体行为则用于刻画出 Agent 的感知过程、意念修正过程、思维过程、愿望筛选过程和行为决策过程^[2]。所以,整个结构可以理解为当 Agent 接受或感知到一个事件时,它根据当前环境状态信息而构成的信念库,进行信念修正,并完善信念库;然后根据实现状态及意图确定愿望,形成愿望库;经规则推理及筛选函数,基

* 基金项目:国家自然科学基金项目(70803033)

技术与方法 Technique and Method

于当前信念、愿望及意图的基础上形成新的意图库,最后 Agent 由该意图驱使进行行为选择,并执行活动。

本文所构建的 Agent 结构采取 BDI 模型,这是因为 Agent 决策的制定过程依赖于表达 Agent 的信念、愿望和意图的行为操作来实现,所以 BDI 结构更接近人类的思维方式,更能够在应急响应过程中,解释各个主体的行为过程。

2 应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 基本结构

应急响应环境下的 Agent 结构建模是一个非常复杂的构建过程。(1)突发公共事件的场景是一个动态的、不断发生变化的场景,构建的 Agent 必须能够对外界环境的改变做出及时的随机应变,需要不断地做出滚动决策和决策更新,这一要求符合反应型 Agent 的特征。(2)突发公共事件的应急响应过程是一个紧急、错综复杂、处理不当可能会导致巨大损失的过程,需要做好事先的预案和演习工作,要求 Agent 能够按照事先的规划进行及时、有序的操作,这是思考型 Agent 的典型特征。(3)突发公共事件的应急响应需要在指挥部的协调下,各个职能部门协调沟通、协同工作,要求 Agent 之间能够及时通信和消息共享,有完善的协调商议机制。

基于上述要求,为应急响应所构建的 Agent 结构必须是一个具有信息感知、匹配处理、筛选决策、执行和与其他 Agent 通信能力的“反应+思考+通信”混合结构。因此,本文提出基于 BDI 的 Agent 基本结构可定义为一个九元组(主体标识、目标、感知器、信念、匹配器、筛选器、意图、执行器、通信器),即:

<AGENT> ::= <主体标识><目标><感知器><信念><匹配器><筛选器><意图><执行器><通信器>
 <主体标识> ::= <主体名><主体的相关属性>
 <目标> ::= <角色分配>
 <感知器> ::= <激活条件><信息流>
 <信念> ::= <任务表><知识库>
 <匹配器> ::= <任务分解规则>
 <筛选器> ::= <策略配置机制>
 <意图> ::= <事物名><事物处理描述>
 <执行器> ::= <意图的执行人>
 <通信器> ::= <发送者><接收者><通信原语><通信内容>

基于 BDI 的应急响应 Agent 基本结构与 BDI 模型相比,增加了基于角色分配的 Agent 目标、感知器、匹配器、筛选器、通信器等内容,同时进一步强调基于团队目标和个人目标的深层次思考,决策过程中策略设置和求解,外界环境和资源的变化,以及团队协作、信息共享对于 Agent 结构的影响,以此来提高 Agent 的反应性、互动性和能动性。

3 应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构框架

在基于 BDI 的 Agent 基本结构基础上,考虑环境、资

源、目标、组织给 Agent 带来的影响,进一步细化、深化、模块化、多维地、系统地来搭建 Agent 结构框架体系,构建出应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构框架,并进行具体阐述。

应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构框架如图 1 所示,由感知模块、决策模块、执行模块、通信模块四大模块组成,实现一个智能主体的整个活动过程。

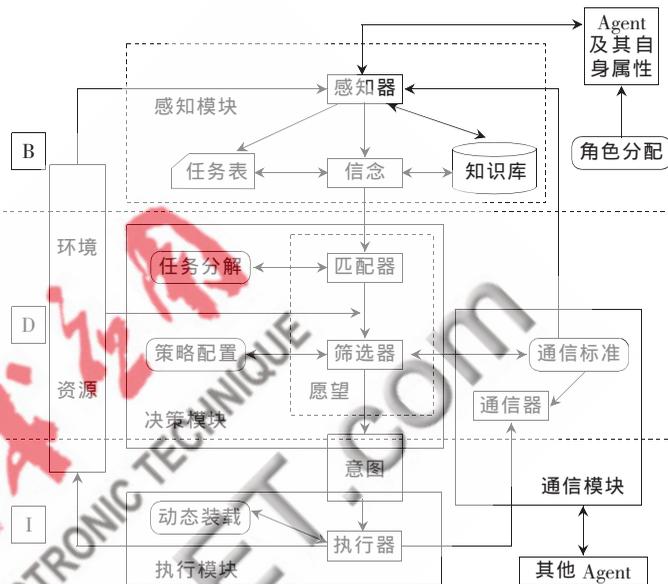


图 1 应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构

其中,感知模块、决策模块、执行模块三层顺序结构体现了 Agent 的自主思考性;通信模块对于感知模块、决策模块的影响展现了 Agent 的社交性;感知模块对于环境和资源的充分感知,根据环境的变化所进行的动态装载执行模块都说明了 Agent 具有良好的反应性;Agent 在角色分配之后获得角色责任和权限,即明确了自身的子目标和组织的总体目标,整个结构框架体现了 Agent 是在目标的引导下开展思考、决策和行为,符合 Agent 的预动性要求。

四大模块中分别包含感知器、信念、匹配器、筛选器、意图、执行器、通信器七大功能件,其中由于意图的产生和执行分属于决策模块和执行模块两大模块,所以意图为跨模块功能件。同时,Agent 结构中还包括任务分解、策略配置、动态装载、通信标准等协议和规则,确保 Agent 结构的准确、动态、协作性的运作的实现。

各模块中的功能件的作用分别为(以应急响应过程中消防员 Agent 的行为为例):

(1) 感知模块

感知器是 Agent 获得外部环境信息以及从 Agent 自身属性获取信息的部分,感知内容形成 Agent 自身的信念。应急响应过程中,感知器帮助消防员 Agent 从应急场景中了解到着火区域位置信息、需要救援市民的信息以及救援过程中所需要的其他相关信息等。

技术与方法 Technique and Method

信念为描述 Agent 对当前环境的认知和自身可能采取行为的估计, 形成任务集和知识库。消防员 Agent 将所需要进行救援的人员和位置信息作为此时自身的信念, 并加入所要完成的任务集中。

任务集与知识库是用来储存任务信念和知识信念的存储器, 通过感知器和信念更新进行不断修正。任务集中包括 Agent 所要完成的各项任务。任务可以来源于自身感知现场的发现, 也可能来自上一级的命令。知识库中可包括 Agent 的能力属性及感知外界产生的知识, 如消防员 Agent 自身的灭火能力、行进能力、救援能力, 以及消防员 Agent 根据演习结果或其他历史经验确定到达救援现场的最短路径等。

(2) 决策模块

匹配器的作用是根据信念产生的行为估计, 进行任务分解, 匹配选择多个可行的行动。任务分解是指根据有限的元规则库, 形成一定的任务集。匹配器根据条件得出下一步能够进行的行为。行为中包括为达成目标所采取的各种类型(如消防员 Agent 的机动行为、任务行为和通信行为), 机动行为包括寻找路线、寻找目标、接近目标; 任务行为包括灭火、救人、挖掘、疏散、修路等; 通信行为包括下达命令、接受命令、请求协助、同意协助和拒绝协助等类型。符合匹配条件的行为被匹配器输入筛选器进行下一步精确过滤。

筛选器的作用是在匹配后, 根据一定的规则进一步选出一个最优愿望, 形成意图进行实施。筛选最优愿望就是对这些行为进行评估, 找到最优行为。策略配置是根据一定规则策略的选择和调整, 从众多候选行为中选择一个最先执行的行为形成意图。策略配置受到外界环境(如社会)和资源限制的影响, 如消防员 Agent 在救援过程中, 策略配置可以分为确定救援目标(最短距离目标、最危险形势目标), 确定救援优先性(以人为本、以发现顺序为本), 确定协作方案(有内部协作、无内部协作), 确定救援顺序(多目标记忆救援、单目标顺序救援)等。

由于匹配器和筛选器的联合作用, 已经完整呈现出了 BDI 模型中愿望形成的整个过程, 所以, 在本模型结构中, 愿望以虚线框形式表现, 并非某个真实存在的功能件。

(3) 执行模块

意图用来描述 Agent 为达到某个具体目标所做出的承诺, 是 Agent 下一步立刻执行的行动。意图的执行是通过装载 n 个不同的意图子模块来实现的。动态装载是指根据团队协作的需要、环境资源发生的变化以及筛选器的规则过滤, 动态添加、改变执行顺序或者删除某个意图子模块, 来实现 Agent 具有良好的即时反应能力。消防员 Agent 拥有救人子意图、灭火子意图、搜寻子意图, 以及根据救援现场的实际情况变化, 对于这些基本

子意图的动态组合或动态更新。

执行器是用于执行意图的效应器。它能根据消防员 Agent 知识库中的能力属性, 如视距、视角、听觉、灭火距离、速度、方位等性能指标, 实现诸如机动或救人任务、灭火任务等意图。意图在执行过程中, 受到外界资源的限制, 同时对外界环境产生影响。

(4) 通信模块

通信器用于与其他 Agent 进行联系, 如传达命令、协同配合等。通信器主要由消息发送、消息接收、消息处理等子模块构成。得到的有用信息被反馈到感知器, 以不断更新信念和任务集等动态因素, 使以后的判断和行动更加正确有效。消防员 Agent 在救援过程中, 可以和其他消防员 Agent、等待救援的市民 Agent、指挥 Agent 等进行即时通信, 以完成高效、及时的救援工作。

4 应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构的仿真实现

NetLogo 是一个由美国西北大学 Center for Connected Learning 研发的模拟自然和社会现象多实体编程语言和仿真平台^[3], 尤其适合复杂性系统的开发。开发者可对成百上千个相互依赖且并行运行的 Agent 发实时指令, 与突发公共事件应急响应的环境要求十分相似, 故本文采用 NetLogo 对应急响应过程进行建模仿真研究, 并实现应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构。

在研究过程中, 通过不断地改进和修正, 在 NetLogo 开发平台上实现了本文所提出的应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构。在仿真过程中, 消防员 Agent 结构包括四个模块: 感知模块、决策模块、执行模块、通信模块。决策模块和通信模块是整个仿真程序的核心部分。

(1) 决策模块

根据本文所提出的 Agent 结构模型, 决策模块由匹配器和感知器组成, 对产生的信念进行任务匹配和策略配置, 形成可执行的意图, 对于仿真程序来说, 即是一组基于 if-then 的元规则库。

(2) 通信模块

本文所提出的 Agent 结构模型的通信模块, 采取的通信标准为 FIPA-ACL 通信标准^[4-5], 包含消息发送方、消息接收方、消息类型、消息内容等四大基本内容。在 NetLogo 平台的实现过程中, 可调用平台所提供的 communication.nls 库^[6-7], 简化、减少程序的开发量。

(3) 感知模块和执行模块

感知模块和执行模块是仿真程序的重要组成部分, 模块中的过程和方法供决策模块和通信模块调用执行。其中, 为了有效实现 BDI 模型结构和减少程序的开发量, 这两个模块中均调用了 Netlogo 平台所提供较为成熟和稳定的 bdi.nls 库^[6-7]。

感知模块中, 根据组织中不同层级、不同权限的

技术与方法 Technique and Method

Agent, 提供了不同的视图, 视图范围通过赋予 Agent 不同的属性变量加以实现。其中, 指挥层级拥有全局视图, 可根据整个城市(或仿真系统边界内)的应急需求, 通盘统筹考虑资源的调拨和协调; 队长层级拥有区域视图, 能够及时了解某一个救灾片区中消防队员的救援情况, 根据实际的灾害情况, 做出指挥和部署。在缺乏所需要的救灾资源时, 向上级部门请求调拨; 队员层级拥有视域视图, 受视力范围所限, 只能感知到周围环境的变化, 并在队长的指挥和队友的通信交互过程中, 协作完成救援任务。

执行模块则调用 bdi.nls 库中的 intention 子过程, 实现 intention 模块中的执行程序动态添加、更新和删除, 确保 Agent 能够快速应对环境和任务的变化, 准确执行筛选器中选出的最优行为, 提高 Agent 的个体效率, 使整个多 Agent 系统达到全局最优。

本研究使用 Netlogo 平台实现应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构的部分仿真程序, 实现了消防员在建筑内部灭火救人的基本场景, 如图 2 所示。整个大矩形代表某个着火的建筑物; 里面的小矩形块代表着火地块, 即着火点; 圆点代表楼内市民; 消防员集中在建筑的出入口处, 整装待命; 外圈部分则是用于市民逃生的道路; 右下角的小地块则代表公共绿地或者逃生人员集中地; 各个控件是不同策略配置的开关控件。本文所提出的模型结构能够在 NetLogo 平台上顺利执行实现, 取得了仿真所要达到的数据和效果, 如图 3 所示。应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构能够对突发公共事件应急管理研究起到较好地支撑作用, 同时也为基于 BDI 模型的 Agent 结构在 Netlogo 环境下的编程开发工作提供了范例, 具有一定的通用性。



图 2 灭火救人基本场景

通过 NetLogo 平台的仿真结果证明, 本文所构建的应急响应环境下基于 BDI 模型的 Agent 结构符合应急响应场景救援工作的需要, 具有一定的通用性, 为进一步研究应急响应过程中的指挥控制、协同协作、信息共享提供了基本场景, 为研究应急响应过程中各 Agent 的行为提供了解释结构, 为基于 BDI 模型的 Agent 结构在



图 3 仿真过程图

Netlogo 环境下的编程开发工作提供了范例。在今后的研究工作中, 将以此 Agent 结构模型为研究基础, 进一步研究应急响应过程中组织的动态调整、协同计划和团队协作等内容。

参考文献

- [1] O'HARE G M, P. JENNINGS N R. Foundations of distributed artificial intelligence[M]. John Wiley&Sons, Inc. 1996: 505-526.
- [2] KINNY D, GEORGEFF M, RAO A. A methodology and modeling technique for systems of BDI agents [A]. In W. VELDE V, PERRAM J W, Agents breaking away [C]. Proceedings of the Seventh European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (LNAI Volume 1038), Springer-Verlag: Berlin, Germany, 1996, 56-71.
- [3] WILENSKY U. Netlogo center for connected learning and computerbased modelling, Northwestern University, Evanston, IL(1999), <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>
- [4] 张德同, 周明全, 耿国华. FIPA 规范: Agent 系统的开放标准[J]. 计算机科学, 2002.29(10): 30-32.
- [5] FIPA Content Language Specifications. Foundation for Intelligent Physical Agents, 2003. <http://www.fipa.org/repository/cls.php3>.
- [6] SAKELLARIOU I, KEFALAS P, STAMATOPOULOU I. Enhancing NetLogo to simulate BDI communicating agents [M]. SETN 2008, LNAI 5138, pp. 263 - 275, 2008.
- [7] SAKELLARIOU I. Extending NetLogo to support BDI-like architecture and FIPA ACL-like message passing: Libraries, Manuals and Examples (2008), <http://eos.uom.gr/~iliass/projects/NetLogo>.

(收稿日期: 2010-09-01)

作者简介:

潘星晨, 男, 1985 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 城市信息化、应急管理。

汪云峰, 男, 1975 年生, 讲师, 管理学博士, 主要研究方向: 系统仿真、城市信息化。