

RoboCupRescue Agent 仿真中的多智能体协作方法

黄小雨^{1,2}, 谈英姿^{1,2}, 许映秋^{1,3}, 孟庆法^{1,3}, 陈 科^{1,3}, 管大琦^{1,3}

(1. 东南大学 RoboCup 机器人训练基地, 南京 210096; 2. 东南大学自动化学系, 南京 210096; 3. 东南大学机械工程学院, 南京 210096)



摘 要: 对 RoboCupRescue 智能体仿真系统内的多智能体协作问题进行了研究和分析, 提出一种由多种评价模型和协作方式组成的协作方法, 并从同类和异类智能体两个方面给出了具体的实现。该实现主要采用了人工免疫控制、静态分配与动态调整结合以及基于共识的分布式控制等方式。在仿真测试中, 各类智能体通过相互协作有效完成了灾难环境中的救援任务。

关键词: RoboCupRescue; 智能体; 多智能体系统; 协作

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-731X (2009) 11-3288-07

Multi-Agent Coordination in RoboCupRescue Agent Simulation

HUANG Xiao-yu^{1,2}, TAN Ying-zi^{1,2}, XU Ying-qiu^{1,3}, MENG Qing-fa^{1,3}, CHEN Ke^{1,3}, GUAN Da-qi^{1,3}

(1. RoboCup Research Group, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China; 3. School of Mechanics, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The technology of multi-agent coordination in the RoboCupRescue Agent Simulation System was seriously analyzed. Then an approach consisting of several evaluation models and cooperation methods was put forward, of which the implement was described in detail from two aspects: coordination among the same kind agents and among the different kind agents. Some useful coordination methods were adopted synthetically for the implement, such as *the Artificial Immune Control System, the Dynamic Adjustment System with static assignment and the Consensus based Distributed Control System*. During the simulation, different agents complete the rescue tasks effectively by coordination in the disaster space.

Key words: RoboCupRescue; agent; multi-agent system; coordination

引 言

多智能体系统(Multi-Agent System, MAS)是人工智能研究的重要领域。作为典型的分布式系统, 多智能体系统需要处理的一个基本而且重要的问题是系统中个体间的有效协作^[1]。个体间的有效协作, 可以使得系统呈现出整体上的有向性, 推动系统高效地完成预定的目标。但是, 在多智能体环境中, 每个智能体是根据自身的感知信息做出自主决策的, 系统无法直接地控制个体的具体行为, 因此, 协作往往难以形成, 个体则倾向于争夺有利的资源来完成各自期望的任务, 最终系统呈现出混乱的局面。同时, 智能体的感知信息也总是存在不确定的延迟、误差甚至是错误, 这也是 MAS 中协作所面临的困难^[1,2]。

RoboCup (Robot World Cup), 即机器人世界杯, 是国际机器人赛事^[3]。RoboCupRescue Agent Simulation (RoboCup-Rescue 智能体仿真)分属于 RoboCup 竞赛中营救类别的仿真项目, 面向于社会应急系统的相关应用^[4]。RoboCupRescue 智能体仿真系统(RoboCupRescue Simulation System, RCRSS)作为 RoboCupRescue Agent 仿真竞赛的基本平台, 是典型的多智能体系统, 它提供了地区性大规模灾难环境下救援行动

的仿真平台, 智能体需要在指定的灾难环境下完成灭火、清障、救出伤员的任务^[4]。作为多智能体系统, RCRSS 同样需要处理好系统中智能体间的相互协作。同时, 由于 RCRSS 中存在多类异构智能体, 这种协作的处理显得更为复杂。

目前, 国际上对 RCRSS 中的多智能体协作问题进行了大量研究, 各个队伍也将其研究成果应用于比赛中。这些成果中较为突出的有 MRL 的线性加权模型^[5]、Bam 的模糊控制^[6]以及广泛使用的利用通讯形成的共享规划模型^[1,7]等, 它们都表现出了良好的效果。特别是 MRL 的线性加权模型, 通过合理选择影响因属以及采用 BELBIC 快速学习^[8]方法, 使得其简单而有效。总体来说, 大部分的研究成果表现为使用统一的评价模型或控制方法来完成所有智能体间的协作。

本文提出一种处理 RCRSS 中智能体间相互协作的方法, 它以多个评价模型为基础由多种协作方式组成, 这些模型和方法有借鉴他人之处也有首次使用于 RCRSS 中的, 主要分为两大类: 同类智能体间协作与异类智能体间协作。该方法已应用于东南大学 RoboCup SEU-RESCUE 队伍中。

本文首先介绍 RCRSS 中的智能体, 包括它们的分类和异构。其次具体说明了同类智能体间相关的协作方式, 并在此基础上进一步描述异类智能体间的协作方式。最后给出了采用该协作方法的 SEU-RESCUE 队伍仿真结果。

1 RCRSS 中的智能体^[4]

RoboCupRescue 智能体仿真系统是一个基于网络的多模块分布式系统, 它的主要结构如图 1 所示。图中 Agent

收稿日期: 2007-10-08

修回日期: 2008-03-03

资助项目: 国家大学生创新性实验计划项目 (081028618)

作者简介: 黄小雨(1984-), 男, 贵州人, 硕士生, 研究方向为控制理论与控制工程; 谈英姿(1969-), 女, 上海人, 博士, 副教授, 研究方向为人工智能; 许映秋(1962-), 女, 江苏人, 硕士, 教授, 研究方向为工业工程。

模块就是连接到系统核心(Kernel)的智能体, 其它模块是系统用于仿真现实世界规则或构建场景、查看系统状态的组件。一个智能体, 在系统运行时将从系统核心获得感知信息, 并更新自身的世界模型, 再通过一定的决策计算, 在规定时间内将决策命令传回给系统核心加以执行, 从而完成一个仿真周期的运行。

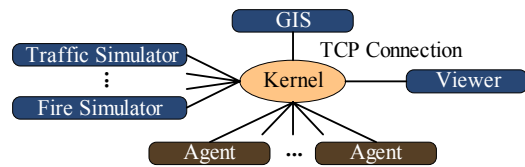


图 1 RCRSS 的结构

在 RCRSS 中, 智能体共分为七类: 医院、救护队、警察局、警察、消防局、消防队和市民。其中, 除市民以外的六类智能体称为可控智能体。RoboCupRescue Agent 仿真竞赛就是控制智能体按照预定义的行为策略在系统中完成灭火、清障、救出伤员的任务。市民是具有既定行为规则的智能体, 不受控。医院、警察局、消防局称为中心级智能体。中心级智能体具有对应的非中心级智能体下属, 如医院的下属是所有救护队智能体, 并与下属具有特定的通讯关系。典型的灾难环境如图 2 所示。

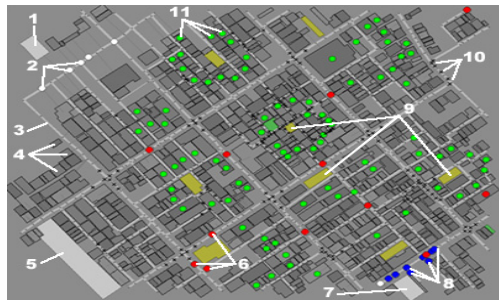


图 2 一个特定的灾难环境

(1.医院; 2.救护队; 3.道路; 4.房屋; 5.消防局; 6.消防队;
7.警察局; 8.警察; 9.着火的房屋; 10.路障; 11.市民)

RCRSS 中将智能体是能力异构的。具有相同能力的智能体群的任务趋于一致。不同能力智能体群之间的相互依赖和制约构成了异类智能体间协作的基础。基于对现实世界的抽象, RCRSS 中定义的各类智能体的能力异构如表 1 所示。

表 1 智能体的能力异构

智能体类型	行为能力
Civilian	Sense, Hear, Say, Move
Ambulance Team	Sense, Hear, Say, Tell, Move, Rescue, Load, Unload
Fire Brigade	Sense, Hear, Say, Tell, Move, Extinguish
Police Force	Sense, Hear, Say, Tell, Move, Clear
Ambulance Center	Sense, Hear, Say, Tell
Fire Station	Sense, Hear, Say, Tell
Police Office	Sense, Hear, Say, Tell

表中 Sense 表示视觉, Hear 表示听觉, Say 表示自然语言, Tell 表示无线电通讯, Rescue 表示将一个埋在地下的伤

员挖出来, Load 表示将伤员抬上救护车, Unload 表示将伤员放下救护车, Extinguish 表示向建筑物喷水, Clear 表示清除道路上的路障。

2 同类智能体间的协作

同类智能体间的协作主要是指各类智能体内部之间的协作, 完成该类别智能体本职的任务: 救护队营救伤员并将其运送到避难所, 警察清除路障, 消防队扑灭燃烧的房屋。可以将中心级智能体与其下属归为一组, 形成救护组、警察组和消防组, 中心智能体在其中至少扮演消息中心的角色。本节将分别讨论三组智能体内的协作方式并给出其实现。

2.1 救护组协作方式

在 RCRSS 中, 智能体行为的总体效果由特定的模型评价^[4], 如式(1)所示:

$$V = \left(P + \frac{S}{S_{int}} \right) * \sqrt{\frac{B}{B_{int}}} \quad (1)$$

式中 V 表示评价价值, P 表示存活智能体数量, S_{int} 表示初始时刻所有智能体生命值总和, S 表示当前所有智能体剩余生命值总和, B_{int} 表示初始时刻所有房屋面积总和, B 表示当前未被烧毁的房屋面积总和。

不难发现, 多个市民生命值减少所带来的评价价值的降低远比死亡一个市民所带来的评价价值降低要小的多, 只要能够控制所救护到达避难所的市民生命值相对稳定在一个不太高范围内, 就可以使市民死亡的数量大为降低, 评价价值就不会经常性的大幅度减少, 即使得评价价值的下降速度相对稳定。人工免疫系统在处理分布式环境下协作问题时, 具有响应速度快并保持某些值稳定变化的优点^[9]。基于人工免疫系统的这一特点, 可以采用免疫控制的方法来实现评价价值下降速度的相对稳定, 即人工免疫协作方式。

2.1.1 人工免疫协作方式

人工免疫系统(Artificial Immune System, AIS), 是指模仿自然免疫功能的智能系统。在自然免疫系统中, 抗体通过相互间的合作消灭抗原, 并保持抗体浓度的相对平衡。在人工免疫系统中, 抗原一般指问题及其约束, 抗体一般指问题的候选解, 抗原抗体的亲和度反映了问题与候选解的匹配程度, 而抗体的浓度反映了候选解对问题消解的速度^[10]。通过更新抗体浓度并选取浓度最大的抗体作为当前解, 就可以达到系统的动态平衡。浓度的计算如式(2)所示^[10,11]。

$$A_i(t) = A_i(t-1) + \left(\sum_{l=1}^n m_{il}^a \alpha_l(t-1) - \sum_{k=1}^n m_{ki}^w \alpha_k(t-1) + m_i - k_i \right) \alpha_i(t-1) \quad (2)$$
$$\alpha_i(t) = \frac{1}{1 + \exp(0.5 - A_i(t))}$$

式中 $i, l, k = 1, \dots, n$ 是抗体的数量; m_{il}^a 是第 l 个抗体对第 i 个抗体的抗体激励; m_{ki}^w 是第 k 个抗体对第 i 个抗体的抑制; m_i 是抗体 i 和抗原的亲和度; k_i 表示抗体 i 的自然死

亡率; $A_i(t)$ 是抗体 i 在 t 时刻的激励水平, $\alpha_i(t)$ 是抗体 i 在 t 时刻的浓度。

将此人工免疫模型应用于救护队协作, 需要定义系统的抗原和抗体, 如表 2 所示。

表 2 某一救护队人工免疫系统抗原抗体定义

抗体	一个具体的选择决策(选取某一已知的受伤待救市民作为营救对象)是一个抗体, 所有可能的选择决策构成抗体集合
抗原	$\{d_s, d_r, d_b, N_{at}, N_{hum}\}$

救护队到市民 i 的距离 d_s
 市民 i 到最近的避难所的距离 d_r
 市民 i 到最近的着火的建筑的距离 d_b
 正在营救市民 i 的救护队的数量 N_{at}
 市民 i 周围待救市民的数量 N_{hum}

根据此定义, 可以得出抗原和各个抗体之间的亲和度计算式如式(3):

$$m_i = (m_s + m_r + m_b + m_{at} + m_{hum}) / 5 \quad (3)$$

$$m_s, m_r, m_b, m_{at}, m_{hum} \in [-1, 1]$$

式中 m_s 表示由 d_s 引起的亲和度, m_r 表示由 d_r 引起的亲和度, m_b 表示由 d_b 引起的亲和度, m_{at} 表示由 N_{at} 引起的亲和度, m_{hum} 表示由 N_{hum} 引起的亲和度。

所谓 d_s 引起的亲和度 m_s 的计算, 实际上就是按照一定的需要构造 d_s 到 m_s 的映射。考虑令救护队倾向于选择较近的市民作为营救对象的映射如图 3 所示。其余亲和度的计算与此类似。

在考虑抗体间的激励和抑制时, 受伤市民的生命值 hp 、受伤市民的受伤值 $damage$ 、受伤市民的掩埋程度 $buriedness$ 就是重要的影响因素。通过这些值的相应映射值的加权计算可以得到抗体 i 与抗体 j 间的激励 m_{ij} 和抑制 m_{ji} 。

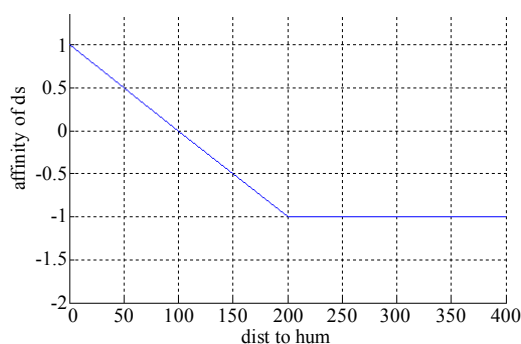


图 3 救护队到市民距离 d_s 与其亲和度 m_s 的映射

根据式(2)计算, 每个救护队员可以得到当前周期各个抗体的浓度, 各个救护队员选择具有最高浓度的抗体决策, 就构成了基于人工免疫系统的协作方式。

2.1.2 中心调控人工免疫协作方式

中心调控的人工免疫协作方式是模仿国家宏观调控, 由医院统一调控某些关键值, 导致救护队智能体整体上救援倾向发生变化, 实质上是影响因素的权重发生变化。

要实现中心调控的人工免疫协作方式, 需要挑选可供动态调整的具有足够影响的权值量。考虑式(3)各项子亲和度的

权重皆为 1/5, 可将子亲和度权重选为可变量, 得式(4)。

$$m_i = w_s m_s + w_r m_r + w_b m_b + w_{at} m_{at} + w_{hum} m_{hum} \quad (4)$$

$$w_s, w_r, w_b, w_{at}, w_{hum} \in [0, 1]$$

式中 w_s 、 w_r 、 w_b 、 w_{at} 、 w_{hum} 为各子亲和度的权重。医院在需要时通过消息修改各个救护队人工免疫系统中的这些权重值, 达到调整救援倾向的目的。

为了获得更大的调整空间, 可以增加计算抗体间激励和抑制时使用的三个因素的对应权值 w_{hp} 、 w_{damage} 、 $w_{buriedness}$, 其定义域与式(4)中相同。

中心调控的人工免疫协作方式是在基本的人工免疫控制方法基础上加入外部修正机制而产生的。一般来说, 在合理的调控原则和通讯机制下, 它的性能将优于无中心调控的人工免疫协作方式。

2.2 警察组协作方式

通过多次试验可以发现警察在整个救援过程初始阶段的作用是十分重要的, 警察组能否在初始的 100 个周期内较好地清除道路上的障碍, 将极大地影响救护组和消防组救援工作的展开^[3]。

同救援组类似, 简单的一对一或多对一的清障协作方式是不能满足警察组性能要求的。为了使灾难环境中的各部分路障都得到有效清理, 又能加快在关键道路上的清理速度, 可以采用静态分配与动态调整相结合的协作方式。该方式中的静态分配思想类似于并行计算的负载分配^[12], 动态调整模型采用了 MRL 的线性加权方法^[5]。

静态分配, 是根据系统的先验知识做出决策, 其目的石调度一个任务集合^[12]。这里是指根据初始状态下警察所处的位置, 将其分配到工作地图上一个固定的分区进行清障, 分区的数量是由警察数量决定的, 如式(5)。

$$MPN = C_e \cdot Num$$

$$APN = \lceil \sqrt{MPN} \rceil \times \left\lceil \frac{MPN}{\sqrt{MPN}} \right\rceil \quad (5)$$

式中 MPN 表示最大分区数, C_e 表示饱和系数, Num 表示警察的数量, APN 表示实际的分区数。方括号表示取整。

所谓动态调整, 是指无固定的负责分区的警察将根据实际情况穿梭于各个分区之间, 协助完成任务。

静态分配与动态调整相结合的协作方式的实现需要解决两个基本问题:

- 1) 分区如何划分。主要是指分区的形状、大小, 以何种物体作为分区的分界物。
- 2) 动态警察如何选择需要协助的分区。

划分分区最简单有效的方法是矩形分区法, 将地图划分为多个大小相等的矩形块, 并使每一个矩形块尽量接近正方形。

对于动态警察选择分区的评价模型, 可以使用线性加权模型^[5], 如式(6)。

$$EMP(MP_k) = \sum_{i=0}^{n-1} C_i \cdot V_{ki} \quad (6)$$

式中 $EMP(MP_k)$ 表示第 k 个分区的评价值, C_i 是分区评价值的第 i 个影响因素的系数, V_{ki} 是第 k 个分区评价值的第 i 个影响因素的值。通过选择多个影响因素, 调整影响因素的系数至合理范围, 可以使得动态警察按照预期的倾向选择需要协助的分区。可以选取的影响因素(分区中)包括避难所的数量(countref)、着火建筑的数量(countfire)、消防队数量(countfb)、救护队数量(countat)、警察数量(countpf)、市民数量(countciv)、中点距自己的距离(distome)、报告完全性路障的数量(blockrep)、报告被困智能体的报告数(lockedrep)、路径数量(countpath)等。

2.3 消防组协作方式

实践证明, 在 RCRSS 中, 一栋刚点燃不久(5 周期以内)中等大小的建筑物(底楼面积在 40~230M² 左右), 往往需要 3~4 个消防队喷水才能将其扑灭。中等大小的建筑, 在一般的灾难环境中占大部分比例(约为 70~80%), 故消防组的一个重要问题是如何有效扑灭中等大小的建筑物。分析灭火过程不难发现, 要使得着火的建筑获得足够的水量而被扑灭, 需要多个消防队分布在该建筑的四周同时喷水。于是, 消防组扑灭目标的协作问题, 就变成多个消防队在该目标周围的走位问题。

在分布式系统中, 每一个消防队的走位将由其根据环境中得到的信息自行决定。为了使之更容易地决定自己的走位, 尽量少出现走位冲突或空走位, 应在各个消防队之间建立一种共识^[13], 使得邻近的消防队在非特殊的情况下选择的扑灭目标趋于一致。基于此共识, 消防队员可以认为目标和自己附近所有消防队员的扑灭目标皆与己相同。于是, 按照集中式控制设计的走位策略就可以发挥作用, 这是消防组协作方式的基础。该方法是简化的协作规划模型。智能体具有自己的求解目标, 并且每个智能体都考虑其它智能体的行动和约束, 并进行独立的规划^[1]。这里所有的智能体在考虑其它智能体是使用了统一的标准。

共识的形成需要各个消防队在进行火区选择及扑灭目标选择时, 评价模型中与自身属性和消防队间排斥相关的因素具有较小的权重, 那么, 临近的消防队员在世界模型信息都较为可靠的情况下就会趋于选择相同的扑灭目标。

具体的走位策略的流程图如图 4 所示。

3 异类智能体间的协作

同类智能体间的协作方式解决了如何引导同类智能体高效完成本职任务的问题。但这些协作方式, 是站在解决某一方面具体问题的角度上提出来的, 没有或很少考虑到异类智能体对所要解决问题而采取行为的干扰或制约, 即异类智能体行为间的耦合。如果只是单纯地使用这些不考虑行为耦合的协作方式, 在实际的灾难环境仿真中将不会取得预期的

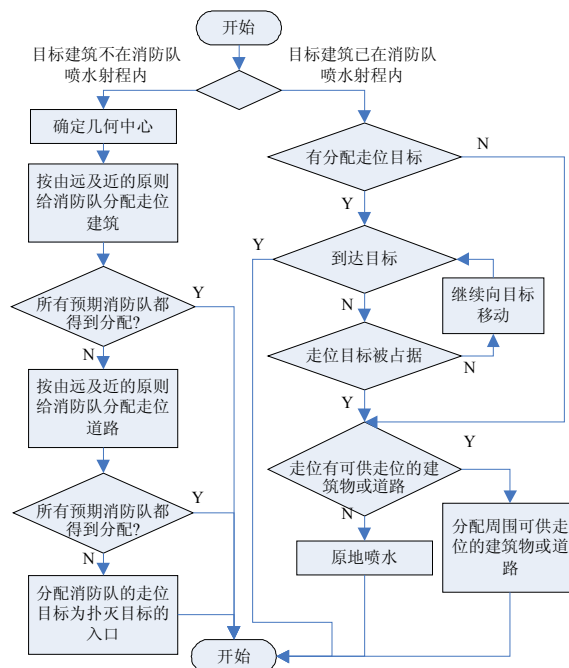


图 4 消防组走位策略流程图

效果, 甚至导致异类智能体间的死锁。事实上, 在 RCRSS 中, 异类智能体行为间存在多种耦合, 而这些耦合一般都表现在细节中。异类智能体间行为耦合有以下三种:

1) 清障与移动的耦合: 可以理解为警察在执行清障工作时, 需要考虑其它可移动非警察智能体的移动性, 并根据具体的智能体移动性受限情况采取不同的措施。

2) 救人与灭火的耦合: 可以理解为救护队在救助伤员时, 需要考虑是否优先救助处在火区边缘或就在着火建筑中的伤员, 同时, 消防队需要考虑是否优先扑灭救护队正在其中救援的建筑物以保证救援工作得以继续。

3) 救人与移动的耦合: 可以理解为救护队在救助伤员时, 是否优先救出被困的可控智能体, 使其可以移动从而能够完成相应的任务。

本节将分别描述此三种智能体间行为耦合的处理方式, 即智能体间的协作方式。由于已经有同类智能体间的协作方式作为基础, 它们相对要简单和直观。

3.1 清障与移动耦合的处理方式

非警察可移动智能体的移动性受限的情况分为三种:

许多智能体集中在一条或几条道路上导致该道路交通堵塞, 所有智能体不能移动。

智能体被路障堵死在一个较小的范围内。

多个智能体同时想通过一条道路, 但是该道路上有一个完全性路障, 导致处在到该道路中间的智能体丧失了移动性。

不难理解, 第一种情况不应该由警察智能体直接考虑处理方式, 因为该情况的产生不是直接由路障导致的。而第二和第三种情况就是属于清障与移动的耦合了, 需要寻求合适的处理方式。

对于第二种情况,一般出现在仿真初期并需要及时解决。若得不到有效处理,将严重影响初期被困智能体的移动性,使得实际可控制的智能体数量减少,这对于大范围灾难环境人手紧缺的情况是极其不利的。所以,比较合理的处理方式应该是警察在选择清除的路障时,优先考虑那些被困在小范围内的智能体周围的路障,清除这些路障,将可扩大相应智能体的移动范围。为了实现这一处理方式,可以采用无线电通讯报告被困情况的办法来寻求警察的协助。事实上,在描述警察组协作方式时,已经将该处理方式通过添加评价模型评价价值的影响因素实现了。在警察组协作方式的评价模型所考虑的影响因素中,有 *lockedrep* (分区中报告被困智能体的报告数)这样一个因素,它的权重是较高的,并且它的值在相应的智能体没有解困前将一直不会为零。这使得负责该分区的警察将以很高的优先级去先解救那些被堵住的智能体,除非出现了更为紧急的事情需要他去完成,否则他会先解救完分区中的被堵的智能体。

对于第三种情况,需要解决的是如何让堵在道路中的智能体让出道路,使得警察可以到达路障处将其清除。一种简单而有效的处理方式是,当警察到达堵塞区域附近时,使用自然声音(说话)要求其他的非警察类智能体让出道路,这些非警察类智能体听到后,选择就近的建筑物进入或退到发出声音的警察身后,这样警察就可到达需要清除的路障处进行作业了。

3.2 救人与灭火耦合的处理方式

该问题的处理分为两个方面,一方面是救护队如何判断是否救助处在火区附近或着火建筑中的伤员,另一方面是消防队如何在保证扑灭大火的前提下使得有救援行动的建筑物尽量少着火。

救护队在选择救援目标时,应考虑是否需要优先救出处在火区附近或着火建筑中的伤员。判断的基本依据是当选择了一个处在火区附近或着火建筑中的目标进行救援时,消耗在该行为中的力量不应使得救护队整体的救援行动产生过大的波动。为了满足该基本依据,又使得救护队能够尽量救助火区附近或着火建筑中的伤员,可以修改救护队使用的人工免疫系统,使其中包含伤员与火的相关信息。事实上,在描述救护队人工免疫系统实现时,抗原中已经加入了上述所需的信息——市民 i 到最近的着火建筑的距离 d_b 。该因素所产生的子亲和度可以影响救护队对救援目标的选择,采用如图 5 所示的映射关系,可以使得救护队倾向于救助离着火建筑较近但仍有一定距离的伤员。

基于调整的救护队的人工免疫系统将使得救护队倾向于救助火区边的伤员,消防队在选取扑灭目标时就应该优先选取那些存在待救伤员的建筑。选取的基本依据与救护队类似,即该行为所消耗的力量应对消防队扑灭整个火区不会产生过大的影响。基于这样的依据,在消防队选择火区的评价模型中也只能加入较少的与伤员位置有关的影响因素,形成适当的倾向。该实现较为简单。

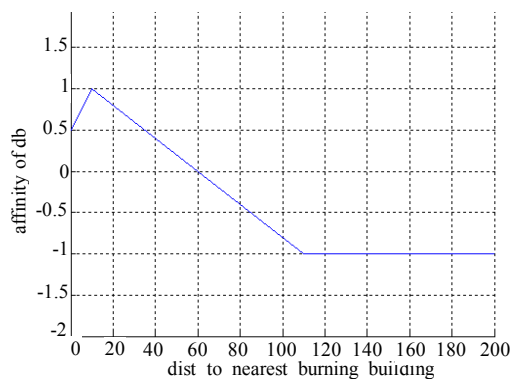


图 5 市民到最近着火建筑距离 d_b 与其亲和度的映射

3.3 救人与移动耦合的处理方式

在某些特定的灾难环境下,救护队、警察、消防队这些可控智能体也可能被埋在建筑物中不能移动。此时,可以移动的救护队就不应该再只考虑救出市民,与清障与移动耦合中第一种情况(智能体被路障困在小范围内)类似,救护队应优先考虑如何救出被埋的可控智能体。同时,该事件较之清障与移动耦合中第一种情况更具有紧急性,因为智能体在被埋的过程中,随着时间的流逝,生命值也会减少直到死亡。于是,处理该耦合事件时,救助被埋智能体的优先级应异常的高以保证足够的持续性来救出所有被埋的智能体。

为了不丧失在特殊情况下的灵活性,此处理方式的实现依然可以在救护队所使用的人工免疫系统上完成。具体的实现只需要在按照正常方式计算出被埋智能体的浓度后,再追加一定量补偿值,就可以达到较好的效果。经多次试验调整,SEU_RESCUE 采用 0.95 作为补偿值。

4 仿真结果

为了检验所描述方法的效果,本文将使用由 RoboCupRescue 官方提供的标准仿真平台,在名为 Kobe 的地图上进行仿真测试,并设定灾难环境如图 6 所示。该灾难环境中,包含了绝大部分种类的灾难情况,如大范围地震、大面积房屋倒塌、多处失火、智能体被路障阻塞、大量待救伤员等,属于综合性的灾难环境。具体灾难数据如表 3 所示。图 7 至图 11 所示的仿真结果表明本文提出的协作方法在该灾难环境中是有效的。

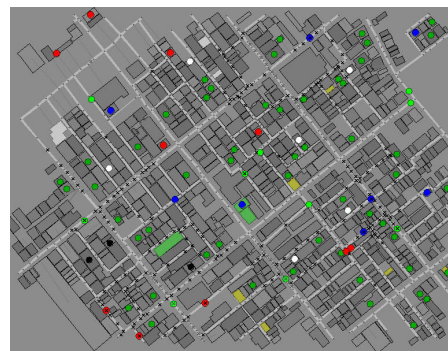


图 6 Kobe 的初始灾难环境

表 3 Kobe 灾难环境数据

FN	RN	CN	ATN	PFN	FBN	CENN	BP	SCINI
6	3	72	6	8	10	3	91.1%	96.94

(FN: 着火点数量; RN: 避难所数量; CN: 市民数量; ATN: 救护队数量;
PFN: 警察数量; FBN: 消防队数量; CENN: 中心智能体数量;
BP: 倒塌房屋比例; SCINI: 初始分值)

图 7(a)显示出多个救护队在一起抢救一个伤员, 而图 7(b)则表明救护队分散在三处分别救助不同的伤员。这说明采用人工免疫系统控制的救护组协作具有灵活性, 能够根据环境中具体的情况动态调整救助某一个伤员的救护力量即救护队数量。

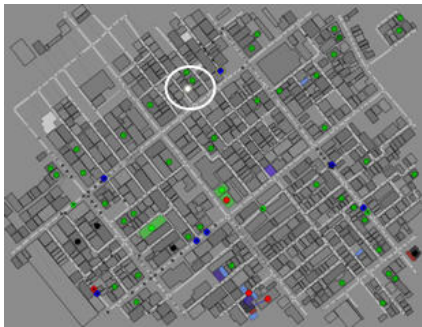


图 7(a) 多个救护队救助一个伤员

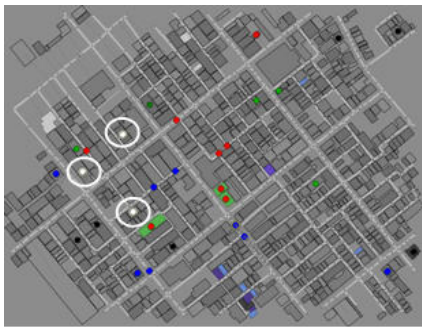


图 7(b) 救护队分散救助

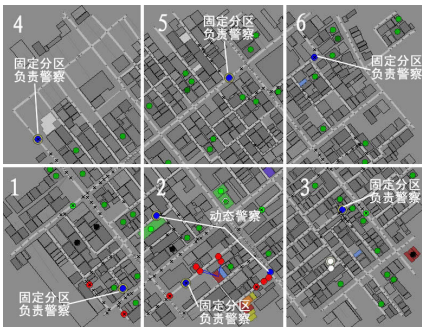


图 8 警察分区负责和机动协助

图 8 描述了警察组静态分配与动态调整相结合的协作方式。如图, Kobe 被划分为六个分区, 而每个分区中至少有一个固定的警察负责清理路障。在当前周期, 分区 2 中有 2 个动态警察协助分区 2 中的路障清理工作。

图 9 描述了多个消防队在扑灭目标周围的走位协作。图 9(a)为消防队在向扑灭目标移动时的情景; 图 9(b)显示消

防队在扑灭目标周围采取喷水行为时的最终分布。可以看出, 扑灭目标附近的消防队具有扑灭同一目标的共识, 并向该目标移动, 在移动的过程中, 根据周围消防队的分布情况选择适合自身的走位点, 进而在整体上达到多个消防队在目标周围均匀分布喷水的效果。



图 9(a) 消防队向待扑灭目标移动

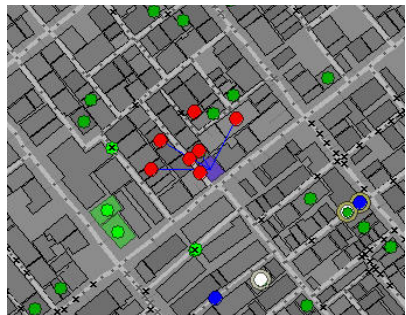


图 9(b) 消防队在扑灭目标周围的分布

图 10 描述了警察与其他非警察智能体间的协作。图 10(a)表明警察在得知某消防队被困在路障中的消息后, 优先清除该消防队周围的路障, 使其迅速获得更大的移动范围。图 10(b)显示多个消防队被路障堵住了通往扑灭目标的道路, 而图 10(c)表明原本处在消防队后方的警察通过近距离呼喊使得被堵消防队退到其身或进入附近的房屋中, 让出道路, 这样该警察就可以到达路障处完成清障工作, 进而畅通了消防队与扑灭目标间的道路。

图 11 表明了仿真结束时(300 周期)图 6 所示的灾难环境的救援效果, 最终评价值为 90.43, 与初始值 96.94 相差仅 6.51, 评价值减少量为初始值的 6.72%。从图中不难看出, 火势得到了有效的控制, 道路上的路障已经全部清除, 受伤的市民除少数死亡外, 大部分已救回避难所。具体的结果数据如表 4 所示。说明该协作方法在此综合性的灾难环境下是有效的。

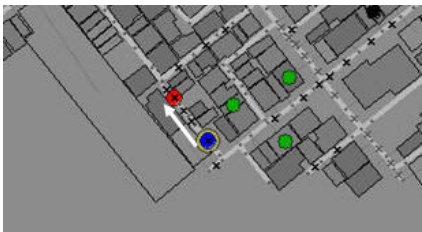


图 10(a) 警察解救被路障困在小范围的智能体

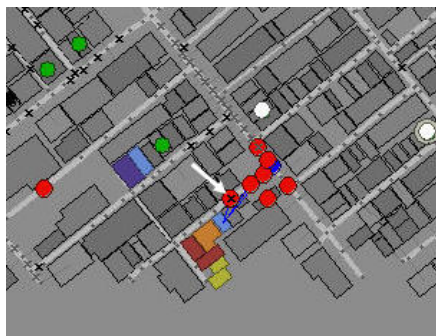


图 10(b) 消防队的通路被堵

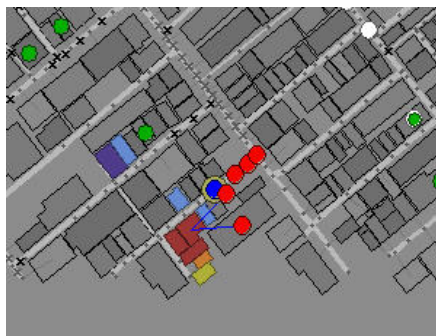


图 10(c) 消防队退至警察的身后

表 4 Kobe 灾难环境仿真结果数据

被烧房屋数	死亡数	剩余路障数
15	6	0

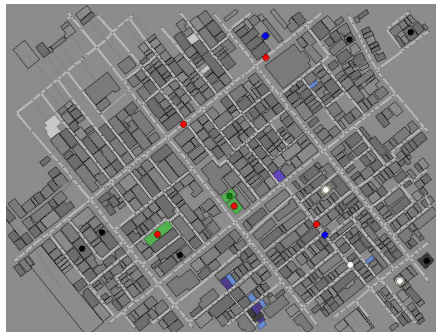


图 11 Kobe 的最终救援效果

5 结论

本文总体介绍了 RoboCupRescue Simulation System 系统, 包括系统的结构、仿真环境、系统中的智能体以及智能体间异构, 在此基础上, 按照同类智能体间协作、异类智能体间协作的分类方法深入分析了系统内智能体间协作所需要解决的各种具体问题, 并针对这些问题提出了相应的解决方法, 形成对应的协作方式。这些协作方式分别采用了不同的评价模型或控制方法, 包括人工免疫控制、中心调度人工免疫控制、线性加权评价模型以及基于共识的分布式控制等。这些协作方式的综合使用, 就构成了以多种评价模型或控制方法为基础的综合型协作方法。该方法虽然采用了较多的评价模型和控制方法, 但每一种模型或方法都对应一个具体的智能体类别(或组别), 控制思想清晰, 调整各类别智能

体协作性能方便。异类智能体间的协作方式, 在该方法中实际上是同类智能体间协作方式的一些边界条件的处理或补充, 故可扩展性较好, 随着加入处理的边界问题的细化, 协作性能也可以得到提升。通过在具有综合灾难特点的 Kobe 环境下进行仿真测试, 5 个仿真子例结果表明, 本文提出的综合型协作方法较好的解决了 RCRSS 中智能体间的协作。

但是, 该方法仍然存在许多可改进之处。例如, 救护队人工免疫系统的参数可以进一步优化以使得救护队具有更好的适应性, 警察可以采用更加灵活的分区方式(包括分区的数量和形状), 消防队可以考虑相对于具体灾难环境更有效的共识形成方式, 等等。这些都将作为进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] 杨煜普, 李晓萌, 许晓鸣. 多智能体协作技术综述[J]. 信息与控制, 2001, 30(4): 338-343.
- [2] Gerhard W. Multi-agent system S: A modern Approach to Distributed Artificial Intelligence [M]. Boston, USA: MIT Press, 1999.
- [3] RoboCup Official Site. RoboCup Brief Introduction [EB/OL]. (1998) [2007-09-25]. <http://www.robocup.org>.
- [4] RoboCupRescue Technical Committee. RoboCupRescue Simulation Manual [EB/OL]. (2000-07-01) [2007-9-26]. <http://www.robocuprescue.org/docs/robocup-manual-v0-r4.pdf>.
- [5] Maziar Ahmad Sharbafi, Omid AmirGhasvand, Saeed Ansari. MRL 2006 Team Description, 2006, RoboCup 2006 Symposium Proceeding CD [M/CD]. (2006-06-18) [2007-09-26]. <http://www.robocuprescue.org>.
- [6] K Zamanifar, B.S Ghahfarokhi, H Shahbazi, M Kazemifard. Bam Rescue Simulation Team Description 2006, RoboCup 2006 Symposium Proceeding CD [M/CD]. (2006-06-18) [2007-09-26]. <http://www.robocuprescue.org>.
- [7] L Magnus, L Andrew. The OASIS Air Traffic Management System. [C]// 1992, Proceedings of the Second Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence. Seoul, Korea: PRICAI, 1992: 1003-1009.
- [8] Maziar Ahmad Sharbafi, Caro Lucas, Abolfazel Toroghi Haghighat, Omid AmirGhasvand, Omid Aghazade. Using Emotional Learning in Rescue Simulation Environment [J]. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology (S1307-6884), 2006, 13: 333-337.
- [9] Dasgupta D. Advances in artificial immune systems [J]. Computational Intelligence Magazine (S1556-603X), 2006, 1(4): 40-49.
- [10] Guan-Chun Luh, Chun-Yin Wu, Wei-Wen Liu. Artificial Immune System based Cooperative Strategies for Robot Soccer Competition [C]// IFOST2006. USA: IEEE, 2006: 76-79.
- [11] 高云园, 韦巍. 未知环境中基于免疫网络的多机器人自主协作[J]. 浙江大学学报(工学版). 2006, 40(5): 733-737.
- [12] 汪祥莉. 并行分布计算中的静态负载分配[J]. 微电子学与计算机. 2002, (7): 20-21.
- [13] Wei Ren, Beard R W, Atkins E M. A survey of consensus problems in multi-agent coordination [C]// American Control Conference 2005 Proceedings. USA: IEEE, 2005: 1859-1864.
- [14] 楚要钦, 李孝安, 蒲勇. 多智能体足球机器人系统的协作控制[J]. 哈尔滨工业大学学报. 2004, 36(7): 911-913.
- [15] 薛宏涛, 沈林成. 基于协进化方法的多智能体协作系统体系结构及其仿真框架[J]. 系统仿真学报. 2002, 14(3): 297-299, 303.
- [16] 汤哲, 孙增圻. 机器人足球中的协作 [C]// 第四届全球智能与自动化大会论文集. 上海, 中国, 2002, 469-473.
- [17] Stuart Russell, Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach [M]. USA: Prentice Hall, Posts & Telecommunications Press, 2004.