

实验课 9：机器人救援仿真竞赛设计

一、实验大纲

1. 机器人救援仿真竞赛背景
2. 机器人救援仿真竞赛环境设计
3. 机器人救援仿真竞赛系列实验

二、机器人救援仿真竞赛背景

2.1 机器人救援的研究背景和意义

在人民生活水平不断提高、科技日新月异的时代，机器人将逐步走入人类的日常生活，与人类友好共处，是未来社会生活发展的必然趋势。多机器人系统技术不仅是智能机器人发展的前沿技术，也是引领人类未来生活新模式、培育机器人新产业革命的一种核心技术。

近年来多发的自然灾害如地震、火灾、洪水、人为的恐怖祸害如恐怖活动、武力冲突和有毒物质、放射性物质带来的危害，威胁着人们的安全，引起了广泛的关注。虽然人们对各种灾难的警觉和反应能力有所提高，但在处理破坏性灾难事件时还是准备不够充分，不专业、不及时的救援活动造成很多不必要的人员伤亡。在一些危险性大的灾难中，如随时会引发爆炸的火灾现场；有易燃、易爆或剧毒气体存在的现场；地震后存在易二次倒塌建筑物的现场；施救人员无法深入进行侦探或施救，人们迫切需要探知火灾现场的内部险情，但又不敢或无法接近或进入火灾现场等。此时，救援机器人的参与可以有效地提高救援的效率和减少施救人员的伤亡，它们不但能够协助人们完成救援任务，而且可以代替相关人员执行搜救任务。

近年来，特别是“9.11”事件以后，世界上许多国家开始从国家安全战略的角度研制出各种反恐防爆机器人、灾难救援机器人等危险作业机器人用于灾难的防护和救援。在 2005 年 6 月份日本神户召开的 IEEE 安全、防卫、救援国际研讨会((IEEE SSRR'OS)上，将“在今后的减灾和救援中，机器人作为一种有效的手段，将成为社会基础设施中不可缺少的部分”定为会议的主旨。同时，由于救援机器人有着巨大的潜在应用背景和市场，国际上一些著名的公司和科研机构，如日本的 Tmsuk 公司、马萨诸塞州的福斯特-米勒公司、国际救援系统研究所、中日救援与安全机器人技术研究中心等也正在致力于救援机器人的研究与开发。

RoboCup 机器人世界杯竞赛于 2001 年增加了机器人救援的专项比赛 RoboCupRescue，为救援理论和技术提供研究的试验平台。RoboCup 是一个为了促进人工智能、机器人技术等发展的国际合作计划，同时也是一个国际性的研究机构和教育性的组织，它的目的在于通过在一个宽广的能够进行分析和综合的领域规定一个权威的问题，鼓励和推动人工智能和机器人技术的发展。RoboCup 由许多不同的技术组成：自治机器人的设计原理、多智能体的协作、策略的获取、实时的推理和机器人技术等。RoboCup 技术一个重要的应用就是在大的灾难场地进行机器人的搜索和救援。

RoboCupRescue 机器人救援仿真是是一个通过模拟现实生活中的城市灾难场景，用机器人进行救援的仿真系统，它是和应用领域结合十分密切的新兴工程，其主要目的是使救援

智能体进行有效的分工协作，完成营救市民和灭火的任务，以最大限度地减小灾难带来的损失，进而在灾难救援这个重大的社会问题上促进研究和发展。

RoboCupRescue 机器人救援仿真系统是用计算机对真实的城市灾难情况进行模拟，如在地震发生时的仿真模拟环境中：房屋，建筑物等都倒塌了；道路、轨道和其他一些公共交通设施都被毁坏了；基础的城市设施比如电力，下水道系统也都被毁坏了；通信设施和信息的传播被中断了，许多受害者被埋在倒塌的房屋下；地震引起的火灾开始很快的蔓延；救火队因为水的供应很紧张不能有效的救火；消防车要通过的道路和停车的空旷地都被倒塌的房屋碎片挡住了等场景。为了减小灾难带来的损失，参赛队伍需要开发一支强有力的救援智能体队伍，在仿真系统提供的灾难场景下进行有效的救援工作，并且尽快地营救受伤的民众，抢救人们的生命财产，把灾难的损失降低到最低限度。**RoboCupRescue** 仿真是一个公开研究结果和源代码的工程。世界上任何地区的研究人员都可以参加这个工程，进行研究、娱乐、训练和互联网教育。这个工程在不同范围的各种可能的发展，将会使我们创造一个安全的社会，最终为人们实际的救援行动提供决策支持。

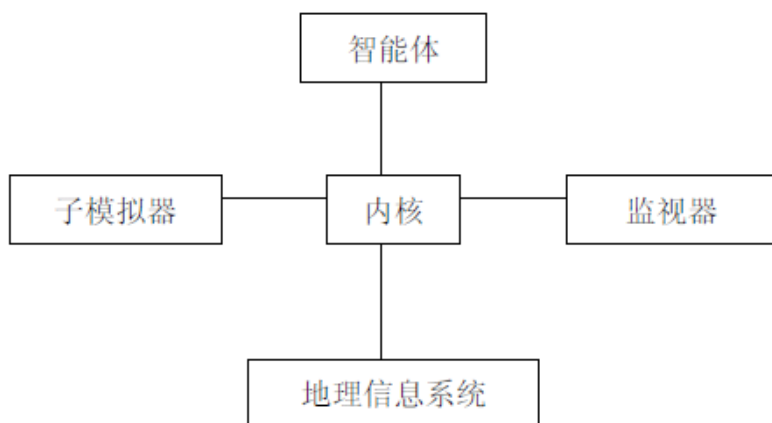
RoboCupRescue 仿真联盟有两重目的：第一，它的目的在于研发开发仿真器以形成基本的仿真系统架构并模拟现实灾难环境。第二，致力于开发具有能够在灾难情形中承担主要角色能力的智能体和机器人。

RoboCupRescue 项目联盟作为比赛是一个对 **RoboCupRescue** 项目研究成果的国际性的评价，在 2001 年正式成为 **RoboCup** 下属的正式比赛项目，**Virtual Robots** 竞赛第一次出现在 2006 年的德国不来梅 **RoboCup World Cup** 中。

2.2 机器人救援 Agents 竞赛

在 **RoboCupRescue** 仿真系统中，包括地图以及救援智能体。地图作为智能体执行救援任务的平台，通常是实际城市的模拟，包括有建筑物、道路、河流、路口等。当灾难如地震、火灾发生时，会引起房屋倒塌，道路阻塞，建筑物着火，以及市民受伤、无法逃生等。于是，需要救援智能体进行市民营救以及灭火的任务。救援智能体一般由 30-40 个智能体组成，这些智能体包含有六种类型，分别是警察—负责清除路障、救护队员—负责营救市民、消防队员—负责灭火，警察局、救护中心、和消防中心，这三类中心则主要任务是接收和发送消息，及指导所属智能体的行为。

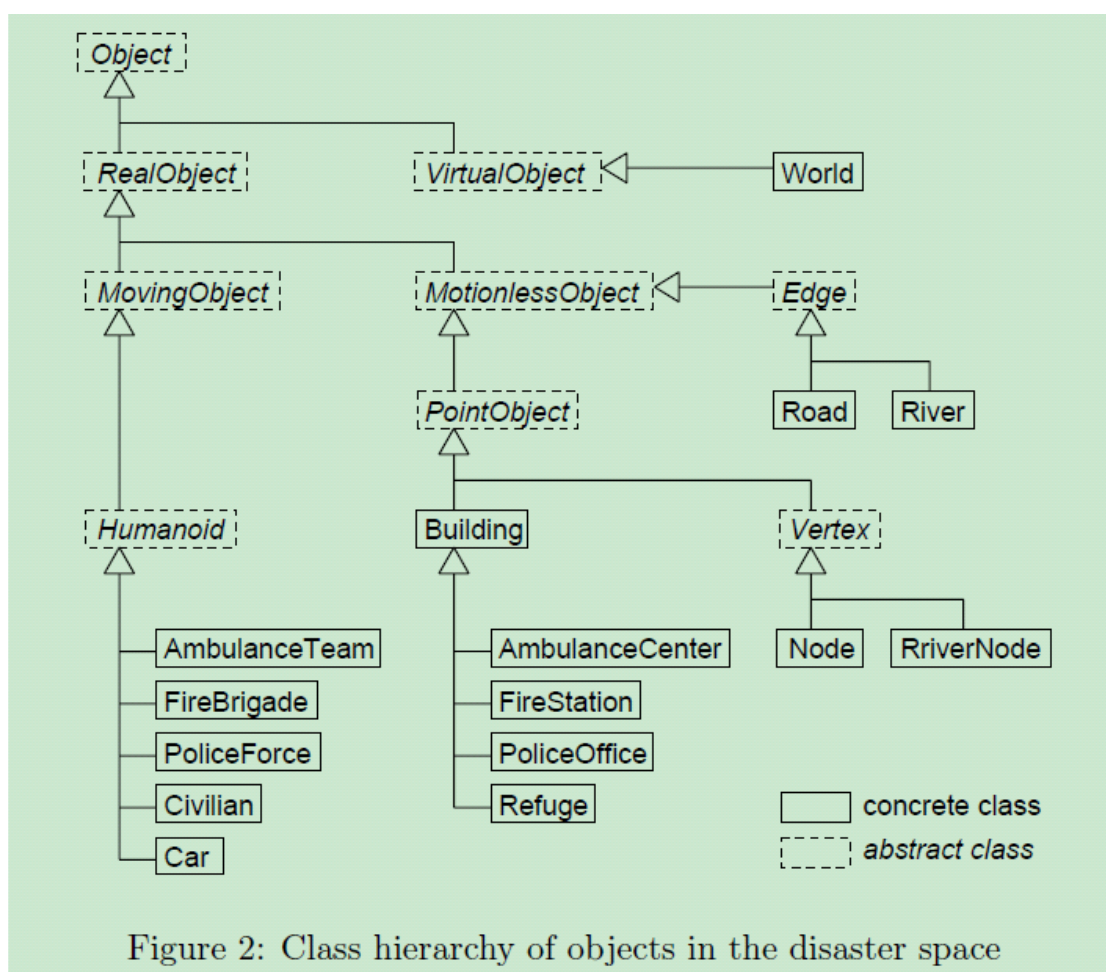
机器人救援仿真系统是一个实时的分布式仿真系统，它是由几个模块通过网络连接组成，如图 1。每个不同的模块可以在不同的计算机上作为一个独立的程序运行，所以计算任务可以分散到许多台计算机上。每一个灾难现场都是同专门的子模拟器仿真出来的，如倒塌的建筑物和蔓延的大火，警察、救护队和消防队扮演不同的独立的机器人救援智能体，地理信息系统提供灾难现场最初的条件，并且监视灾难地的环境，内核负责各模块和仿真器之间的通信。



三、机器人救援仿真竞赛环境设计

3.1 灾害场景设计

灾害场景类层次图：

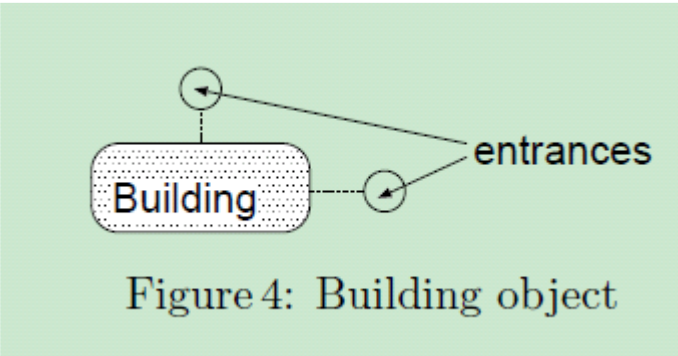


以上是灾害场景中的类层次图，主要的对象分为3类，建筑，道路，人类。

a) 建筑物的属性

Table 1: Properties of a Building object			
Property	Type or [Unit]	Comment	
x, y	[mm]	The x-y coordinate of the representative point	
entrances	ID ₁ , ···, ID _n , 0	The connected nodes and roads.	
floors	[floor]	The number of floors	
buildingAreaGround	[mm ²]	The area of the ground floor (1st floor)	
buildingAreaTotal	[mm ²]	The total area summing up all floors	
fieryness	The state that specifies how much it is burning		
	0	Unburned	
	1	Burning	Burning time rate
	2		0.00 ~ 0.33
	3		0.33 ~ 0.67
			0.67 ~ 1.00
	5	Put out	Burned rate
	6		0.0 ~ 0.2
	7		0.2 ~ 0.7
		0.7 ~ 1.0	
buildingCode	The code of a construction method		
	Code	Construction method	Fire transmission rate
	0	Wooden	1.8
	1	Steel frame	1.8
	2	Reinforced concrete	1.0

其中 x, y 指的是该建筑物的空间属性
entrances 表示的是和该建筑物所连接的道路，如下图



floors, buildingAreaGroud, buildingAreaTotal 表示的是建筑物的建筑面积相关的属性
fieryness 表示的是该建筑物的燃烧等级：

- 0 级，建筑物没有着火，建筑物整体没有受到损害
- 1 级，建筑物正在着火，建筑物整体受到轻微损害
- 2 级，建筑物正在着火，建筑物整体受到中等损害
- 3 级，建筑物正在着火，建筑物整体受到严重损害
- 5 级，建筑物火被扑灭，建筑物整体受到轻微损害
- 6 级，建筑物火被扑灭，建筑物整体受到中等损害
- 7 级，建筑物火被扑灭，建筑物整体受到严重损害

当建筑物着火时，建筑物每个周期（仿真世界中每秒）的燃烧速度是当前建筑物的 FireTransmissionRate/200

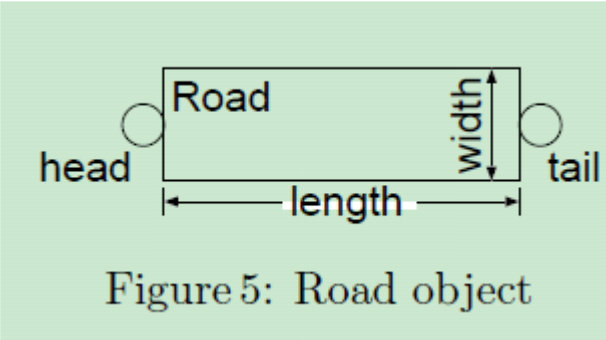
燃烧速度的累积为当前房屋的燃烧率 Burning rate/Burned rate，建筑物的燃烧率可用来评估 Rescue 策略的好坏

buildingCode 表示的是建筑物的类型：木制，钢结构，混凝土，不同类型的建筑物对于火灾的传播系数不同：

当前建筑物的 **Fire transmission rate * Burning time rate>0.75** 时, 火灾将会扩散到该建筑物周围的 (设定为周围 10m) 建筑物处。(只有正在着火的建筑才能传播火, 被扑灭的建筑物依旧有可能再次着火)。

b) 道路属性

Table 2: Properties of a Road object		
Property	Type or [Unit]	Comment
head, tail	ID	The end-point. It must be a node or a building
length, width	[mm]	The length from the head to the tail, and the width
linesToHead/Tail	[line]	The number of traffic lanes for cars toward the head/tail
block	[mm]	The width of a blocked part through which cars cannot pass
repairCost	[team-cycle]	The cost required for clearing the block



如上图, 道路的两端必须是连接建筑物或者另一条道路用 head 和 tail 进行标示
Length 和 width 表示的道路的物理属性

linesToHead/Tail 表示的该道路的车道 (注意, 单位为 mm)

block 表示的是该道路中阻塞, 其中当某建筑物完全烧毁的时候 (Burned Rate 为 1), 会产生 1 点阻塞, 即道路的阻塞值为这条道路上所有烧毁的建筑数 (这个值清 0 直至警车将该阻塞清理), 1 且存在一点阻塞, 道路中将出现一阻碍物, 该条道路将不可通行。

repairCost 表示的是清理该阻塞的代价: 具体的估算方法如下

$$\text{repairCost} = (\text{block} * \text{roadLength} + (\text{CONST} - 1)) / \text{COSNT}$$

CONST 的值为 $\text{roadLength} * \text{roadWidth}$

c) 人的属性

Table 4: Properties of a Humanoid object		
Property	Type or [Unit]	Comment
position	ID	An object that the humanoid is on. When the humanoid is loaded by an ambulance, this is set to the ambulance.
positionExtra	[mm]	The offset length from the position: a length from the head when the humanoid is on a road, otherwise it is zero
hp	[health point]	The health point. The humanoid dies when this becomes zero
damage	[health point]	The damage point by which the hp dwindles every cycle. This becomes zero immediately after the humanoid arrives at a refuge
buriedness	[team-cycle]	The cost required to rescue the humanoid. When this is greater than zero, the humanoid cannot act.

position 表示的该人所处的建筑或者道路或者车辆的 ID

positionExtra 表示的是该人在所处地点的偏移量, 如: 在某道路的离该道路入口多远处, 在某建筑物的第几层等等

hp 表示的该人的健康状况，如果该数值到达 0，表示该人死亡，初始时每个人的 HP 值为 100，其中救护车，救火车，警车暂不考虑其 HP 以及其所受的伤害
damage 表示的该人每个周期内所受的伤害值（减 HP），如果其到达了避难所或者救护车，该值为 0，该值为附近建筑（Agent 的感知环境的范围为 10m）对 Agent 的伤害求和：

- 当该建筑物处于燃烧等级 1 时，对其周围的 Agent 伤害值为 Fire transmission rate/10
- 当该建筑物处于燃烧等级 2 时，对其周围的 Agent 伤害值为 Fire transmission rate/5
- 当该建筑物处于燃烧等级 3 时，对其周围的 Agent 伤害值为 Fire transmission rate/2.5

buriedness 表示的在一个灾害场景中救出该人的代价，若该值大于 0 则表示这个人已经无法移动

3.2 Agent 设计

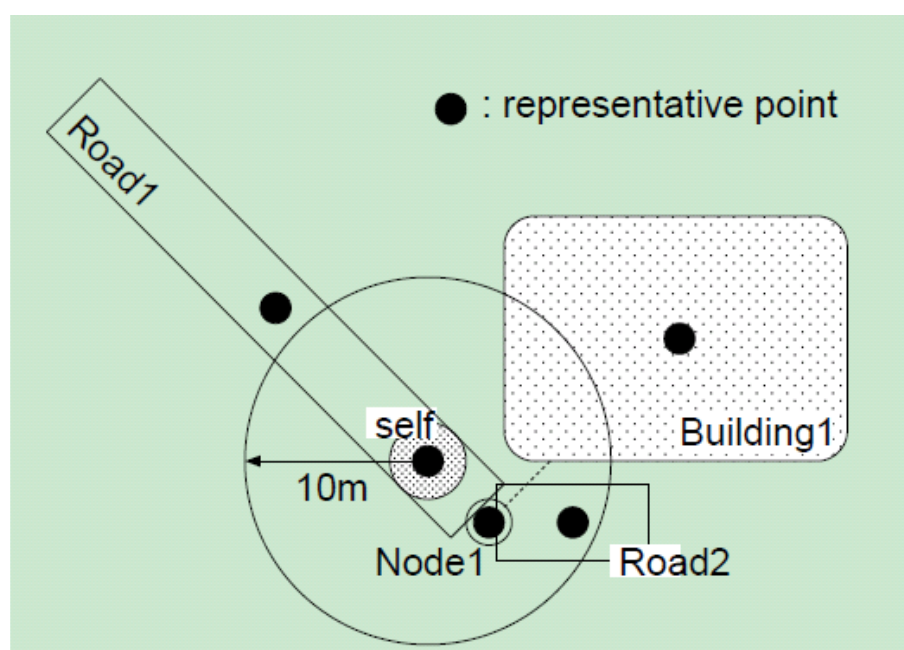
a) 概要

在这个场景中，主要以人作为 Agent，除了上面所介绍的人类属性外，由于在这个灾害场景中，人是分为不同职业角色存在的，因此，还要定义每个角色所能采取的动作。

Table 5: Capabilities of RCR agents

Type	Capabilities
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

如上表，人类主要分为（从上到下）市民，救援队，救火队，警察，他们所能采取的动作各不相同。



此外，如上图，由于每个 Agent 都是身处于灾害场景中的个体，因此 Agent 所能感知的环境范围只有 10 米。

- b) 移动 Move: Agent 只能在道路上面移动，如果感知到前方存在阻塞，那么 Agent 将不能通过这个区域，并且 Agent 只能进入所在道路相连接的建筑物中；其中灾民的移动速度为 2m/s，车辆（救护车，救火车，警车）的移动速度为 5m/s
- c) 救援 Rescue: 当救援队（表示一辆救护车）的感知区域内发现一个伤患时，那么他可以通过 Load 动作将该 Agent 放入救护车中，当救护车中的人数超过 20 人时，救护车将必须返回避难所，用 UnLoad 动作把车上的所有 Agent 放置到避难所；
- d) 灭火 Extinguish: 当救火队（表示一辆救火车）的感知区域内发现一处火灾时，他将对建筑物进行灭火动作，多辆救火车可以同时一处建筑物进行灭火，每辆救火车对建筑物的灭火能力为：
 - 1. 当该建筑物处于燃烧等级 1 时，灭火速度为每周期 10%（10 个周期可灭火），该建筑物的燃烧速度降为 $\text{FireTransmissionRate} / (200 + 100)$ （即，每多一辆救火车，分母就+100）
 - 2. 当该建筑物处于燃烧等级 2 时，灭火速度为每周期 5%（20 个周期可灭火），该建筑物的燃烧速度降为 $\text{FireTransmissionRate} / (200 + 50)$ （即，每多一辆救火车，分母就+50）
 - 3. 当该建筑物处于燃烧等级 3 时，灭火速度为每周期 2.5%（40 个周期可灭火），该建筑物的燃烧速度降为 $\text{FireTransmissionRate} / (200 + 25)$ （即，每多一辆救火车，分母就+25）
- e) 清理路障 Clear: 当警察（表示一辆警车）的感知区域内发现一处道路阻塞时，他将对道路进行清理，每秒钟 1 辆警车能清理路障的 $1/\text{repairCost}$ （换算成 100%），当达到 100%时，清理可以完成，1 条道路可以由多辆警车进行清理
- f) 什么都不做 Nothing

3.3 竞赛评分规则

整体的计分规则如下：

$$\text{Point} = (P + S/S_{\text{int}}) * \sqrt{B/B_{\text{int}}}$$

P: 生还的Agent的个数

S: 生还的所有Agent的血量（HP）的和

S_{int}: 初始的所有Agent的血量（HP）的和

B: 剩余的建筑物的价值总和 $\Sigma (1 - \text{Burnedrate})$

B_{int}: 初始的建筑物数量

四、机器人救援仿真竞赛系列实验

4.1 实验目的和要求

本次实验为开放性实验，实验要求，基于Opensimulator服务器和LSL脚本语言，设计机器人救援仿真竞赛场景和各类角色Agent，通过对现实世界复杂场景的仿真实验，掌握多角色Agent的感知-推理-行为机制，实现对复杂场景的仿真。

4.2 机器人救援仿真竞赛系列实验

实验 1: 建筑物燃烧仿真实验

实验内容: 实验在一个城市内火灾的传播

实验步骤:

1. 按照上面的场景设计, 设计出若干相邻的建筑 (要包含 3 种建筑物类型)
2. 初始让其中一座建筑物着火, 观察火势的蔓延情况
3. 模拟 100 个周期, 结束时记录下所有建筑物的 Burned Rate

实验 2: 消防灭火实验

实验内容: 实验消防队对建筑物的灭火

实验步骤:

1. 按照上面的场景设计, 设计出若干相邻的建筑 (要包含 3 种建筑物类型)
2. 初始让几座建筑物着火, 观察火势的蔓延
3. 在模拟 50 个周期后, 给每一建筑附近布置若干辆消防车
4. 再模拟 100 个周期, 结束时记录下所有建筑物的 Burned Rate

实验 3: 救人实验

实验内容: 实验救护车对灾民的救助

实验步骤:

1. 按照上面的场景设计, 设计出若干相邻的建筑 (要包含 3 种建筑物类型), 以及一个避难所
2. 初始让几座建筑物着火, 观察火势的蔓延
3. 在模拟 20 个周期后, 给每一建筑附近布置若干个灾民(总共 20 个), 且其不准移动
4. 同时派出一辆救护车, 依次救出这 20 个灾民, 最后返回避难所
5. 结束时记录下当前灾民的剩余总血量 (HP)

实验 4: 清除路障实验

实验内容: 实验警车对道路进行清理

实验步骤:

1. 按照上面的场景设计, 设计出若干相邻的建筑 (要包含 3 种建筑物类型), 以及道路
2. 初始让几座建筑物着火, 观察火势的蔓延
3. 在模拟 50 个周期后, 观察道路上出现的阻塞情况
4. 给每一个存在阻塞的道路派出一辆警车, 观察清理阻塞的过程
5. 结束时, 计算清理阻塞的总时间

实验 5: 综合实验

实验内容: 布置灾害场景, 进行救援仿真

实验步骤:

1. 按照上面的场景设计, 在一个 256*256 的区域内设计出若干相邻的建筑 (要包含 3 种建筑物类型), 以及道路, 建筑的数量为 60, 分 4 个区域, 4 个区域的中心为避难所, 救护车, 救火车, 警车皆从避难所出发
2. 初始让 4 座建筑物着火, 4 个区域内各 1 个着火点
3. 灾民的数量为 40, 随机分散在 4 个区域内
4. 可供调遣的救护车为 2 辆, 救火车为 8 辆, 警车为 8 辆
5. 仿真的时间为 300 个周期
6. 结束时, 按照 3.3 节的评分规则计算总分