

基于 VSSHC 算法的灾害应急多粒度三维态势重构^①

于海心^② 陈 杰 张 娟

(北京理工大学自动化学院 北京 100081)

(复杂系统智能控制与决策教育部重点实验室 北京 100081)

摘 要 针对现有灾害应急态势系统的三维地貌实时更新和态势多粒度显示的技术瓶颈,研究并设计了应急三维态势重构系统(3D-ESRS),该系统可进行实时三维地貌更新和多粒度显示态势内容。分析了 3D-ESRS 的需求和功能,设计了 3D-ESRS 的基于多智能体(MAS)的系统框架结构,研究了 3D-ESRS 系统更新地貌和多粒度显示原理与工作流程,构建了基于视觉尺度空间分层聚类(VSSHC)算法的多尺度分类模型。以堰塞湖为例,多粒度显示了水面升高过程,该实验结果表明 3D-ESRS 与传统基于 GIS 平台的态势系统相比,可以实时进行三维地貌场景更新,并对场景进行多粒度显示。

关键词 应急态势重构,虚拟现实技术,视觉尺度,分层聚类

0 引 言

为应对自然灾害,需要建立面向灾害的应急决策支持系统(emergency-decision supporting system, EDSS)。灾害应急决策与支持系统需要大量的信息源和经验知识。面对海量的种类繁多的复杂信息,如何采用一种简单明了的方式提供灾害态势信息,是这一系统的核心。一直以来,灾害应急态势显示技术处于不断发展的状态:早期的数据、图标显示方法逐步被基于 GIS 平台的二维地图方法所替代,随着虚拟现实技术逐步完善,三维虚拟场景也正在逐步地取代二维地图。目前,灾害应急系统的态势显示的主要方法^[1-5]是采用虚拟现实渲染引擎为底层,在此基础上进行二次开发实现各种显示功能。该方法能融合大量的数据、提取有关信息,可以从宏观上对灾情进行态势显示,且根据项目背景可丰富态势的内容。但随着实时信息获取能力以及虚拟现实技术的提高,这种方法出现了技术瓶颈,即实时灾害信息迅速重构的能力有所欠缺,更缺乏多粒度地、动态地展示灾害态势的能力。而这恰恰是应急决策支持系统所需要的,也是决策人员制定决策所必需的信息基础。因此,我们迫切需要一个能够进行动态更

新与多粒度态势显示的系统,以便为应急决策的制定提供态势服务支撑。基于此,本文提出了一种符合这种要求的基于视觉尺度空间分层聚类(visual scale space hierarchical clustering, VSSHC)的三维应急态势重构系统(3D emergency situation reconstruction system, 3D-ESRS),并研究、探索了如何动态更新和多粒度展示态势信息的方法。

1 相关研究

近年来,随着空间技术、信息技术和虚拟现实技术的不断完善,灾害应急决策支持系统也从两个方面得到了完善:一是广泛使用了各种监测卫星、无人机等高分航拍设备,可以为系统提供连续、实时、稳定的观测图像,这意味着态势信息具有了时间属性,态势内容不再是静态的,而是连续、实时变化的;二是虚拟现实技术的进步,为实现灾害景观和灾害态势的多粒度显示提供了技术基础。正是由于这个原因,使本文提出的实时更新、多粒度动态显示灾害态势的三维应急态势重构系统(3D-ESRS)得以实现。

与传统的基于地理信息系统(GIS)的态势系统相比,3D-ESRS 强调三维地貌更新与多粒度态势展现。这两个问题在目前“数据库+数据显示”系统

① 973 计划(97361361)资助项目。

② 女,1984 年生,博士生;研究方向:虚拟现实技术与复杂系统仿真;联系人,E-mail: yuhaixin1213@126.com
(收稿日期:2012-03-14)

框架下成为一个技术瓶颈。原因有两点:一是在该框架缺乏实时信息的获取的接口,更无法实现实时信息与原有数据库信息的融合;二是态势内容种类繁多,信息粒度不尽相同,缺乏粒度连续的态势显示能力。文献[1]提出了一种在 GIS 平台下内嵌视频流的方法解决实时信息获取问题,但是没有考虑将实时信息与 GIS 平台相融合,造成了态势显示内容粒度的跳跃性。文献[2,3]通过设计独立的 3D-GIS 平台实现对应急态势的展示,这虽然保证了态势信息粒度的连贯性,但是没有考虑实时信息获取与融合问题,不具备对地貌场景实时更新的能力,尤其是地质灾害造成的地形、地貌的变化等。

针对上述问题,本文对系统框架进行改变:在数据库和数据显示模块之间加入基于多智能体(multi-agent system, MAS)的智能数据处理子系统。3D-ESRS 框架可描述为“数据库+智能数据处理+虚拟现实多粒度显示”。其中,智能数据处理模块负责从海量数据信息中智能、快速地提取相关数据,并与实时信息相融合,转化成为可被虚拟现实平台直接显示的信息。

本研究的主要工作有两个方面:一是根据 3D-ESRS 需求与功能,设计可融合实时数据的基于 MAS 结构的系统框架,实现实时信息的接收以及令其与原始数据相融合;二是构建基于 VSSHC 算法的多尺度信息分类模型,实现多粒度态势内容显示。此外,设计接口、采集、组织与转化等四类 Agent,通过它们之间的合作实现接收、融合实时数据,依据 VSSHC 模型组织信息,多粒度展示灾害态势。

2 应急三维态势重构系统功能分析

针对如何获取和融合实时信息并进行多粒度动态展示的问题,本文从信息处理流程上对应急三维态势重构系统(3D-ESRS)进行功能分析。可将整个信息处理过程概括为 5 个步骤,即信息获取、分析整合、智能甄选、动态显示和数据更新,如图 1 所示。每个步骤的功能分析如下:

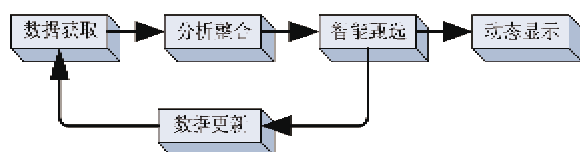


图 1 3D-ESRS 系统功能分析

(1)数据获取:接收实时数据和读取存储在数据库中的地理环境和各类资源的原始数据,包括各类传感器检测数据以及对其处理过分析后获得的数据等。

(2)分析整合:通过预处理、属性约减、融合等处理令获取来的数据遵照视觉尺度空间分层聚类(VSSHC)模型实现多粒度组织与分类。

(3)智能甄选:分析数据与任务要求之间的关联进行智能甄选,找出与任务有关的信息。

(4)动态显示:根据任务要求动态显示相应的灾情实况信息。

(5)数据更新:对与任务相关的重要信息进行监测,实时地获取数据,若是数据发生变化要及时更新态势信息。

3 应急三维态势重构体系结构

3.1 3D-ESRS 的组成

3D-ESRS 主要由数据源、智能数据处理子系统、虚拟现实渲染引擎三个部分组成,其组成如图 2 所示。数据包括内部数据库、实时观测数据和用户数据三类。内部数据库负责记录空间环境信息和应急资源配置等初始信息;实时观测数据指各类实时变化的信息,包括卫星遥感图像和经过图像处理得出的各类信息;用户数据指决策人员的命令。智能数据处理子系统是整个 3D-ESRS 的核心部分,具有多粒度整合信息、智能甄选数据和态势更新等功能。

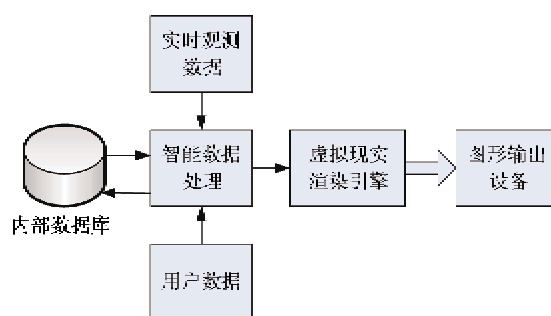


图 2 应急灾情态势显示系统组成

3.2 智能数据处理子系统

依据子系统的功能将其划分为接口、整合、解析、组织与转化等 5 类功能模块,如图 3 所示。接口功能模块共分为 3 类:数据库接口、实时数据接口和用户命令接口,它们分别负责从各类数据源处获得数据。信息整合功能模块的作用是按照 VSSHC 分类模型统一对数据库数据与实时数据进行分类。命

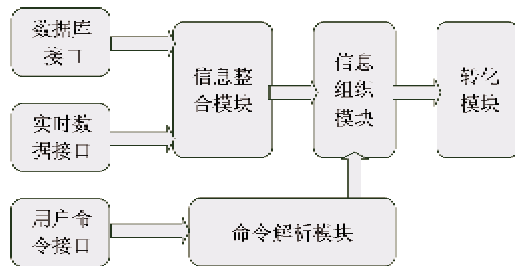


图3 智能数据处理子系统的功能模块

令解析功能模块的功能是将用户命令进行转化成为完成用户任务所需要收集的信息对应 VSSHC 模型的种类。信息组织功能模块按照用户所需信息的种类对数据库与实时数据的整合结果进行数据采集并按照 VSSHC 模型进行分层组织。转化功能将组织好的信息转化为相应的三维渲染引擎的调用命令。

从表1中可以看出:VSSHC模型为整合、组织

表1 功能模块的输入与输出

功能模块	输入	输出
数据库接口模块	异构数据库数据	同构数据库数据
实时数据接口模块	异构实时数据	同构实时数据
用户命令接口	用户命令	用户命令描述
信息整合模块	同构数据库数据与同构实时观测数据	根据 VSSHC 模型分类结果
信息组织模块	数据整合结果与用户所需信息种类	依据用户所需信息对整合结果进行采集并组织后的数据集
命令解析模块	用户命令	所需采集数据的 VSSHC 类别
转换模块	根据 VSSHC 模型分类组织后的数据	三维渲染引擎命令

和解析模块提供了信息分类的概念集。该模型是一个多尺度分类模型,是态势信息多粒度展示的基础,构建原理与方法详见 4.1 节。

3.3 基于 MAS 的 3D-ESRS 系统结构

Agent 具有智能性、自治性,可以根据设定的意图与自身的知识库通过相应的合作机制实现共同的目标。因此,本文利用 MAS 结构设计 3D-ESRS。设计接口、解析、采集、组织与转化五类基本 Agent,由一类或几类 Agent 共同完成一个模块的功能。根据数据源的种类的不同设立 3 个不同的接口 Agent 来获取数据,并将获取的数据存储到临时数据存储区,其中用户界面 Agent 完成用户接口与命令解析模块的功能。由数据采集 Agent 群和数据组织 Agent 群共同完成信息整合模块与信息组织模块的功能。最终由转化 Agent 实现信息向虚拟现实引擎调度命令的转化。

图 4 是 3D-ESRS 结构图。接口模块由三个 Agent 共同完成数据采集的工作:界面 Agent 负责与用户进行交互,将用户的命令转化为基于 VSSHC 模型的分类型别。由数据库接口 Agent 和实时数据接口 Agent 从数据库和实时数据源中采集相应的数据,并将数据用统一的结构存储在数据池中。每一个采集 Agent 将负责采集一种类型数据。组织 Agent 根据 VSSHC 模型将某几类的数据结合成一类新的信息。转化 Agent 是一个简单的反应式 Agent,在其内部知识库记录各类信息被转化成三维信息显示时的调度指令。

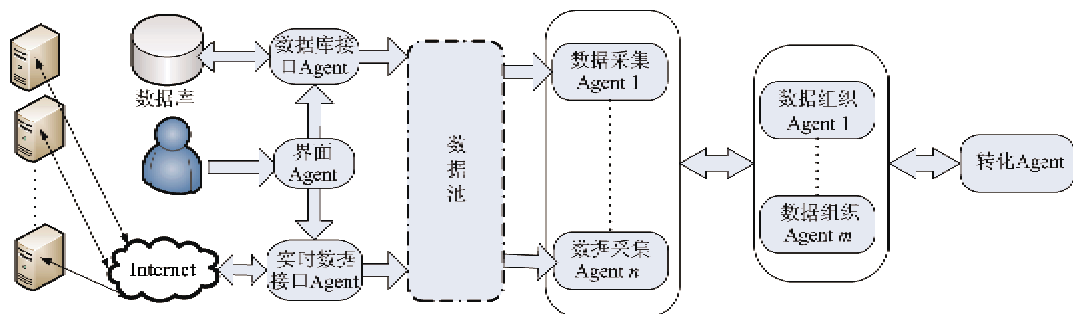


图4 基于 MAS 的 3D-ESRS 结构

3.4 3D-ESRS 地貌更新原理与工作流程

在图 4 的框架下,实时观测数据与数据库数据依照 VSSHC 模型相融合,通过转化 Agent 形成三维渲染引擎的调用命令,从而实现三维地貌场景的更新。3D-ESRS 的工作流程如图 5 所示,其中数据组织与采集的过程如下:系统内部创建数据采集 Agent

A1,以 A1 所采集的第一个数据种类为准,只采集该种类的数据;此时,再创建 A2,进行数据采集,并对 A1 进行询问,是否其两者采集同一类数据,是则换一类数据,否,则继续采集该类信息;直至所创建的 Agent 无法采集到新的种类的数据为止,停止创建 Agent,并将无任务的 Agent 撤销。这样,将数据池

中的数据按类别分开,分别归属于不同的数据采集 Agent 负责。完成数据采集是进行数据组织的基础,该项工作主要由数据组织 Agent 群完成。同样先由系统创建数据组织 Agent B1,它对所有的数据采集 Agent 发出询问,询问其数据种类,并生成记录数据种类与采集该种类信息 Agent 的 ID 号的数据种类统计表。根据该表格及 VSHHC 模型,选取信息粒度最精细的一类信息种类进行数据收集,并组织成信息,并将其所收集的数据种类从统计表中删除。之后系统再创建 B2,处理过程与 B1 相同,直至统计表中无数据种类为止。

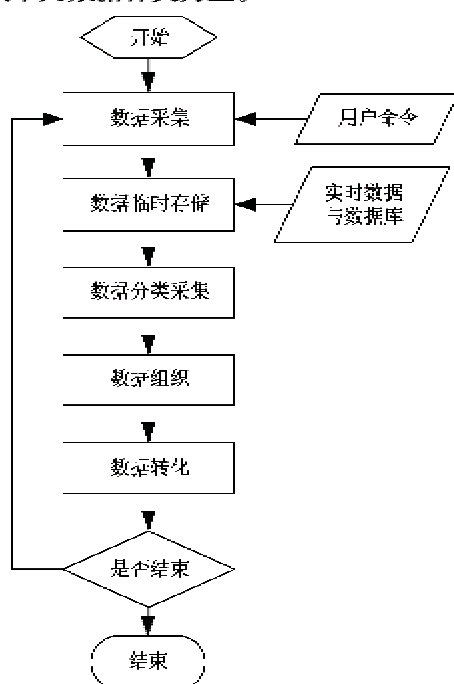


图5 3D-ESRS 工作流程图

4 VSSHC 模型与多粒度显示原理

4.1 VSSHC 多尺度分类模型

人们在处理复杂问题时,通常不是一次性地考虑问题的全部细节信息,而是把复杂问题分解或简化,忽略其中的细节信息,然后从较抽象的层次开始处理,逐渐深入到具体的细节问题。这种从简单到复杂、由粗到细、由全体到局部的解决问题的思想方法称为分层递阶法^[6,7]。

从分层递阶思想出发,本文提出用 VSSHC 算法建立随视觉尺度变化的信息分类模型。VSSHC 是一种凝聚型层次聚类法,该方法是用热力学非线性动力原理模拟人眼视觉的松弛化过程。在初始尺度状态下,样本空间中每个样本属于一个类别,随着尺

度参数变化,样本互相聚类融合,直到最后收敛为一个聚类点,这样就形成随尺度参数收敛的层次聚类树。该方法在文献[8]中首次被应用于遥感图像地物识别领域中,实现了多尺度地物特征识别。本文的研究意义在于,将基于 VSSHC 算法建立的分层聚类树用于 3D-ESRS 信息处理过程中,实现对信息多尺度分类和态势场景多粒度展示。

3D-ESRS 所能展示的所有态势信息的种类为信息域 U , 设 x_i 为某一类态势信息,则 $\forall x_i \in U$; 假设 x_i 在尺度 γ 变化后趋向的平衡点为 y , 则 x_i 在尺度 γ 下对 y 的贡献值满足玻尔兹曼分布。

根据热力学原理:当系统达到平衡态时(尺度变化后的分类结果)熵最大,而自由能最小,如式

$$\frac{\partial F}{\partial y} = 0 \rightarrow y = \frac{\sum_i x e^{-\gamma e(x)}}{\sum_i e^{-\gamma e(x)}} \quad (1)$$

所示。其中, F 为系统自由能, $e(x)$ 为能量函数。

对式(1)进行推导,有

$$y \rightarrow y + \frac{\sum_i (x - y) e^{-\gamma e(x)}}{\sum_i e^{-\gamma e(x)}} \quad (2)$$

式(2)说明在尺度 γ 一定的情况下, x 通过一定次数的迭代会收敛到一个固定值 y 。 y 是在尺度 γ 下 x 值新的聚类中心,即 x, y 具有因果性且 y 由若干 x 组成。

在 VSSHC 模型中,3D-ESRS 中所有可以显示的元素 α 满足以下几点:

- (1) 在初始尺度下, $\forall \alpha \in x_i$;
- (2) 当尺度发生改变时, $\forall \alpha \in y_i$;
- (3) 当尺度最大时, $\forall \alpha \in Y$, 其中 Y 为最终收敛结果。

这样同一元素 α 具有了多尺度分类结果,可以根据尺度 γ 对元素 α 进行不同粒度的展示。

4.2 3D-ESRS 多粒度显示原理

根据 VSSHC 模型, U 中的元素 α 在不同的 γ 下归属为不同的类别, γ 是尺度参数用以标明态势场景与观察点间的距离。当 3D-ESRS 获取到某一可被 VSSHC 模型分类的信息时,根据该信息类别可选择相应合适的尺度参数。同时,随着不断获取实时信息,会出现新的信息类别需要改变尺度参数进行显示,而元素 α 也根据新的尺度参数显示为相应的信息类别,这样就实现了对同一元素 α 的不同粒度的显示。

例如,3D-ESRS 接到用户命令后进行解析,得到显示 33N-34N 和 103E-104E 范围的命令,显示结果如图 6(a)所示。从实时信息中获取到 H 河流域的

信息,则推进观察距离,显示内容由最开始的山地变化为山地与河流,如图 6(b) 所示。当再获取到 H

河流域 C 城的信息时,显示内容根据新的尺度参数继续更新为河流、山地和城区如图 6(c) 所示。

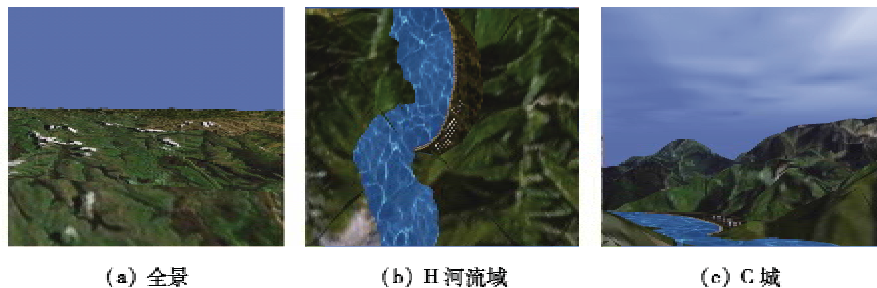


图 6 多粒度显示原理说明图

5 实验数据与分析

本文通过构建基于高层体系结构的系统从信息流的层次上进行仿真实验,仿真系统组成如图 7 所示。

利用高层体系结构的运行支撑软件完成系统各部分的底层通信,Oracle9.2 数据库记录系统内部数

据,以 VC++6.0 为编程开发工具,并通过调用基于 OpenGL 的三维图形渲染开发软件包 Multigen Vega 3.7.1 实现系统的虚拟现实显示功能。图 7 为系统的运行图。显示系统进入循环并进行数据更新核查,因此系统对于数据更新的显示是十分迅速的,可以满足应急性的需求。

采用 Creator 建模软件提供的 Terrain 工具箱制作地面模型,效果如图 8 所示。

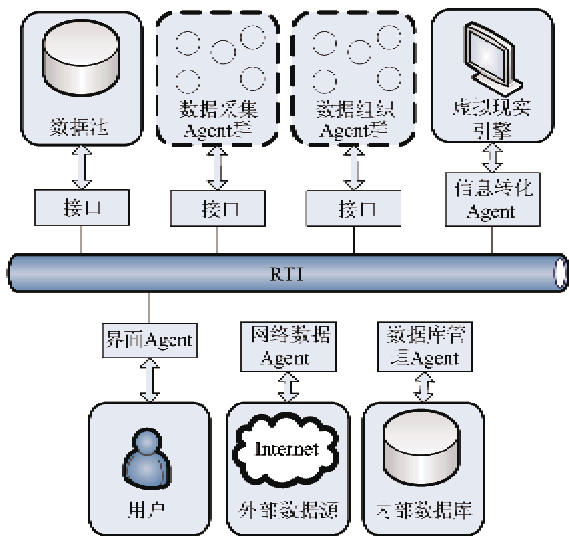


图 7 系统组成图

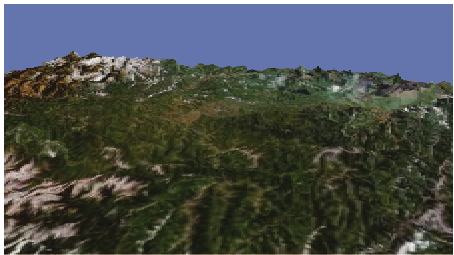


图 8 大场景地形模型

该仿真系统不断从数据源中采集堰塞湖湖面高度数值,通过简单数据处理,在场景中不断更新水面高度,其效果如图 9 所示。



图 9 堰塞湖水面上升的过程

6 结论

本文针对现有应急态势系统存在的场景更新与

多粒度显示的瓶颈问题,提出采用 MAS 技术构建 3D-ESRS 系统。从分层递阶的思想出发,建立 VSSHC 多尺度信息分类模型,实现对场景中的各目

标多粒度表示,同时利用 MAS 框架结构在数据池中令实时数据与数据库根据 VSSHC 模型融合,再通过转换 Agent 实现由信息到态势场景的快速转换。从全新角度对态势地貌更新和多粒度显示的实现进行尝试,利用 VSSHC 模型实现多尺度分类和多粒度显示并最终将实时更新的数据与场景模型通过 MAS 体系框架融合一体进行场景更新。

参考文献

- [1] 钟海东,吴健平等. 基于三维 GIS 与视频监控的绿化和市容应急指挥系统. 测绘科学,2011,6:47-52
- [2] 向泽君,薛梅. 基于 DirectX 的三维地理信息引擎设计与实现. 城市勘测,2011,4(2):8-9
- [3] 蒲秋,武建军. 基于 3D GIS 的城市灾害应急系统初步研究. 自然灾害学报,2008,17(1):33-38
- [4] Chen D, Chen J C. Research on spatial data emergency coordinating and sharing system construction. In: Proceedings of the Conference on WASE International Conference on Information Engineering, Taiyuan, China, 2009. 346-349
- [5] Ye Z W, Hu Z B, Chen H W, et al. Research on emergency system based on geographic information system and service-oriented architecture. In: Proceedings of the Conference on Information Engineering and Computer Science, Wuhan, China, 2010. 1-6
- [6] 张铃,张钺. 问题求解理论及应用——商空间粒度计算理论及其应用. 第二版. 北京:清华大学出版社,2007. 38-40
- [7] 苗夺谦,王国胤,刘清等. 粒计算:过去、现在与展望. 北京:科学出版社,2007. 6-9
- [8] 骆剑承,梁怡,周成虎. 基于尺度空间的分层聚类方法及其在遥感影像当中的应用. 测绘学报,1999,28(4):319-324

Multi-granularity reconstruction of 3D calamity emergency situations based on visual scale space hierarchical clustering

Yu Haixin, Chen Jie, Zhang Juan

(School of Automation, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

(Key Laboratory of Complex System Intelligent Control and Decision, Ministry of Education, Beijing 100081)

Abstract

A calamity-oriented 3D emergency situation reconstruction system (3D-ESRS) was studied, and its architecture was designed using the multi-agent technique. Moreover, an approach to multi-granularity reconstruction of 3D calamity emergency situations based on the visual scale space hierarchical clustering (VSSHC) algorithm was proposed for calamity emergency-decision supporting systems to make them realize the real-time presentation of dynamic 3D calamity situations. A simulation platform based on high level architecture (HLA) was established to verify this approach. The simulation results illustrate that this approach is applicable to emergency-decision supporting systems, and compared to the traditional situation display system this 3D-ESRS has the superiority in reconstructing real-time 3D scenario models.

Key words: emergency situation reconstruction, virtual reality, visual scale space, hierarchical clustering