

一种用于在线搭建的虚拟展览馆拆分及检索方法^{*}

杜宝江¹, 王立平², 刘佳¹, 李正², 王海鹏¹

(1. 上海理工大学虚拟制造技术研究院, 上海 200093; 2. 上海世博事务协调局, 上海 200125)

摘要: 以“2010 年中国上海网上世博会”为研究背景, 针对网页中用户在线拖动搭建虚拟展览馆的动态生成和个性化定制要求, 从虚拟展览馆的组件特征、数据构成和应用网络方面进行了分析, 提出了以具像特征体描述为原则的组件化拆分方法, 建立了基于基因特征的展览馆组件编码规则和 B/S 架构下的二次检索机制, 由实验导出了组件传输时间和场景构建响应速度的关系及优化方法。通过应用于网上博览会在线拖动搭建系统, 证明了该方法有效解决了网页中动态构建虚拟展览馆的元素组合和重构问题。

关键词: 网上博览会; Web3D; 场景管理; 基因编码

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)09-3381-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.09.048

Splitting and searching method for construction of virtual pavilion online

DU Bao-jiang¹, WANG Li-ping², LIU Jia¹, LI Zheng², WANG Hai-peng¹

(1. Virtual Manufacturing Institute, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China; 2. Shanghai World Expo Coordination, Shanghai 200125, China)

Abstract: Under the background of “Expo Shanghai Online 2010”, this paper analyzed components features, general building interfaces and the application network of virtual pavilion for the demands of dynamic generation and customization of virtual pavilions which were built by user online in drag-and-drop way. Presented a splitting method on the principle of figurative-characteristic description of 3D object and established gene characteristic code rules of components as well as the secondary searching method based on B/S architecture. Exported the relationship and optimization of components transmitting time and responsiveness by experimentation. Using the method in drag-and-drop building system on virtual exhibition online, the validity of solving the problems that elements combined and reassembled is proved.

Key words: virtual exhibition; Web3D; management of virtual scene; gene code

网上博览会, 是网络化虚拟博物馆^[1]的集中表现, 采用 Web3D 技术构造的网上虚拟展览馆不仅将普通的平面载体进行了有机的融合, 还通过虚拟现实技术将实体展品三维虚拟化, 并在互联网上真实地还原, 通过强大的交互机制^[2], 使参观者通过虚拟替身畅游于虚拟展览馆, 与展品进行互动, 甚至可以自己亲手搭建自己的个性展览馆, 让其他参观者分享。2010 年世博会将是世博历史上第一次同时拥有实体世博会和网上世博会。其中网上世博会将大量应用互联网多媒体技术, 充分发挥数字博物馆在时间、空间上的优越性, 向全世界的参观者展现一届“永不落幕”的世博会^[3]。

应用 Web3D 强大的交互技术可以实现 Web 页面上由用户拖动虚拟元素个性化搭建虚拟展览馆。然而受到网络带宽、展览素材的多样性、参观者设备性能等因素的制约, 需要考虑的不仅是如何展现三维的虚拟展览馆, 构建与参观者的互动机制, 更需要结合互联网应用特点, 剖析可用于搭建虚拟展览馆的构成并将其组件化, 以小数据量的分布式^[4]虚拟场景组件的存储和索引方案, 结合层次化的场景管理机制实现虚拟展览馆高效的动态构建, 从而克服网络带宽制约下响应性和场景

元素的多样性等问题。

本文依据上述问题, 展开针对适用于在线搭建的虚拟展览馆进行分析, 针对构建过程中所具有的形式多样性特点, 提出基于具像特征体的拆分方法, 将虚拟展览馆组件化分割, 按功能类别存储于分布式服务器组, 建立基于基因特征的组件编码规则和索引机制, 在 B/S (browser/server) 的架构模式下, 通过二次检索模式, 解决在线搭建过程中的构件索引响应要求和有限带宽传输问题。

1 用于在线搭建的虚拟展览馆内特征分析

1.1 虚拟展览馆构成特征分析

用于在线搭建的虚拟展览馆, 区别于展示型虚拟展览馆, 其构成是动态定制的, 由用户决定展览馆的最终形态、交互形式、展览内容等, 其构成是基于多特征描述的组件式遗传树^[5], 如图 1 所示。其中虚拟展览馆采用了三级特征描述, 将虚拟展览馆按虚拟场景的构成特性描述进行了分类, 在第三级作为构建该虚拟展览馆的匹配组件区分, 即可通过搭建请求进行下载, 由用户在多个组件中定制并对指定特征进行匹配, 在

收稿日期: 2010-01-20; **修回日期:** 2010-03-22 **基金项目:** 国家科技支撑计划, 世博科技专项基金资助项目(2009BAK43B07); 上海市科委世博科技专项基金资助项目(08dz0580209)

作者简介: 杜宝江(1962-), 男, 山东沂水人, 副教授, 硕士, 主要研究方向为虚拟制造、计算机辅助设计(vmi@usst.edu.cn); 王立平(1959-), 男, 高级国际商务师, 上海世博会事务协调局新闻部副部长; 刘佳(1985-), 男, 硕士, 主要研究方向为虚拟制造、计算机辅助设计; 李正(1979-), 男, 高级工程师, 上海世博会事务协调局信息化部主管; 王海鹏(1986-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为虚拟制造、计算机辅助设计。

所有特征均完成相应匹配后,该虚拟展览馆即完成了动态生成的过程,而不同组件之间的搭配,实现展览馆不同的特征信息,是其个性化的表现。

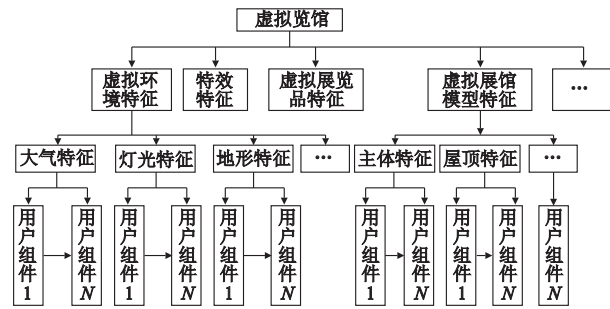


图1 虚拟展览馆的特征遗传树

受到网络传输响应的制约和动态匹配的要求,用户组件具有以下几项特性:

- a) 单个搭建组件需满足小数据量传输和小渲染性能要求,以符合在线传输的响应要求及动态生成、渲染的性能要求。
- b) 组件需具有共享特性和通用接口,在搭建过程中可适用于不同的展览馆的组合应用。
- c) 组件自身包含定制的属性和功能特性,其中属性包括几何信息、渲染效果等,功能特性则包含了自身的交互接口和事件驱动。
- d) 组件具有公开声明的事件驱动、交互接口,完成在线生成后,由主环境调用并管理,同时接受不同组件间的信息交换。

1.2 组件的数据特征分析

基于遗传树的特点,搭建虚拟展览馆的组件也可以进一步进化并展开,展开的方式可以按节点描述也可以按数据类型描述,这里着重研究数据的存储和编码,因此以最小单位素材构成的文件数据对虚拟展览馆组件展开树如图 2 所示。

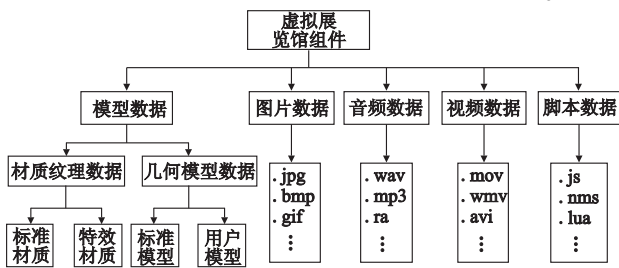


图2 基于数据结构的虚拟展览馆组件遗传树

1.3 网络架构分析

如图 3 所示,网上博览会的举办城市具有专属的数据中心,通常需提供 Web 服务器、数据库服务器和流媒体服务器,担任页面访问、数据检索和流媒体数据传输。网络上的其他城市通过多种形式如居民小区的网关、无线收发基站、政府学校交换机等连接到公共的 Internet 网络,并向指定域名服务器提交域名解析申请,获得数据中心 Web 服务器地址,访问虚拟展览馆的主页,并通过虚拟展览馆的锚点或页面链接进行不同展览馆之间的跳转。面对来自世界各地的网络访问者,其访问量是动态变化的,访问用户的终端设备和终端带宽具有性能多样性,访问用户与数据中心以 B/S 的方式进行数据交换。

应用于在线搭建虚拟展览馆,采用分布式服务器组存储各个特征的组件,与分布世界各地的访问用户的客户端形成一个分布式虚拟环境(DVE),每个服务器具有特征表示码,依据不同的组件请求,检索用户组件。

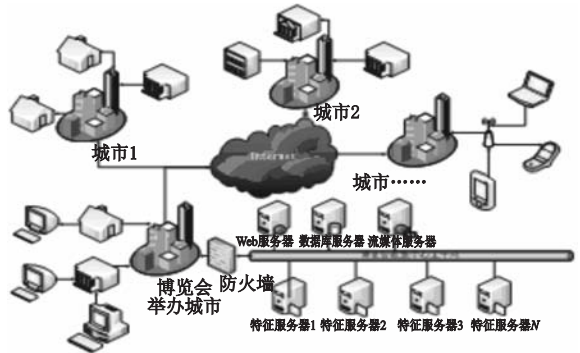


图3 网络架构

1.4 小结

基于 Web 的虚拟展览馆具有应用功能动态交互性、表现形式多样性、访问方式和性能不固定性、层次关系复杂性等特点。由此,对其构成按基因遗传思想和树型结构进行了分析,并形成了基于多特征描述的遗传树。对于组件化的构建方式,给出了单个组件的数据构成,同时考虑网上博览会参观用户分布广、访问性能不固定的特点,给出了采用分布式特征服务器模式的理想网络结构。

2 基于具像特征体的拆分方法

2.1 虚拟展览馆的具像特征体

对虚拟场景的管理和布局一直是国内外相关学者研究和探讨的热点问题,如罗自荣等人^[6]通过对虚拟场景构建二叉树并同虚拟替身运动空间结合对场景区域进行了分割,实现大规模场景的调度;Zhao Xue-wei 等人^[7]则采用了八叉树的管理方法优化了在线数字博物馆中基于纹理网格的三维对象传输、加载的过程。

定义 1 虚拟场景中的具像特征体是指能使用自然语义表达的,具有完整的几何特征信息、外观特征信息、媒体信息和交互事件信息等的完整三维虚拟对象。

比如一盏三维虚拟台灯,台灯可以是实际生活中的自然语义所表达,而其几何体信息包含灯罩、灯柱、底座、开关及电源线等;外观特征包含了几何体各子特征的材质、纹理、色彩、光属性(外观特征对周围环境光的响应及自发光特征);交互事件包含了事件检测对象(开关几何体对象的点击检测)、点亮和关闭事件及其对灯头自发光控制。将这些特征都作为子特征结合后,就可完整地描述一盏虚拟台灯的外形和功能。

将图 1 所示遗传树第三层即用户组件作为虚拟展览馆的具像特征体描述。相对的在其上一层是宽泛的类特征,不能进行具像化,不利于区分和表达;而其子层(以数据文件或节点对象)则是细节、是数据存储结构,应用其子层进行特征的描述,将导致一个具像特征体由多层数据信息描述,而这些数据信息作为个体而言是单独的、没有关联的,应用于在线搭建的过程中,还需要动态地建立单独的映射表将其关联,增加了系统构成的复杂度,同时也降低了索引和检索效率。

2.2 虚拟展览馆的拆分原则

拆分是通过对虚拟展览馆的具像特征体描述,按遗传树的第三层结构进行展开,转换为实际的组件化存储文件的过程。

拆分过程包含了几个子过程,流程如图 4 所示。其中自然语义判定是按具像化特征描述定义,可以在虚拟展览馆规划之

初定义判据也可以在后期手动输入;评价函数判定是对所拆分的对象按虚拟展览馆定义的目标运行环境、网络条件和流控制因素所定义的一个判据,用于判定所拆分的组件对象是否符合网络传输、目标条件下的实时生成和渲染等要求;基因编码是符合拆分原则组件的标志符和信息编码,用于索引和重构定义;组件打包是将该组件的子层进行包含的过程,从逻辑结构和物理存储结构上进行关联和映射,压缩是为了便于网络传输,提高传输效率。

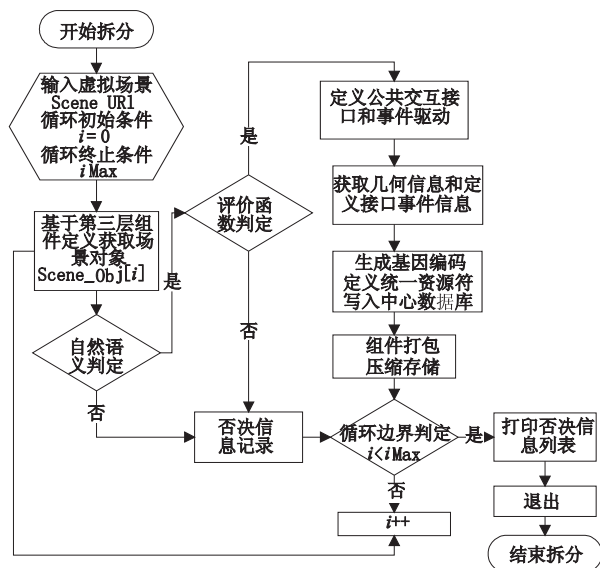


图4 拆分流程

2.3 评价函数

对拆分组件的评价函数是一个由多个评价指标及其权重所定义判据。

定义 2 评价指标域 J 是虚拟展览馆各类特征评价指标的集合。某个特征类的评价函数 D 是定义在 J 上的一个模糊子集,表示为

$$D = \{ [j_t, ud(j_t)], j_t \in J, t = 1, \dots, n \}$$

其中: $ud(j_t)$ 为 j_t 对于集合 D 的隶属度^[8]。

通过该定义,对于虚拟展览馆某一特征的评价函数即为定义在集合 D 上的判据,这里该判据的定义使用谓词公式表示为 $j_t(s_1, s_2, s_3, \dots, s_m)$ 。其中: m 为该项特征判据的 m 元谓词, $(s_1, s_2, s_3, \dots, s_m)$ 是 j_t 的评价因素集,由虚拟展览馆的规划者给定的运行条件确定。一般的这些评价条件可以是单位大小下的模型面数 (n/kb)、网络带宽 ($kbps$)、目标帧数 (fps)、目标用户终端综合评价指数 (D) 等,以及各指标的权重数 (隶属度)。

2.4 否决对象优化处理

经评价函数否决的对象,通过打印的否决信息列表查询否决的评价项,并因此评价项作相应的优化处理,之后再次放入拆分系统进行拆分处理,直至符合评价要求,生成相应的组件。

许多学者都对虚拟场景实时渲染的优化方法进行了研究,并建立了有效的方法集,如模型网格优化、GZIP 压缩等^[9],这里不作详细的论述。

3 基于基因特征的组件编码及索引

3.1 组件的描述和编码

对组件的描述,包含两个方面:a)对组件建立完善的命名

体系,便于系统索引和管理;b)组件特征信息的反应,便于在生成时利用该信息,完成重构的布局、事件消息流、交互接口应用等。王薇等人^[10]在网络三维虚拟调度系统的研究中提出了一种对虚拟场景中的对象和交互接口编码的方法,在远程控制中得到了应用,但这种描述针对性较强,通用性稍差。因此,基于基因特征的组件编码可以较为完整的描述对象的父子关系以及几何信息特征等,按功能分为〈基因编码〉、〈信息编码〉。〈基因编码〉描述了该组件在图 1 遗传树中的基因关系,通过该关系设计的数据库,以基因特征为索引,引用于分布式服务器组的映射表、各特征表的表名和组件 ID。〈信息编码〉还分为组件的〈几何信息〉、〈融合信息〉和〈交互接口信息〉。〈几何信息〉即描述组件在世界坐标系下的几何中心坐标和默认转角信息;〈融合信息〉描述了组件在同其他组件碰撞时的接触方式,如相交、面碰撞、体碰撞、包围盒碰撞等;〈交互接口信息〉描述了组件的交互方式,如生成后所广播的消息、事件驱动信息等,以便在重构完成后告之主场景交互的处理机制。

由此,基于基因特征的组件编码采用巴科斯诺尔范式 (BNF) 可将特征表示为

$$\langle \text{组件} \rangle ::= \langle \text{基因编码} \rangle \langle \text{几何信息} \rangle \langle \text{融合信息} \rangle \langle \text{交互接口信息} \rangle$$

3.2 B/S 架构下的二次检索

构建 B/S 架构下的二次检索,在 browser 端先对用户请求数据进行一次预检索,用于查找所请求组件的三层基因 ID,而后编码为相应的 gene code,通过 post 的方式提交至 server 端的查询页面。Server 端采用基于 ASP.NET 的三层架构设计查询页面来响应提交的 gene code,通过解码后直接由分离出的三层 ID 通过映射表查询分布式服务器地址、虚拟目录和组件文件名,完成第二次资源检索。

最后,将查询结果组合为统一资源定位符 (URL) 反馈给 browser 的数据下载模块,进而由此 URL 获取组件数据,解压后完成对象的创建,实现整个生成过程,如图 5 所示。

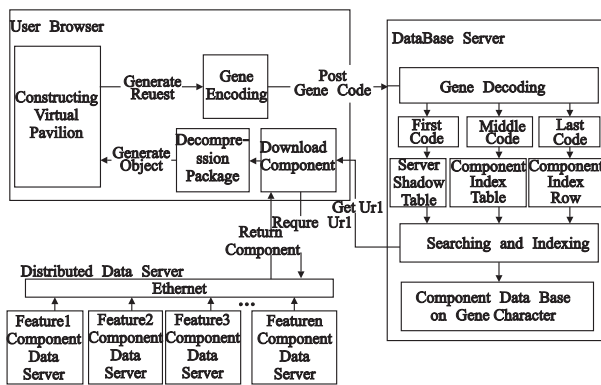


图5 索引及检索

4 应用与测试

4.1 示例系统

笔者应用上述拆分方法,构造了五个特征类别的用户组件库及数据库服务器、Web 服务器和五台用于存储各自特征类别的分布式服务器组。通过将组件进行基因编码,如表 1 所示,构建出测试系统的虚拟展览馆组件结构。

表 1 测试组件基因编码表

第一层特征基因编码(虚拟展览馆)					
特征类	模型	展品	特效	环境	其他
基因码	M	P	F	E	O
第二层特征基因编码(虚拟展览馆模型)					
特征类	房体	屋顶	门	窗	饰品
基因码	M_H	M_R	M_D	M_W	M_A
第三层组件基因编码(房体)					
组件	欧式	美式	韩式	中式	日式
基因码	M_H_1	M_H_2	M_H_3	M_H_4	M_H_5

虚拟展览馆在线搭建系统采用 Virtools 平台开发 Web3D 系统,浏览器端以 3DVIA Life Player 的 ActiveX 方式加载,检索和处理服务页面采用 ASP.NET 的 C#脚本开发。

实例效果如图 6 所示,用户于图 6(a)中所示的右侧拖拽区选择相应的组件,产生拖拽后由用户进行面板类别选择,确定第一、二层特征编码,由拖拽组件缩略图区位进而检索确定第三层组件基因编码,将该资源基因编码提交 server 检索,进一步获取资源 URL 和该组件的〈几何信息〉〈融合信息〉〈交互接口信息〉,形成完整的组件 BNF 表示信息。如图 6(b),由该组件的 URL 完成组件下载、加载。图 6(c)则显示了第二组件拖拽生成,并基于第一组件的 BNF 信息与其结合的过程。

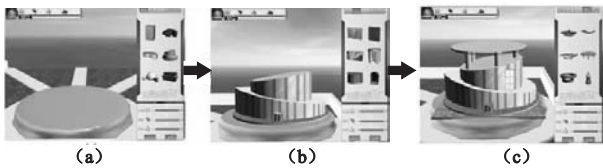


图 6 在线搭建组件索引

4.2 性能测试

主要为测试不同场景构件在目前国内公共网络的不同网络条件下,以影响拆分组件拖建性能的查询响应、下载响应及生成响应作为测试内容,以毫秒为单位,采用 Virtools 开发了性能测试模块,以此分析本文所述方法。其中:

- a) 查询响应。指自用户产生拖放消息起,至服务器反馈查询结果时,总共消耗的时间,主要测试编码性能和检索效率。
- b) 下载响应。指自接收服务器反馈的资源符起,至完成组件下载到本地的总消耗时间,主要测试组件分割是否适应网络环境。
- c) 生成响应。指自组件下载完成起,至加载入场景并可由用户拖动时的总消耗时间,主要测试不同组件适应场景运行的效率。

测试前首先与服务器进行计时同步,采用 Virtools 中的 timer 行为模块作为主要计时对象。

测试用例如表 2 所示。

表 2 测试用例

类别	格式	大小/KB	面数	纹理
构件 1	nmo	24	12	无
构件 2	nmo	40	12	有
构件 3	nmo	346	200	无
构件 4	nmo	1 078	200	有

表 3、4 为测试环境的详细列表。

表 3 测试软件环境

项目	配置信息
操作系统	客户端:Windows XP SP2 数据中心:Windows Server2003
数据库系统	Microsoft SQL Server 2005
浏览器版本	IE6.0
Web3D 插件	3DVIA Life Player 5.0

表 4 测试硬件环境

项目	配置信息
客户端	CPU:P4 2.4 GHz;RAM:1 GB;GPU:NV34
网络环境	ADSL A:1 Mbps B:512 kbps
网络运行商	电信 ADSL 独享式带宽
测试时间	周五、周六19:30 ~ 20:00(高峰时间)

4.3 测试结果

测试结果如表 5、6,图 7、8 所示。

表 5 带宽 1 Mbps 测试结果

项目	ms			
	构件 1	构件 2	构件 3	构件 4
查询响应	392	401	395	420
下载响应	462	520	1 537	4 231
生成响应	56	124	200	321
合计	910	1 045	2 132	4 972

表 6 带宽 512Kbps 测试结果

项目	ms			
	构件 1	构件 2	构件 3	构件 4
查询响应	410	390	406	417
下载响应	428	567	1 450	6 521
生成响应	50	136	205	318
合计	888	1 093	2 061	7 256

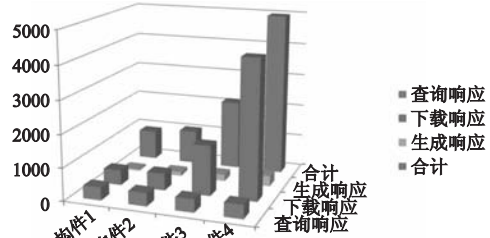


图 7 同一带宽不同构件

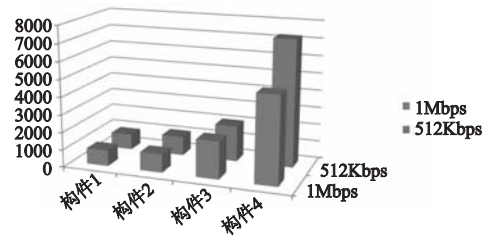


图 8 同一构件不同带宽

4.4 测试结论

测试结论如下:

- a) 构件文件大小小于理论带宽时,下载时间基本相同。
- b) 构件的面数、纹理直接影响生成响应。
- c) 查询响应一般与带宽无关。
- d) 拖建生成时间受构件文件尺寸、复杂性和网络带宽影响,其中网络带宽影响最大。

可以看到,采用了基因编码的组件在查询检索的过程中基本保持一个较为稳定的响应,能为拖建测试系统提供较好的支持。而受网络带宽的影响,当构件尺寸过大时,拖建将有明显的延迟,甚至较长的等待时间,影响整体效果。(下转第 3386 页)

推论 1 设 $f: X \rightarrow X$ 是一个连续映射, 则 f 是一致连续的充要条件是 f 是在 d_H -度量下一致连续的。

由此可知 $(k(X), f)$ 是集值离散动力系统。

2 主要结果

定义 2^[3] 如果存在常数 $\delta > 0$, 对任意的 $x, y \in X$ 且 $x \neq y$, 使得存在 $n \in N$, 满足 $d(f^n(x), f^n(y)) > \delta$, 则 f 叫做扩张的, δ 叫做 f 的扩张常数。

定理 3 设 (X, d) 是紧致度量空间, $f: X \rightarrow X$ 是连续映射。如果 f 是扩张的, 则 f 是扩张的。

证明 由 f 是扩张的, 即存在常数 $\delta > 0$, 对任意的 $A, B \in k(X)$ 且 $A \neq B$, 使得存在 $n \in N$, 满足 $d_H(f^n(A), f^n(B)) > \delta$ 。

令 $A = \{x\}, B = \{y\}$, 于是 $d(f^n(x), f^n(y)) = d_H(f^n(\{x\}), f^n(\{y\})) > \delta$ 。所以 f 也是扩张的。

定义 3^[3] 集合 X 的一个分拆是 X 的无交集的一个族, 其并为 X 。如果无交集集既是开集又是闭集, 则这样的分拆称为闭开分拆。

定义 4 设 X 是一个拓扑空间, $f: X \rightarrow X$ 是连续映射。如果存在 X 的一个闭开分拆, 对任意的 $x, y \in X$ 且 $x \neq y$, 使得存在 $n \in N$, 满足 $f^n(x), f^n(y)$ 属于 α 中不同元素, 则称 f 是全扩张的。

定义 5 设 X 是一个拓扑空间, $f: X \rightarrow X$ 是连续映射。如果对 X 的任意一个闭开分拆, 对任意的 $x, y \in X$ 且 $x \neq y$, 使得存在 $n \in N$, 满足 $f^n(x), f^n(y)$ 属于 α 中不同元素, 则称 f 是强全扩张的。

定理 4 设 (X, d) 是具有闭开分拆的紧致度量空间, $f: X \rightarrow X$ 是连续映射。如果 f 是强全扩张的, 则 f 是强全扩张的。

证明 据题设, 设 $\alpha = \{A_i | A_i \subset X, i = 1, 2, \dots, n\}$ 是 X 的一个闭开分拆, 则 $\alpha^* = \{v(A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_k}) | 1 \leq i_1, i_2, \dots, i_k \leq n\}$ 是 $k(X)$ 的一个闭开分拆。

又 f 是强全扩张的, 即对任意的 $B, C \in k(X)$ 且 $B \neq C$, 使得存在 $n \in N$, 满足 $f^n(B) \in v(A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_p})$ 和 $f^n(C) \in v(A_{j_1}, A_{j_2}, \dots, A_{j_q})$ 。其中 $\{i_1, i_2, \dots, i_p\} \neq \{j_1, j_2, \dots, j_q\}$ 。

(上接第 3384 页) 为此, 将上述结果和运行网络环境作为评价函数参考依据, 过滤所拆分的组件, 并通过对构件进一步细分, 减小构件本身的文件尺寸, 优化几何数据和纹理结构, 以适应搭建系统。

进一步考虑, 可对构件的索引、下载方式进行优化, 如在后台预先下载较大的构建存储于本地文件系统, 进行拖拽搭建时, 可从本地加载文件, 从而有效降低延迟的几率。

5 结束语

采用基于多特征的遗传树描述用于在线搭建的虚拟展览馆构成, 基于此树提出具像特征的拆分方法将虚拟展览馆按组件进行了分割存储, 并通过基因编码有效建立索引规范, 通过应用于在线搭建系统中, 证明该方法在搭建场景的重构过程中较好保证了组件的检索、下载和生成效率。

进一步地, 通过建立更多层的组件特征树以及相应大规模组件库, 并结合复杂的国内公共网络环境, 经测试来优化评价函数及其适用范围, 如分带宽、分场景规模建立不同的评价方法, 完善拆分组件的过滤条件, 使组件更适应运用环境, 以此来优化拖建过程中的效率和性能。

令 $B = \{x\}, C = \{y\}$, 所以

$$f^n(\{x\}) = f^n(\{x\}) \in v(A_{i_p}), f^n(\{y\}) = f^n(\{y\}) \in v(A_{j_q}),$$

于是 $f^n(x) \in A_{i_p}, f^n(y) \in A_{j_q}$ 。故 f 是强全扩张的。

推论 2 设 (X, d) 是具有闭开分拆的紧致度量空间, $f: X \rightarrow X$ 是连续映射。如果 f 是强全扩张的, 则 f 是全扩张的。

证明 由定理 4 可知, 结论成立。

3 结束语

本文初步研究了集值离散动力系统的扩张性问题, 指出了由 f 的扩张性推出 f 的扩张性的条件。最后给出关于集值离散动力系统扩张性需要进一步研究的问题, 即在什么条件下, 由 f 的扩张性能够推出 f 的扩张性。

参考文献:

- [1] HERIBERTO R F. A note on transitivity in set-valued discrete systems[J]. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2003, 17(1): 99-104.
- [2] HERIBERTO R F, CHALCO C Y. Robinson's chaos in set-valued discrete systems[J]. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2005, 25(1): 33-42.
- [3] 周作领. 符号动力系统[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 1997: 1-55.
- [4] PERIS A. Set-valued discrete chaos[J]. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2005, 26(1): 19-23.
- [5] FEDELI A. On chaotic set-valued discrete dynamical systems[J]. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2005, 23(4): 1381-1384.
- [6] GU Rong-bao, GUO Wen-jing. On mixing property in set-valued discrete dynamical systems[J]. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2006, 28(3): 747-754.
- [7] KWIETNIAK D, OPROCHA P. Topological entropy and chaos for maps induced on hyperspaces[J]. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2007, 33(1): 76-86.
- [8] BANKS J. Chaos for induced hyperspace maps[J]. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2005, 25(3): 681-685.
- [9] 李水银. 分形[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 83-86.

参考文献:

- [1] 朱晓冬, 周明全, 耿国华. 虚拟博物馆开发模式研究[J]. *计算机应用与软件*, 2005, 22(6): 34-35.
- [2] CHIN S. Highly interactive interface for virtual amusement land deriving active participation of users[J]. *ACII*, 2005, 3784: 842-849.
- [3] 上海世博会事务协调局. 网上中国 2010 年上海世博会参展者手册[K]. 2ed. 2009: 24-25.
- [4] 潘志庚, 姜晓红, 张明敏, 等. 分布式虚拟环境综述[J]. *软件学报*, 2000, 11(4): 461-467.
- [5] 汪焰恩, 魏生民, 杨晓强, 等. 基于零件特征基因编码的零件设计算法研究[J]. *机械科学与技术*, 2005(9): 1053-1057.
- [6] 罗自荣, 常明, 肖人彬. 面向虚拟环境的场景管理关键技术及其实现研究[J]. *系统仿真学报*, 2003, 15(6): 891-897.
- [7] ZHAO Xue-wei, SHEN Xu-kun, QI Yue. Texture-meshes in digital museum: octree-initialized progressive transmission with feature preservation[C]//Proc of the 2nd International Conference on Technologies for E-learning and Digital Entertainment. Berlin: Springer-Verlag, 2007, : 616-627.
- [8] 郝泳涛, 秦琴. 产品的特征功能表达模型及其基因编码[J]. *同济大学学报: 自然科学版*, 2009, 37(6): 819-824.
- [9] 李佳蓓, 杜宝江, 刘佳. 虚拟场景实时渲染软件优化方法[J]. *计算机应用*, 2009, 29(2): 299-301.
- [10] 王薇, 杜宝江. 基于网络的三维虚拟调度指挥系统的研究[J]. *精密制造与自动化*, 2007(4): 47-50.