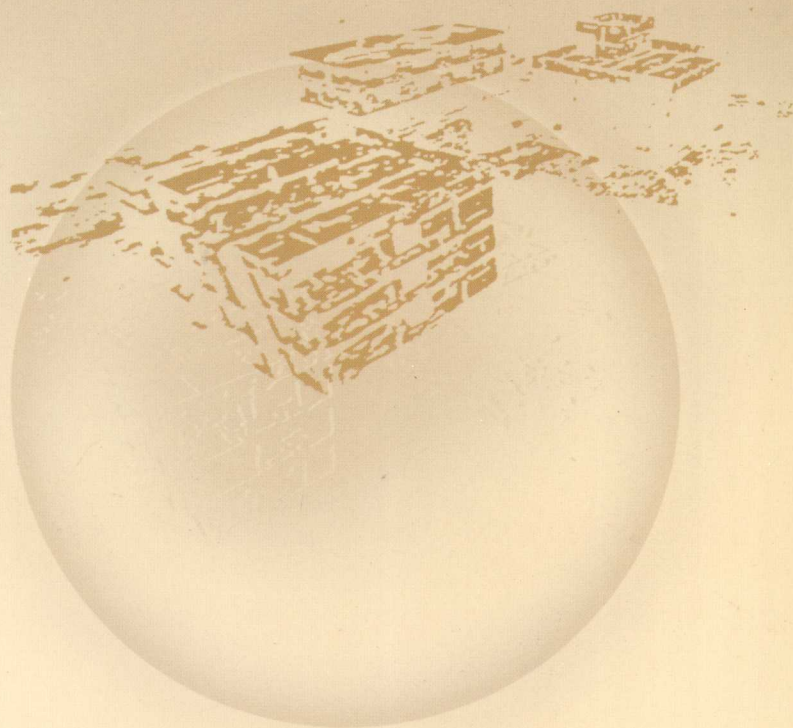




主编◎贾群林

地震救援训练 虚拟仿真应用技术



当代世界出版社

地震救援训练虚拟仿真 应用技术

主 编：贾群林

副主编：陈 欣 周柏贾

当代世界出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地震救援训练虚拟仿真应用技术 / 贾群林主编. —北京: 当代世界出版社, 2009. 5

ISBN 978 - 7 - 5090 - 0459 - 3

I. 地… II. 贾… III. 地震灾害—救灾 IV. P315.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 062454 号

书 名: 地震救援训练虚拟仿真应用技术
出版发行: 当代世界出版社
地 址: 北京市复兴路 4 号 (100860)
网 址: <http://www.worldpress.com.cn>
编务电话: (010) 83908400
发行电话: (010) 83908410 (传真)
(010) 83908408
(010) 83908409
(010) 83908423 (邮购)
经 销: 新华书店
印 刷: 北京才智印刷厂
开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16
印 张: 14.75
字 数: 350 千字
版 次: 2009 年 5 月第 1 版
印 次: 2009 年 5 月第 1 次
印 数: 1 ~ 2000 册
书 号: ISBN 978 - 7 - 5090 - 0459 - 3/P · 004
定 价: 38.00 元

如发现印装质量问题, 请与承印厂联系调换。
版权所有, 翻印必究; 未经许可, 不得转载!

《地震救援训练虚拟仿真应用技术》 专家顾问委员会

总顾问：赵和平

顾 问（按姓氏音序排序）：

黄宝森、黄建发、蒋鄯平、卢寿德
曲国胜、谭先锋、田义祥、吴建春
徐亚俊、张 辉

《地震救援训练虚拟仿真应用技术》 编 委 会

主 编：贾群林

副主编：陈 欣、周柏贾

编 委（按姓氏音序排序）：

步 兵、程 永、卢 杰、王东明
王念法、谢 鹏、徐永智、薛呈峰
颜军利

序

仿真技术是以控制论、相似原理和计算机为基础，借助系统模型对真实的（或假想的）系统进行实验研究的一门综合性技术。

仿真技术首先是在军事领域由于自动化武器系统研制的需要以及计算机技术的发展而发展起来的，并随后推广应用到国民经济的各个领域，成为系统工程中的科学方法和有力工具。

仿真技术具有安全、经济、可控、便于观测、无破坏性、可多次重复等显著的优点。它是完全建立在科学理论的基础之上的。现代科学也装备了它所采用的复杂的技术设施。科学技术化和技术科学化是仿真技术的鲜明特征。世界进入高科技时代后，仿真技术迅速发展，日益表现出巨大的军事、社会和经济效益令世人瞩目。已经被认为是除了理论研究、实践之外的第三种认识世界的手段。

特别是针对国家突发公共事件应急系统等复杂大系统，因为其决策合理性的检验非常缓慢而且一旦决策开始实施，其过程很难逆转或改变，就更需要利用仿真技术。可以说任何复杂大系统的研究都应该有相应的仿真系统。

地震灾害应急救援是一项复杂且专业性很强的工作，是典型的复杂大系统。国内外的经验证明，有效的指挥与管理对地震应急救援效能的充分发挥能起到十分关键的作用。因此，加强对各级政府应急管理人员及救援人员的培训，增强预案意识和救援技能，提高应对各类突发公共事件的处置协调能力尤其重要。胡锦涛总书记在“5.12”全国抗震救灾总结大会上强调指出，要强化对自然灾害预防、避险、自救、互救等知识普及，全面提高全社会风险防范意识、技能和灾害救助能力。要加强防灾减灾领域信息管理、宣传教育、专业培训、科技研发及国际人道主义援助等方面的国际交流合作，积极借鉴国外防灾减灾的成功做法和经验，建立健全同有关国际机构和各国政府在防灾减灾领域的合作机制，充分发挥我国在国际防灾减灾领域的重要作用。

中国地震应急搜救中心，坚持与时俱进，结合多年的培训经验，以各级各类破坏性地震应急预案为根据，以典型的地震应急救援案例为基础，采用仿真技术为训练提供了一个与真实的灾害现场十分相似的，可以交互的训练环境。实现了“看现场、作决策”的培训理念。特别是，这套仿真系统具有想定编辑功能，可以根据不同的训练要求，反复快速重建多种形式的废墟模型和灾害现场，并对训

练结果进行自动评估。

此书的问世，不仅可作为国内外相关领域专家研究的参考，同时也为各级各类应急管理和紧急救援人员进行地震灾害紧急救援训练提供了一个科学的培训方式，这一方式填补了我国在突发公共事件应急救援培训领域的一项空白，定将在应急救援培训工作中发挥重要的作用。

蒋 鄯 平

2009 年 2 月

前 言

虚拟仿真技术是一种综合计算机图形技术、多媒体技术、传感器技术、人机交互技术、网络技术、立体显示技术以及仿真技术等多种科学技术而发展起来的计算机领域的新技术。由于虚拟仿真技术的进步与逐步成熟，其应用在近几年发展迅速，应用领域已由过去的娱乐与模拟训练发展到包含航天、航空、军事、建筑、交通、医疗、教育、娱乐、艺术、体育、反恐训练等领域。虚拟仿真技术已经被公认为是21世纪重要的发展学科以及影响人们生活的重要技术之一。

地震灾害紧急救援训练是虚拟仿真的一个重要应用领域。地震灾害紧急救援是一项专业性很强的工作，国内外的经验表明，有效的指挥与管理对地震紧急救援效能的充分发挥能起到十分关键的作用。采用先进的虚拟仿真技术，可以为救援队员的训练提供一个与真实的灾害现场十分相似的训练环境。这种训练环境一方面与现实世界非常接近，使参训人员无论是视觉，还是从听觉与触觉上都能得到真实的体验。救援队员可以沉浸到这种训练环境中，接收视觉、听觉、触觉与指挥等全方位近似于实战的锻炼，从而提高训练的效果。另一方面，虚拟现实技术可以构造出很多超越现实世界的虚拟环境，比如一些现实世界难以实际构建或构建成本很高的环境，各种倒塌的建筑物，不同扩散的水或煤气等。

通过地震救援训练的虚拟仿真，参训者能身临其境地感觉到地震救援的过程，可以与虚拟地震灾害现场环境进行交互，并能查看地震灾害救援的准备过程、搜索过程、营救过程、撤离过程等活动，从而确认现实的应急救援体系是否有能力完成预定的地震灾害救援任务，也可从中发现应急救援过程的缺陷和问题，并予以改进。作为一种最新型的训练方法，地震救援虚拟仿真训练有许多不可比拟的优点：

首先，虚拟仿真训练是增强课堂教学和扩大训练效果的有效手段。采用虚拟仿真训练，可以非常方便地解决地震救援训练中的理论与实践问题，并很好地实现地震救援训练中的视觉、听觉和触觉三统一。

其次，虚拟仿真训练能模拟各种不同地震现场的虚拟环境，能够以较小的费用仿真多种形式的废墟模型与灾害环境，而且可以反复快速重建模型，全方位记录训练过程。

另外，虚拟仿真训练可实现可控安全的训练。在训练过程中让参训人员穿戴上数据头盔和手套，就可到达虚拟现场，亲自感受一番，并试验不同救援方案的可行性，从而提高行动成功的可能性。

总之，通过虚拟仿真技术能够进一步提高不同层次的指挥和搜索营救人员的救援水平和能力，节省废墟模型的搭建费用，降低救援设备的磨损率和训练综合成本，保证训练的安全性。

中国地震应急搜救中心在国家发改委、国务院应急办、国家地震局等部门的大力支持下，在国内开创性地将虚拟仿真技术应用于地震救援训练工作，先后开发了地震救援虚拟仿真想定编辑系统、地震现场指挥决策训练系统、指挥员训练虚拟仿真系统、救援队员单兵训练虚拟仿真系统等四大系统，突破了地震救援训练虚拟仿真的一系列关键技术，构建了宏观地震灾害场景、地震救援现场场景、单兵操作废墟场景等不同分辨率的虚拟训练场景，参训人员涵盖了政府应急部门领导、救援现场指挥员、救援队员、救援志愿者等不同层次。实现了“看现场、做决策”的地震救援虚拟仿真训练的目标。

为了进一步在国内推动相关技术领域的发展，促进虚拟仿真技术在应急救援方面的应用，我们将系统建设过程中的部分成果整理成书，一方面作为国内外相关领域专家研究的参考，另一方面作为参训人员利用该系统进行地震灾害紧急救援训练的使用手册。

本书共分七章，第一章主要论述了相关概念，虚拟仿真技术的发展概况，虚拟仿真的应用情况；第二章讲述了地震救援虚拟仿真系统的需求分析，包括地震救援的相关背景，地震救援训练需求分析，地震救援的业务流程；第三章论述了地震救援虚拟仿真系统的总体设计和实现，包括系统体系结构设计和各个分系统的硬件组成设计；第四章讲述地震救援虚拟仿真想定的概念与开发方法，包括虚拟仿真想定的基本概念、功能特点、开发过程与开发方法；第五章讲述地震现场指挥决策训练系统，包括系统的总体设计、训练脚本的主要命令和格式、最后以典型的训练场景为案例，介绍了地震现场指挥决策训练系统的使用方法；第六章介绍指挥员训练虚拟仿真系统，分别论述了指挥员控制、虚拟人控制、想定加载与运行控制的技术实现，并以一个现场指挥员训练脚本作为说明；第七章介绍了救援队员单兵训练虚拟仿真系统，包括系统的关键技术和体系结构。

本书的撰写，得到了国家发改委、国务院应急办、中国地震局和中国地震应急搜救中心等部门领导的大力支持，国内多位虚拟仿真技术方面的专家和学者也给予了多方指导，我国仿真界的元老之一，著名仿真技术专家蒋鄯平，亲自为本书题写了序言。在本书编写过程中，也引用了大量同行的相关技术材料，在此一并表示感谢。

由于编写时间仓促，加之是第一次在地震灾害紧急救援训练中应用虚拟仿真技术，书中疏漏之处在所难免，欢迎广大读者和同行批评指正。

作 者
2009 年 3 月



Contents

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 仿真、虚拟现实与虚拟仿真	1
一、仿真	1
二、虚拟现实	2
三、虚拟仿真	4
四、需要区分的几个概念	6
第二节 虚拟仿真发展概况	8
第三节 虚拟仿真应用	11
第四节 本书的组织	14
第二章 地震救援虚拟仿真系统需求分析	15
第一节 地震救援相关背景	15
第二节 地震救援训练需求分析	17
一、救援训练的内容	17
二、抢险救援行动的组织程序	18
三、救援训练组织方法	18
四、救援队主要装备器材	20
五、救援训练的考核	22
六、救援训练对虚拟仿真系统的要求	22
第三节 地震救援组织结构	24
一、地震现场人员角色及其用例	25
第四节 地震救援业务流程	31
一、准备阶段	32
二、搜索阶段	36
三、营救阶段	47
四、撤离阶段	60



第三章 地震救援虚拟仿真系统总体设计	62
第一节 系统体系结构设计	62
一、整体结构设计	62
二、结构组成设计	63
第二节 系统硬件组成设计	72
第四章 地震救援虚拟仿真想定编辑系统	74
第一节 概述	74
一、虚拟仿真想定	74
二、虚拟仿真想定与传统想定的区别与联系	75
三、虚拟仿真想定的特点	76
第二节 虚拟仿真想定系统的结构	76
一、想定编辑器	77
二、想定编辑子系统	78
三、三维想定数据库	79
四、想定运行管理子系统	81
五、接口子系统	82
第三节 地震救援仿真想定系统生成	83
一、地震救援训练想定	83
二、地震救援训练想定系统结构	83
三、地震救援训练想定系统的使用	86
第五章 地震现场救援指挥决策训练系统	99
第一节 概述	99
一、系统体系结构	99
二、流程	106
第二节 训练脚本	106
一、脚本系统的概念与作用	106
二、脚本系统的实现	106
三、脚本关键词	107
四、关键词规则	107
五、规则详解	107
第三节 典型训练场景	112
一、场景一	112
二、场景二	113



三、场景三	115
四、场景四	117
五、场景五	119
六、场景六	123
七、场景七	125
八、场景八	128
第六章 指挥员训练虚拟仿真系统	132
第一节 概述	132
第二节 指挥员控制	133
一、研发思路与技术路线	133
二、系统原理	135
三、系统开发与实现	135
第三节 虚拟人控制	137
一、研发思路与技术路线	137
二、系统原理	138
三、系统开发与实现	140
第四节 想定加载与运行控制	140
一、研发思路与技术路线	141
二、系统原理	142
三、系统的开发与实现	144
第五节 三维场景渲染	145
一、总体说明	145
二、研发思路与技术路线	145
三、系统的开发与实现	146
四、主要技术	148
第六节 现场指挥员训练脚本案例	150
一、说明	150
二、现场指挥员训练流程图实例	151
三、训练脚本各环节场景详细描述	152
第七章 单兵训练虚拟仿真系统	172
第一节 系统设计	172
一、总体设计	172
第二节 想定控制系统	174
一、技术研究	174



二、想定控制系统技术实现	177
第三节 数据采集系统	177
一、技术研究	177
二、数据采集系统结构	185
三、数据采集系统技术实现	186
第四节 动力学计算系统	186
一、技术研究	186
二、动力学计算系统结构	189
三、动力学计算系统技术实现	190
第五节 可视化仿真系统	191
一、技术研究	191
二、可视化仿真系统结构	205
三、可视化仿真系统技术实现	206
参考文献	211



图表目录

图 1-1	VR 6 型 HMD	4
图 1-2	无需佩戴眼镜的 3D 显示器	4
图 1-3	传统数字仿真的一般过程	8
图 1-4	仿真可视化示意图	8
图 1-5	虚拟仿真系统驾驶训练场景	13
图 1-6	虚拟仿真系统用于训练人员疏散的场景	13
图 2-1	联合国现场协调行动中心的帐篷	17
图 2-2	联合国协调中心的工作人员正在帐篷中工作	17
图 2-3	国内地震现场救援现场组织图	25
图 2-4	国外地震现场救援现场组织图	25
图 2-5	救援队总队长用例图	26
图 2-6	救援队队长用例图	26
图 2-7	搜索小组成员用例图	27
图 2-8	营救小组成员用例图	28
图 2-9	医疗小组成员用例图	29
图 2-10	结构专家用例图	30
图 2-11	地震专家用例图	31
图 2-12	救援队状态转换图	31
图 2-13	准备阶段的业务环节图	33
图 2-14	准备阶段的业务流程	34
图 2-15	领受救援任务	34
图 2-16	收集群众信息	35
图 2-17	保护现场活动图	36
图 2-18	搜索行动的业务环节图	37
图 2-19	搜索阶段的业务流程	38
图 2-20	“搜索行动”泳道活动图	39
图 2-21	搜索队员活动图	40
图 2-22	搜索序列图	41
图 2-23	呼叫搜索方法	43
图 2-24	多个房间搜索路线	43
图 2-25	开阔区线形搜索路线	44



图 2-26	“周边搜索”方法	44
图 2-27	营救行动的业务环节图	48
图 2-28	营救行动总流程图	50
图 2-29	评估营救场地	52
图 2-30	制定营救计划	53
图 2-31	划分营救工作区	54
图 2-32	创建安全通道	55
图 2-33	原地救治受难者	57
图 2-34	移出受难者	58
图 2-35	全程安慰受难者	59
图 2-36	撤离行动的业务流程	60
图 2-37	写工作日志活动图	61
图 3-1	系统整体结构设计	63
图 3-2	虚拟仿真系统结构组成	63
图 3-3	训练想定生成模块框架图	66
图 3-4	两个子系统之间的信息流	68
图 3-5	多点音频合成的集中计算模型	70
图 3-6	基于空间交互的合成计算模型	72
图 3-7	地震救援虚拟仿真系统的硬件组成	72
图 4-1	想定系统的结构	77
图 4-2	三维模型库组成结构图	80
图 4-3	重机模型结构示意图	81
图 4-4	地震救援训练想定系统结构示意图	84
图 4-5	三维场景编辑	85
图 4-6	伤员属性输入对话框	85
图 4-7	创建新场景	86
图 4-8	编辑器框架	86
图 4-9	创建方式一	87
图 4-10	右侧快捷创建框	87
图 4-11	创建方式二	88
图 4-12	操作示意图	88
图 4-13	左侧树形控件	89
图 4-14	模型动态操纵	90
图 4-15	地形图	90
图 4-16	正在操作的模型	90
图 4-17	显示操作历史	91
图 4-18	场景的保存	91
图 4-19	雾效果设置	92



图 4-20	雨效果设置	92
图 4-21	雪效果设置界面	92
图 4-22	下雪效果演示	93
图 4-23	火焰、烟雾、爆炸效果设置	93
图 4-24	火焰效果	94
图 4-25	烟雾效果	94
图 4-26	爆炸效果	94
图 4-27	运动路径的录制和回放	94
图 4-28	模型文件导入界面	95
图 4-29	动态时序编辑界面	95
图 4-30	摄像机控制方式	97
图 4-31	三维文字显示	97
图 4-32	3D 控制界面	98
图 5-1	系统中的各模块以及相互间的依赖关系	100
图 5-2	设计类图	100
图 5-3	创建地形的顺序图	102
图 5-4	向地形管理器通知摄像机位置改变的顺序图	103
图 5-5	更新地形分块的顺序图	103
图 5-6	系统运行流程	106
图 5-7	进入第一场景	112
图 5-8	震后宏观场景	113
图 5-9	进入第二场景	113
图 5-10	进入第三场景	114
图 5-11	回答救灾问题	115
图 5-12	进入第三场景	115
图 5-13	灾民拦截救援车辆	116
图 5-14	救援队长回答问题	117
图 5-15	进入第四场景	117
图 5-16	第四场景画面	118
图 5-17	回答第四场景问题	119
图 5-18	进入第五场景	119
图 5-19	第五场景画面 1	120
图 5-20	第五场景画面 2	120
图 5-21	第五场景画面 3	121
图 5-22	第五场景画面 4	122
图 5-23	回答第五场景问题	123
图 5-24	第六场景画面 1	123
图 5-25	第六场景画面 2	124



图 5-26	第六场景画面 3	125
图 5-27	第七场景画面 1	125
图 5-28	第七场景画面 2	126
图 5-29	第七场景画面 3	126
图 5-30	第七场景画面 4	127
图 5-31	第七场景画面 5	127
图 5-32	第八场景画面 1	128
图 5-33	第八场景画面 2	128
图 5-34	第八场景画面 3	129
图 5-35	第八场景画面 4	130
图 5-36	第八场景画面 5	130
图 5-37	第八场景画面 6	131
图 5-38	第八场景画面 7	131
图 6-1	指挥训练与演示系统构成	133
图 6-2	语音识别原理	134
图 6-3	系统运行流程图	137
图 6-4	虚拟人控制与表现	140
图 6-5	想定加载与运行控制加入联邦前用例图	143
图 6-6	加入联邦前用例图	143
图 6-7	想定加载与运行控制程序流程图	144
图 6-8	三维场景渲染模块系统用例图	147
图 6-9	指挥训练与演示系统构成	150
图 6-10	现场指挥员训练流程图	152
图 7-1	个体训练系统部署图	173
图 7-2	系统层次结构	174
图 7-3	RTI 系统服务结构	175
图 7-5	HLA 标准开发过程	176
图 7-6	动作捕捉系统组成	178
图 7-7	头盔数据处理流程	179
图 7-8	数据头盔	179
图 7-9	数据手套连接	180
图 7-10	数据手套传感器分布示意图	180
图 7-11	MotionStar 运动跟踪系统	181
图 7-12	MotionStar 应用实例	181
图 7-13	传感器在受训者身体上的分布图(五角星所在为传感器位置)	182
图 7-14	数据采集盟员处理流程	185
图 7-15	数据收集盟员用例图	186
图 7-16	碰撞检测算法	187

图 7-17	动力学计算盟员系统结构	190
图 7-18	动力学计算盟员用例图	190
图 7-19	动力学计算盟员数据处理流程	191
图 7-20	虚拟人的骨骼结构树	192
图 7-21	虚拟人骨架 FK 运动示意图	194
图 7-22	骨架运动	194
图 7-23	SSRE 平台总体结构	197
图 7-24	SSRE 平台核心结构	198
图 7-25	对象管理模块	199
图 7-26	对象操作	199
图 7-27	文件解析	201
图 7-28	渲染引擎结构图	201
图 7-29	系统场景图结构	202
图 7-30	多通道渲染管线	203
图 7-31	图形用户接口	204
图 7-32	数据读写流程	205
图 7-33	可视化仿真系统部署图	206
图 7-34	第一人称场景技术流程	207
图 7-35	第一人称视角场景显示	207
图 7-36	第三人称场景计算盟员序列图	208
图 7-37	第三人称场景计算盟员场景显示	209
图 7-38	可视化仿真盟员用例图	210
图 7-39	可视化仿真盟员系统结构	210