

2-15-2019

Indoor Scene Generation Based on Case-based Reasoning and Collaborative Filtering

Peihua Song

School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

Jinyuan Jia

School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Original Article is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Indoor Scene Generation Based on Case-based Reasoning and Collaborative Filtering

Abstract

Abstract: To solve the problem of time-consuming and single scene generation in indoor scene generation, we propose an indoor scene generation algorithm based on case-based reasoning and collaborative filtering techniques. *The algorithm of functional area division is performed on the two-dimensional room floor plan. The case-based reasoning is used to generate 3D scenes; and the collaborative filtering is used to generate diverse indoor scenes. A scene evaluation method based on user feedback information is proposed.* Experiments were carried out on the living room and bedroom to generate scenes. The experimental results show that the proposed algorithm is effective. The running time of the proposed algorithm is within 1 second and is about 2% of the comparison algorithm. The algorithm can be applied to the indoor scene modeling platform.

Keywords

case-based reasoning, collaborative filtering, scene generation, interior design

Recommended Citation

Song Peihua, Jia Jinyuan. Indoor Scene Generation Based on Case-based Reasoning and Collaborative Filtering[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(2): 263-274.

基于案例推理和协同过滤的室内场景生成算法

宋佩华, 贾金原

(同济大学软件学院, 上海 201804)

摘要: 针对室内场景方法生成存在耗时长、生成场景单一的问题, 提出了基于案例推理和协同过滤技术的室内场景自动生成算法。根据室内流通路径, 对二维户型图进行功能区域分割。分别运用案例推理和协同过滤技术生成了三维场景和多样化的室内场景。提出了基于用户反馈信息的场景评价方法。对客厅、卧室进行了生成场景的实验测试, 结果表明算法是有效的, 并均在 1 秒内完成了场景生成, 用时为对比算法的 2% 左右, 算法可应用于室内场景的自动建模平台。

关键词: 案例推理; 协同过滤; 场景生成; 室内设计

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 02-0263-12

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.18-VR0699

Indoor Scene Generation Based on Case-based Reasoning and Collaborative Filtering

Song Peihua, Jia Jinyuan

(School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: To solve the problem of time-consuming and single scene generation in indoor scene generation, we propose an indoor scene generation algorithm based on case-based reasoning and collaborative filtering techniques. The algorithm of functional area division is performed on the two-dimensional room floor plan. The case-based reasoning is used to generate 3D scenes; and the collaborative filtering is used to generate diverse indoor scenes. A scene evaluation method based on user feedback information is proposed. Experiments were carried out on the living room and bedroom to generate scenes. The experimental results show that the proposed algorithm is effective. The running time of the proposed algorithm is within 1 second and is about 2% of the comparison algorithm. The algorithm can be applied to the indoor scene modeling platform.

Keywords: case-based reasoning; collaborative filtering; scene generation; interior design

引言

场景自动建模是计算机图形学的一个重要研究方向, 其广泛地存在于游戏设计、建筑设计、城市规划等领域^[1-3], 运用该技术可以减少设计者劳

动强度、提高效率。作为场景自动建模研究的分支领域, 室内场景自动生成近些年得到广泛的关注和应用^[4-10]。室内场景生成主要涉及了室内元素选择、位置摆放和风格搭配优化问题。手工构建室内场景需要用户具有专业的室内设计知识, 还需要用户熟练地运用设计软件。对于专业设计师, 通过手工设计场景, 也存在重复操作、耗费时间、难以在线自动学习其他设计师的设计方案或把自己的设计方案共享给别的设计师等难题。由于手工构建室



收稿日期: 2018-06-10 修回日期: 2018-10-22;
基金项目: 国家自然科学基金(61741203, 61866006);
作者简介: 宋佩华(1982-), 男, 江西抚州, 博士生,
研究方向为虚拟现实、优化计算技术; 贾金原(1963-),
男, 山东乐陵, 博士, 教授, 研究方向为 Web Graphics,
分布式虚拟现实。

<http://www.china-simulation.com>

• 263 •

内场景存在诸多的不足,对于普通用户很难在短时间内构建出一个室内场景。构建一个室内场景自动生成系统,可以辅助用户快速地构建高质量的室内场景。

为了克服手动室内场景设计的弊端,许多学者提出了多种自动生成室内场景算法。近些年出现的场景自动生成算法主要包含三大类,第一类是需要用户输入家具信息^[4-5,7-8],对这些家具进行布局,从而生成室内场景,需要由用户考虑家具选择、搭配问题,且该类算法中的部分算法计算时间较长;第二类是需要用户输入非家具信息^[6],如房间户型图、场景文本等信息,该类算法存在生成场景较单一的问题;第三类算法是属于辅助设计类方法^[11-14],以人工操作为主,协助用户控制家具定位。

针对室内场景生成方法存在计算时间长和生成场景单一问题,本文运用案例推理和协同过滤技术自动生成室内场景,算法主要思想是:运用分治思想,将房间进行功能区域分割,再运用案例推理对房间功能区域生成场景,并运用协同过滤技术生成多样化场景,本文的主要贡献包括:(1)提出卧室、客厅的功能区域分割算法,减少了问题复杂度;(2)提出基于案例推理的室内场景生成算法,该算法通过案例重用,可以快速地生成新的三维场景;提出了基于协同过滤技术的多样化场景生成算法,该算法利用了场景功能模块相似度进行求解;(3)提出基于用户反馈信息的场景评价方法;(4)用 WebGL 开发了一个在线三维场景生成平台,在平台中实现了本文算法,并通过大量实验验证了本文算法的有效性。

1 相关工作

虚拟三维场景设计与合成已经广泛地应用在城市设计、建筑设计等场景^[1-3],文献[1]提出了基于贝叶斯网络的建筑场景生成方法,文献[2]提出了用于大规模街道建模方法。本文关注的是室内环境,在此重点论述室内场景生成的相关工作。当前,已有多种方法应用于求解室内场景生成问题,代表

性的有:辅助室内场景生成方法,基于用户输入家具信息的场景生成方法,基于用户输入非家具信息的场景生成方法。

(1) 辅助室内场景生成方法^[11-14]。这类方法是早期室内场景生成时常用的方法,是运用室内元素之间的约束关系,通过二维的鼠标控制三维室内场景中的元素,协助用户更便捷地生成室内场景;但该类方法只是协助用户设计,场景生成还是需要以用户操作为中心。

(2) 基于用户输入的家具信息的场景生成方法^[4-5,7-10,15-21]。该类算法又可分为两类,一类是基于智能优化算法,如模拟退火算法^[4-5]、粒子群算法^[7]和遗传算法^[9,15],该类算法通过家具之间的约束规则,提出一个布局评价函数,再通过智能优化算法对家具的位置优化,使布局评价函数值达到最优。文献[7]运用分治算法的思想,并结合粒子群优化算法,提出层次家具布局优化算法,该算法比文献[4]在运行时间效率上有较大的提高。文献[9]通过设置舱室墙壁的能量值,并运用遗传算法对舱室元素进行位置优化,但该算法需要通过人工设置舱室墙壁的能量值。这类算法的效率与用户输入的家数量、类型和场景大小相关,随着家具数量和类型、场景大小的增加,该类算法搜索范围也随之增大,算法的运行时间随之增加。

另一类算法是基于约束关系的案例库^[8,10,17-21]。文献[8]运用距离场景和案例推理技术对矩形的房间的家具布局进行求解。文献[10]对非矩形的房间的家具布局进行了求解。文献[17]用家具的包围盒的六个面之间的距离等参数表示家具之间的约束关系,并存放在案例库中,通过检索类似案例从而得到输入家具的布局结果。

(3) 基于用户输入非家具信息的场景生成方法^[6,22-27]。在该类算法中,用户输入的不是家具,而是房间的相关信息,如房间的户型图、草图等信息。文献[6]求解的问题是用户输入二维户型图,生成三维场景,利用场景功能模块和遗传算法对用户输入的户型图进行搜索,从而生成一个室内场

景。虽然该算法可以得到比较理想的室内场景,但算法运算时间有待优化,生成场景较为单一。文献[22]研究的是用户输入三维场景生成一些新的三维场景。文献[23]对用户输入的墙体结构进行分析,从而生成室内场景。文献[24]对用户输入的草图进行分析,通过检索技术生成室内场景。文献[25]将输入文字转换为三维场景,文献[26]用场景扫描信息生成三维场景,文献[27]对输入的图片进行分析并生成三维场景。

2 本文算法总体框架

2.1 问题描述

本文研究的问题描述如下:用户输入由多边形表示的二维房间户型图,并标注好房间功能、房门和窗户的位置信息,要求设计一种算法自动地生成该房间的三维场景。生成场景满足以下三个约束:(1)生成场景需包含满足房间功能需求的家具、电器等室内元素;(2)室内元素之间需满足位置、功能和色彩搭配等约束关系;(3)根据当前场景,生成多样化场景。



图 1 算法总体框架

Fig. 1 General framework of the proposed algorithm

3 功能区域分割

为了降低室内场景生成问题的求解复杂度,本文将场景分解成若干功能区域,从而室内场景生成问题转换为功能区域场景生成问题。在文献[10]中,运用路径距离场和墙体距离场,对卧室和客厅摆放电器的位置进行了划分,但计算过程比较复杂。本文将根据室内流通的路径,分别给出了卧室、客厅这两种常见房间的功能区域分割算法。该算法

2.2 本文算法总体框架

室内场景设计既是一项重复性的工作,也是一项创新性的工作。因为许多室内元素之间的约束关系是相对固定的,如床和床头柜的位置关系、餐桌和餐椅的位置关系;同时,室内元素的选择、色彩和功能搭配等需要创新性地设计以满足用户个性化的需求。针对室内场景设计工作的重复性、创新性这两个特点,本文分别提出应用案例推理和协同过滤技术自动地生成室内场景。

本文算法总体思路是:将房间分成多个功能区域,再运用案例推理和协同过滤技术对各功能区域分别生成场景。本文算法总体框架如图 1 所示。主要包含了以下的 5 个步骤:(1)用户输入房间的二维户型图,并标注好房间的功能、房门和窗户的位置信息。(2)运用功能区分割算法,将二维户型图分割为多个功能区域。(3)运用案例推理技术,对各功能区域自动生成三维场景,生成该房间的三维场景。(4)运用协同过滤技术,生成多样化三维室内场景。(5)运用基于用户反馈的场景评价方法,对自动生成的室内场景进行评价。

相比文献[10],计算效率更高。

3.1 卧室功能区域分割

通过对卧室布局进行分析,本文归纳出卧室中可能包含的 4 个功能区域:过道区域、视听区域、睡眠区域和窗户区域。图 2 为一个卧室的二维户型图,图 3 是该卧室的功能区域图,其中矩形区域 $rect_1$ 为视听区域,矩形区域 $rect_2$ 为睡眠区域,靠窗的矩形区域为窗户区域,靠门的矩形区域为过道区域。

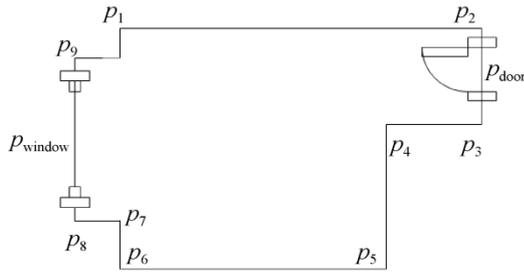


图 2 一个卧室户型图

Fig. 2 An example of bedroom floor shape

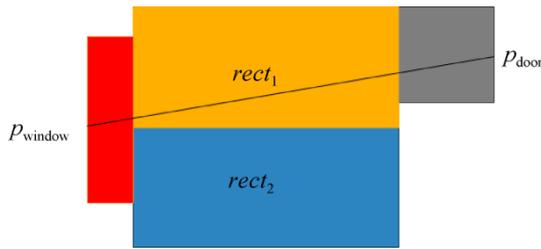


图 3 该卧室被分割后生成的功能区域

Fig. 3 Split regions of the bedroom floor shape

本文根据卧室的流通过程，提出了如下的功能区域分割算法。

算法 1: 卧室功能区域分割

输入: 卧室二维户型图 $P=p_1p_2\cdots p_n$

输出: 该卧室的功能区域

1 查找到窗户所在边 E_{window} ; 查找与 E_{window} 所有垂直的边, 从这些边中找出两条长度最大的边 E_1, E_2 ; 边 E_1 的两个端点为 p_a 和 p_b , 边 E_2 的两个端点为 p_c 和 p_d 。

2 找出多边形 $p_ap_bp_cp_d$ 内部的最大矩形, 并将该矩形分为两个矩形区域 $rect_1$ 和 $rect_2$ 。

3 窗户和房门的连线 $p_{window}p_{door}$, 分别计算 $p_{window}p_{door}$ 与 $rect_1$ 和 $rect_2$ 的 4 条边的交线数量, 交线数量多的矩形区域为视听区域, 交线数量少的矩形区域为睡眠区域。

4 在户型图中, 除去 $rect_1$ 和 $rect_2$ 区域, 若还有其他区域未分割, 则将靠近房门的划分为过道区域, 靠近窗户的为划分为窗户区域。

在上述算法中, 步骤 1 是为了找到卧室中床和电视摆放所依靠的墙体; 步骤 3 中, $p_{window}p_{door}$ 是卧室中的流通过程, 与该路径交线数量少的矩形

区域更有利于放置大件家具, 所以该区域为睡眠区域。对于没有窗户区域和通道区域的卧室运用上述算法进行分割, 只能得到的睡眠区域和视听区域。图 2 和图 3 展示了该算法的运行过程, 图 3 中 $p_{window}p_{door}$ 为卧室流通过程, 其与 $rect_1$ 交线为 2, 与 $rect_2$ 的交线是 0, 所以选择 $rect_2$ 作为睡眠区域。

3.2 客厅功能区域分割

本文归纳出客厅中可能包含的 4 个功能区域为: 视听区域、沙发区域、餐桌区域和过道区域。图 4 为一个客厅的二维户型图, 图 5 是该客厅进行功能分割后显示的区域, 其中矩形区域 $rect_1$ 为沙发区域, 矩形区域 $rect_2$ 为视听区域, 矩形区域 $rect_3$ 为餐桌区域, 其他区域为过道区域。同时, 本文将墙的端点分为内点和外点两类, 其判断方法见算法 2 的步骤 4。如图 4 中点 p_5 为内点, 点 p_6 为外点。根据人体工程学和室内设计经验, 餐桌区域总是沿内点放置, 且餐桌区域不能与门区域重叠, 根据该规则可以查找到餐桌区域。类似算法 1, 可以通过路径流通得到视听区域、沙发区域, 客厅功能区域, 分割算法描述如下。

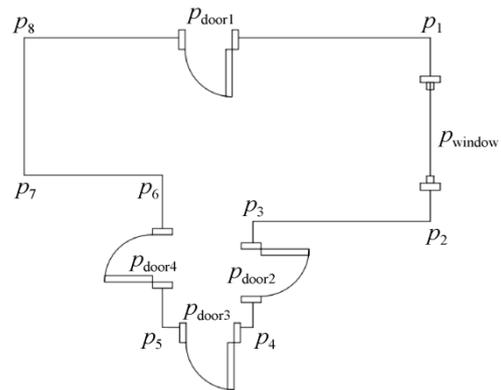


图 4 一个客厅户型图

Fig. 4 An example of the living room floor shape

算法 2: 客厅功能区域分割

输入: 客厅二维户型图 $P=p_1p_2\cdots p_n$

输出: 该客厅的功能区域

1 查找到窗户所在边 E_{window} ; 查找到与 E_{window} 所有垂直的边, 并从这些边中找出两条长度最大的

边 E_1, E_2 ; 边 E_1 的两个端点为 p_a 和 p_b , 边 E_2 的两个端点为 p_c 和 p_d 。

2 找出多边形 $p_a p_b p_c p_d$ 内部的最大矩形, 并将该矩形分为两个矩形区域 $rect_1$ 和 $rect_2$ 。

3 窗户和所有房门的连线 $p_{window} p_{door1}, p_{window} p_{door2}, \dots, p_{window} p_{doorn}$, 分别计算这些连线与 $rect_1$ 和 $rect_2$ 的 4 条边的交线数量, 交线数量多的区域为视听区域, 交线数量少的区域为沙发区域。

4 查找出房间户型图中所有的内点: 以 p_i 为中心生成一个边长宽都为 10 的矩形, 查找到这个矩形的 4 个顶点; 若这 4 个顶点中有 3 个点在 P 外部, 则 p_i 为内点, 否则为外点。

5 将在 $rect_1$ 和 $rect_2$ 区域中的内点排除; 将餐桌放置在剩余的内点区域内, 若该内点区域与房门区域不重叠相交, 即该区域为餐桌区域。

在算法 2 中, 步骤 1 是为了找到客厅中沙发和电视摆放所依靠的墙体。步骤 3 定义了客厅中的多条流通过程, 其判别视听区域和沙发区域的原理与算法 1 中的步骤 3 是类似的。步骤 4 和步骤 5 是查找餐桌区域的过程。图 4 和图 5 展示了该算法的运行过程, 其中 $rect_2$ 为得到的餐桌摆放区域。图 5 中窗户与 4 个门的连线为客厅的流通过程, 其中与 $rect_1$ 交线为 1, 与 $rect_2$ 的交线是 3, 所以选择 $rect_2$ 作为视听区域。

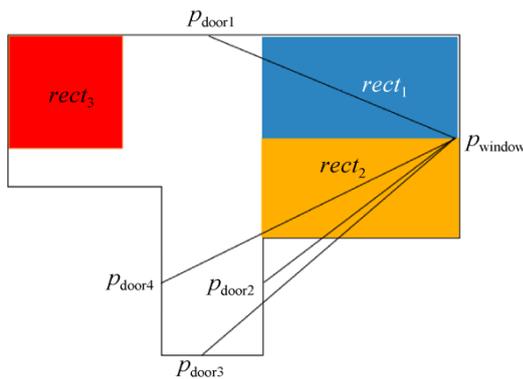


图 5 该客厅被分割后生成的功能区域
Fig. 5 Split regions of the living room floor shape

在算法 1 和算法 2 中, 若房间面积比较小, 不存在定义的全部功能区域, 则可做如下处理: 对于

面积较小的卧室, 将视听区域、睡眠区域合并为一个区域; 对于面积较小的客厅, 将视听区域、沙发区域、餐桌区域合并为一个区域。

4 基于案例推理的室内场景生成

案例推理技术主要思想是: 通过重用或调整以前类似问题的求解方案来求解新问题^[28], 案例推理已经广泛应用在许多领域。根据室内设计重复性的特点, 本文运用案例推理, 并结合第 3 节的功能区域生成室内场景。案例推理主要包括了 5 个环节: 案例表达、案例匹配、案例重用、案例调整和案例存储, 其中前 3 个环节是核心环节。本文应用案例推理求解室内场景生成问题的前 3 个核心环节描述如下。

4.1 案例表达

本文将一个已经设计好或已经生成的场景作为一个案例。案例表达是对该场景进行形式化的描述, 以便进行案例检索和案例存储。本文将室内场景定义为如图 6 所示的树型结构; 同时案例还记录了如下语义信息: (1) 场景类型。(2) 功能区域类型。(3) 功能区域为矩形区域, 则记录功能区域的长度和宽度。功能区域为非矩形, 则记录功能区域的面积。(4) 功能区域包含的功能模块, 功能模块包含的室内元素。(5) 功能模块在功能区域中的相对位置、绝对位置信息, 相对位置信息是指是否在功能区域的中心点, 墙角点。(6) 室内元素之间的关系, 室内元素之间的关系分为 2 种: 父子关系, 非父子关系。例如: 床和床头柜是父子关系, 其中床表示父节点, 床头柜表示子节点; 沙发和餐桌是非父子关系。(7) 室内元素的相对位置和绝对位置信息。

4.2 案例匹配

现有 2 个房间 A 和 B , A 为待生成场景, B 为已经生成的场景。假设这 2 个房间都包含 n 个功能区域, 且这些功能区域类型相同, 房间 A 的功能区域的长宽分别为 $\{(w_1, h_1), (w_2, h_2) \dots (w_n, h_n)\}$, 房

间 B 的功能区域的长宽分别为 $\{(w_1, h_1), (w_2, h_2) \dots (w_n, h_n)\}$, 则两个房间的相似度可以用最近邻算法时行求解:

$$Simr(A, B) = \sum_{i=1}^n a_i \sqrt{(w_i - W_i)^2 + (h_i - H_i)^2} \quad (1)$$

式中: a_i 为各功能区域调节系数, 通过设置该系数, 可以调整各功能区域在场景生成过程中的重要程度。

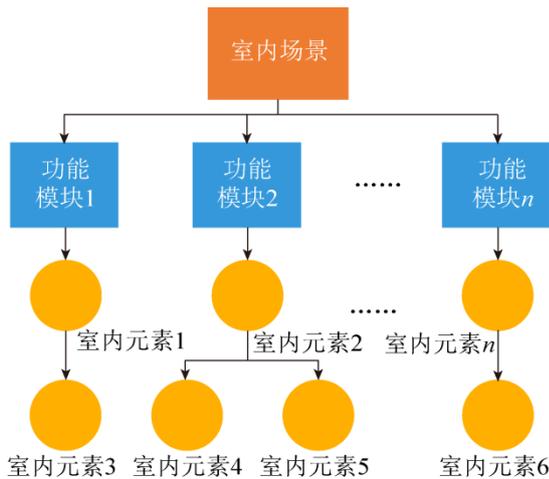


图 6 室内场景表达

Fig. 6 Description of the indoor scene

4.3 案例重用

通过 4.2 小节, 可以从场景库中, 找到了与 A 房间最相似的房间, 假设该房间为 C 。案例重用的作用是重用房间 C 包含的功能模块实现房间 A 的场景生成。因为房间 C 是通过引用功能模块实现房间的场景生成, 所以要生成房间 A 的场景, 实际上是用房间 C 的功能模块填充房间 A 。功能区域案例重用方法如下: 设计房间 A 第 i 个功能区域的长度和宽度分别是 (w_i, h_i) , 房间 C 包含的第 i 个功能区域的功能模块的长度和宽度是 (w_m, h_m) , 则通过案例表达中记录的功能模块在房间 C 中功能区域的相对位置、绝对位置信息, 通过几何位置变换就可以得到房间 A 第 i 个功能区域的场景。以此类推, 从而生成房间 A 中所有功能区域的场景。

4.4 基于案例推理的室内场景生成算法

在用最近邻算法求解时, 可以查找到与当前房间 A 最相似的 N 个房间, N 值可以由用户进行设置。通过重用这 N 个房间的包含的功能模块信息, 可以得到房间 A 的 N 个场景, 若设置 N 为 1, 则只查找到与房间 A 最相似的房间, 从而房间 A 生成一个场景, 算法描述如下。

算法 3: 基于案例推理的室内场景生成

输入: 房间 A 二维平面图、场景案例库

输出: 生成房间 A 的 N 个三维场景

1 运用第 3 节区域分割算法对房间功能区域进行分割, 找到各功能区域。

2 运用公式(1)查找到与房间 A 最相似的 N 个房间。

3 对查找的 N 个房间进行案例重用, 生成房间 A 的 N 个三维场景。

4 返回重用与房间 A 最相似的房间所生场景; 或返回 N 个三维场景, 并由用户选择其中一个场景。

5 基于协同过滤技术的多样化场景生成

本文第 4 小节的基于案例推理的室内场景生成算法虽然可以根据现有的场景案例生成新的室内场景, 但该算法并不能通过学习的方式对其室内功能区域、元素的选择和搭配进行扩充, 使得生成合理案例数量和质量有很大的局限性。考虑协同过滤技术已经广泛地应用到各种推荐系统, 其有效性已得到验证^[29]。基于案例推理算法生成场景存在单一化的问题, 本文提出了基于协同过滤技术多样化场景生成算法。

5.1 相关概念

为了更好地说明多样化场景生成算法, 本节先中定义了如下概念:

(1) 房间-功能模块矩阵。设当前场景案例库中, 有 x 个房间, y 个功能模块, 房间与功能模块

之间的关系用矩阵 $S=(S_{ij})_{x \times y}$ 表示, 若 $S_{ij}=1$ 表示序号为 i 的房间包含了序号为 j 的功能模块, 若 $S_{ij}=0$ 表示房间 i 没有包含功能模块 j 。

(2) 功能模块-室内元素矩阵。设当前场景案例库中, 有 y 个功能模块, z 件室内元素, 功能模块与室内元素之间的关系用矩阵 $M=(M_{ij})_{y \times z}$ 表示, 若 $M_{ij}=1$ 表示功能模块 i 包含了室内元素 j , 若 $M_{ij}=0$ 表示功能模块 i 没有包含室内元素 j 。

(3) 功能模块相似度: 表示两个功能模块的相似度。已经功能模块 i 和功能模块 j , 令 $N_s(i)$ 表示引用过功能模块 i 的场景集合, $N_s(j)$ 表示引用过功能模块 j 的场景集合, 本文用公式(2)计算功能模块 i 和功能模块 j 的相似度:

$$Simm(i, j) = \frac{|N_s(i) \cap N_s(j)|}{|N_s(i)|} \quad (2)$$

(4) 室内元素相似度: 表示两个室内元素的相似度。已经室内元素 i 和室内元素 j , 令 $N_m(i)$ 表示引用过室内元素 i 的功能模块集合, $N_m(j)$ 表示引用过室内元素 j 的功能模块集合, 类似于功能模块相似度, 本文用公式(3)计算室内元素 i 和室内元素 j 的相似度:

$$Sime(i, j) = \frac{|N_m(i) \cap N_m(j)|}{|N_m(i)|} \quad (3)$$

5.2 室内场景中功能模块、室内元素搭配上上下文

在推荐系统中, 上下文信息是指除了用户、项目信息之外的上下文环境信息, 如时间、位置等。上下文在推荐算法中得到了广泛的应用。为了使生成的室内场景之间的功能模块、室内元素搭配科学合理, 本文通过房间-功能模块矩阵 $(S_{ij})_{x \times y}$, 功能模块-室内元素矩阵 $(M_{ij})_{y \times z}$ 获得功能模块、室内元素搭配上上下文, 获得的上下文分别用功能模块搭配矩阵 $(T_{ij})_{y \times y}$ 、室内元素搭配矩阵 $(E_{ij})_{z \times z}$ 表示, 算法描述如下。

算法 4: 获得室内场景的功能模块、室内元素搭配上上下文

输入: 房间-功能模块矩阵 $(S_{ij})_{x \times y}$, 功能模块-

室内元素矩阵 $(M_{ij})_{y \times z}$

输出: 功能模块搭配矩阵 $(T_{ij})_{y \times y}$ 、室内元素搭配矩阵 $(E_{ij})_{z \times z}$, 两个矩阵初始化值都为 0。

1 设用 k 表示房间序号, 用 i 和 j 表示功能模块序号。

2 FOR $k=1$ TO x

3 FOR $i=1$ TO y

4 FOR $j=1$ TO y

5 IF i 不等于 j 且 S_{ki} 和 S_{kj} 都等于 1 THEN

6 $T_{ij}=T_{ij}+1$;

7 END IF

8 END FOR

9 END FOR

10 END FOR

11 同理, 可以计算出 E_{ij} 。

上述算法中, T_{ij} 的值表示功能模块 i 与功能模块 j 之间有过搭配的次数, E_{ij} 的值表示室内元素 i 与室内元素 j 之间有过搭配的次数。

5.3 基于功能模块相似度的协同过滤的多样化场景生成算法

用户输入一个二维户型图, 运用本文第 4 节的基于案例推理的室内场景生成算法可得到一个三维场景 u , 该场景包含了多个功能模块。通过 5.1 节可以计算出各功能模块的相似度。现用公式(4)可计算场景 u 对功能模块 j 的感兴趣程度:

$$P(u, j) = \sum_{i \in N(u) \cap S(j, K)} Simm(i, j) R(u, i) \quad (4)$$

式中: $N(u)$ 表示场景 u 引用的功能模块集合; $S(j, K)$ 表示和功能模块 j 最相似的 K 个功能模块的集合; $R(u, i)$ 表示场景 u 对功能模块 i 的兴趣度, 若 u 包含 i 则为 1, 否则为 0, 定义如下:

$$R(u, i) = \begin{cases} 1, & i \in u \\ 0, & i \notin u \end{cases} \quad (5)$$

根据功能模块的类型和功能模块搭配矩阵 $(T_{ij})_{y \times y}$ 可以生成新的场景, 算法描述如下。

算法 5: 基于功能模块相似度的协同过滤的多样化场景生成算法

输入：房间的二维户型图，场景库，功能模块库

输出：多样化三维场景

1 运用第 4 节基于案例推理的室内场景生成算法得到一个三维场景 u ，设该场景包含了 m 个功能模块 $Q=\{q_1, q_2 \dots q_m\}$ 。

2 运用公式(4)计算出场景 u 对各功能模块的兴趣度。

3 取出兴趣度值大于 t 的功能模块，并将这些功能模块按兴趣度从大到小的顺序进行排序，设有 n 个功能模块，用集合 $W=\{w_1, w_2 \dots w_n\}$ 表示。

4 在集合 W 中找到与集合 Q 中元素 q_i 类型相同的功能模块集合 $\{c_1, c_2 \dots c_k\}$ 。

5 功能模块替换生成新场景：令 $num = \sum_{i=0}^m T_{q_i, c_j}$ ，

若 $num > 0$ 说明 c_j 与 Q 中功能模块可以搭配使用，可以选用得到 num 数值最大的 c_j 替换 q_i ，从而生成新场景。

在上述算法中， q_i 可以由用户选定，也可随机选定；若 c_j 和 q_i 两个功能模块长度、宽度相差超过一个阈值，则不进行替换；可以通过离线的方式计算功能模块相似度，从而提高算法的效率。同理，可以根据场景 u 中功能模块包含的室内元素，对室内元素进行替换，从而生成基于室内元素相似度的协同过滤的多样化场景，本文省略了对该算法的描述。

6 生成场景评价方法

如何对生成的场景进行评价，是场景生成算法的重要组成部分，也是一项具有挑战性的工作。对生成场景的评价有多个方面的指标，如算法运行时间，场景生成过程是否需要人工干预、场景是否达到用户要求。许多学者给出了基于规则的评价方法，这类方法是根据学者提出的设计规则对场景进行评价，但这类评价无法反应用户对场景的评价。事实上，场景最后的是由用户进行使用，所以由用户对生成场景进行评价是合适的，因此本文提出了

基于用户反馈信息的场景满意度对生成场景进行评价。

假设应用一种场景生成算法生成包含了 r 件室内元素的场景，若一个用户的反馈信息表明：需要增加 S 件室内元素并且要移动、替换或删除 t 件室内元素，则定义该用户的场景满意度(User Scene Satisfaction, USS)为：

$$USS = 1 - \frac{r-t}{r+s} \quad (6)$$

式中： $0 \leq USS \leq 1$ ， USS 值越大表明用户对该场景的满意程度越高。若用户移动了室内元素，表明生成场景中的该室内元素位置不符合用户需求；若用户替换、删除或增加了室内元素，则表明对室内元素的选择或搭配不符合用户需求。本文定义场景平均满意度(Scene Average Satisfaction, SAS)，设对某个室内场景，获得了 n 个用户的对该场景满意度，即 $USS_1, USS_2, \dots, USS_n$ ，则该场景平均满意度定义如下：

$$SAS = \frac{\sum_{i=1}^n USS_i}{n} \quad (7)$$

式中： $0 \leq SAS \leq 1$ ， SAS 值越大表明这 n 个用户对该场景的平均满意程度越高。本文提出了以下两种方法获得用户的反馈信息：(1)在线自动获得用户反馈信息。用户在一个三维平台上运用室内生成算法生成一个三维的室内场景后，检测用户增加、移动、删除或替换了多少件室内元素，即可以得到用户的反馈信息；(2)离线问卷获得用户反馈信息。在获得一个三维的内场景的渲染图后，通过问卷调查的形式，让用户指出该渲染图中需要增加、移动、删除或替换了多少件室内元素，也可以得到用户的反馈信息。

在上述两种获得用户反馈信息的方法中，在线方法可以很便捷地嵌入某种室内场景生成算法中，用于评价该算法生成场景的满意度；离线方法适用于比较各类算法在运行同一户型获得渲染图后的用户满意度。

7 实验结果与讨论

为了验证本文算法的有效性, 本文使用 WebGL 开发一个三维在线的室内场景生成平台, 并在平台中实现了本文算法, 在此平台上对输入二维的客厅、卧室户型图进行了场景生成测试, 并与其他算法进行了对比。实验模型来自 3dwarehouse 模型库。实验计算机配置: 普通笔记本 PC、操作系统 Window 8 64bit、CPU 主频双核 2.6GHz、内存 4G、Chrome 浏览器。

7.1 生成客厅的三维场景

为了验证本文算法的运行效果, 将本文算法与文献[6]的算法进行了比较。考虑到文献[6]没有给

出其实验场景的户型数据, 本文通过人工提取其中的房间信息, 并将提取出的户型用本文算法进行测试。同时, 本文邀请了 10 名志愿者用第 6 节中的离线问卷获得用户反馈信息, 计算出两个客厅的 SAS 值, 为了便于两种算法进行比较, 计算 SAS 值时只让志愿者考虑室内元素位置是否需要移动这一种情况。本文算法和文献[6]的运行相关结果见表 1, 运行效果见图 7。本文的平均计算时间效果约比文献[6]提高了近 50 倍。

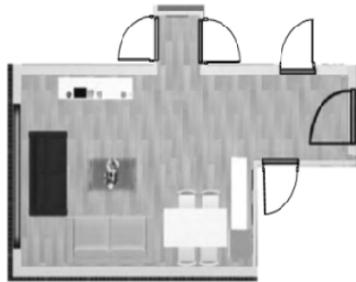
7.2 生成卧室的三维场景

为了测试算法在卧室中的运行效果, 在本平台中输入图 8(a)的户型图, 运用本文算法进行计算, 可以得到如图 8(b)所示的室内布局效果图。

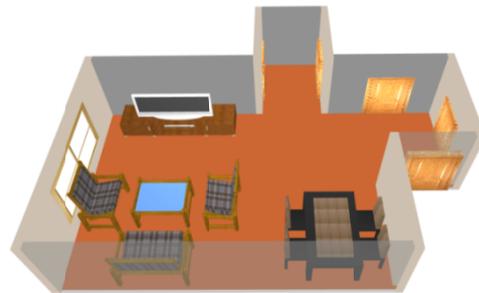
表 1 本文算法与文献[6]运行结果比较

Tab. 1 Comparison of the results of our algorithms and Ref. [6]

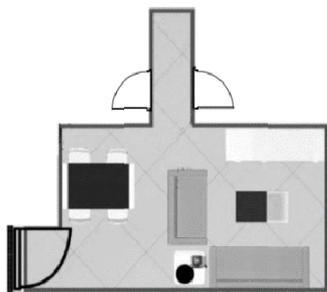
算法	运行环境	电脑配置	平均运行时间/s	两客厅 SAS 平均值
本文算法	WebGL	内存: 4G; CUP: Core i5-3230, 主频: 2.6GHz	1.0	0.92
文献[6]	Matlab 与 VS2008	内存: 4G; CUP: Core i7-2600, 主频: 3.4GHz	50.3	0.90



(a) 文献[6]输入的客厅 1 的户型和生成的场景图



(b) 用本算法对客厅 1 生成的场景图



(c) 文献[6]输入的客厅 2 的户型和生成的场景图

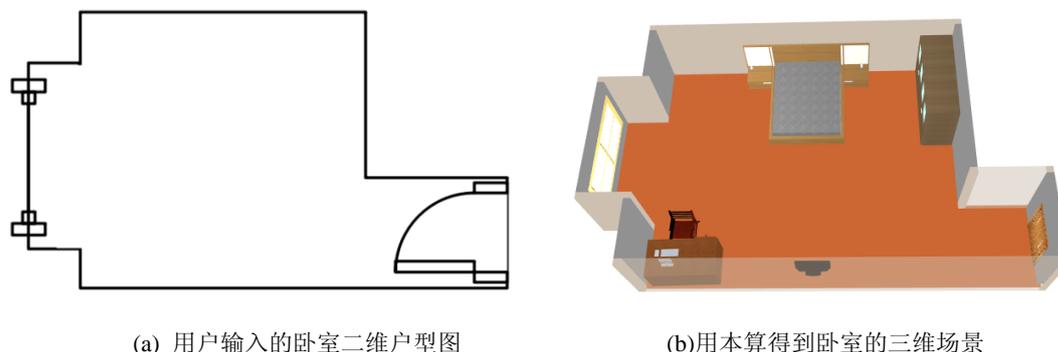


(d) 用本算法对客厅 2 生成的场景图

图 7 客厅场景生成

Fig. 7 Generated scenes of the living room

<http://www.china-simulation.com>



(a) 用户输入的卧室二维户型图

(b) 用本算得到卧室的三维场景

图 8 卧室场景生成

Fig. 8 Generated scene of the bedroom

7.3 生成多样化场景

现用一个实例说明基于功能模块相似度的协同过滤的多样化场景生成算法,假设当前案例库中有 4 个卧室场景和 4 个功能模块,房间-功能模块矩阵用表 2 进行表示。假设卧室 4 是生成的场景,且这 4 个功能模块尺寸与卧室 4 的功能区域相匹配,则运用基于功能模块相似度的协同过滤的多样化场景生成算法可以生成新的场景,即新的卧室 4 场景由睡眠模块 1 和视听模块 3 组成。从这个案例可以看出,该算法可以对卧室 4 场景对原场景进行了扩展,生成了满足约束和搭配要求的新场景。

表 2 房间与功能模块关系表

Tab. 2 Relationship between rooms and functional modules

房间 编号	睡眠 模块 1	睡眠 模块 2	视听 模块 3	视听 模块 4
卧室 1	1	0	1	0
卧室 2	0	1	0	1
卧室 3	1	0	1	0
卧室 4	1	0	0	1

7.4 实验结果讨论

在 7.1 至 7.3 节对本文算法进行了实验测试,现对实验结果分析如下:

(1) 从表 1 中的两客厅的 SAS 平均值可以看出,志愿者对本文算法生成的场景满意度比较高。本文算法是根据房间的重要行走路径,对房间的功

能区域进行划分;同时运用案例推理技术,将实际有效的功能模块嵌入到房间的功能区域中。本文提出的基于功能模块相似度的协同过滤的多样化场景生成算法实际上是对基于物品推荐算法的扩展,而基于物品的推荐算法已经通过实验验证了有效性。上述分析可知,本文算法可以生成较合理的室内场景。

(2) 本文算法通过房间功能区域划分,降低了问题的复杂度。相比文献[6],本文不需要通过运用智能算法搜索得到功能模块的位置,所以本文的运行效率高于文献[6]。同时,本文提出的基于功能模块相似度的协同过滤的多样化场景生成算法可以通过线下计算出各功能模块的相似度,从而可以快速地新的场景生成多样化场景。上述分析可知,本文算法可以快速地生成室内场景。

基于上述分析可以看出,本文算法是有效的,并可以满足在线生成室内场景的需求。本文算法可以嵌入到各种室内设计平台,提高用户室内设计效率。也可将本文算法的场景元素进行更换,运用到其他场景的建模平台,如三维游戏场景。同时,本文算法也存在如下限制。本文算法只适用于墙本是相互垂直或平行的户型图,对于不是这类户型图,本文算法不能进行求解。事实上,在现实生活中,大部分卧室、客厅的墙线是相互垂直或平行的,即本文算法可以满足绝大部卧室、客厅的场景生成。

同时, 本文算法要求房间的功能须单一化, 如房间的功能即当卧室, 也是客厅, 本文算法也无法处理。

8 结论

本文提出了基于案例推理和协同过滤技术的室内场景自动生成算法, 算法主要思想是将场景进行功能区域划分, 将场景生成问题转换成功能区域生成问题, 并用案例推理进行求解。针对室内场景生成呈现单一化的问题, 用协同过滤技术生成多样化场景。同时, 针对如何评价生成场景, 提出了基于用户反馈信息的评价方法。本文运用 WebGL 在实现了该算法, 通过客厅、卧室两种实验场景验证了算法的有效性, 并与当前流行的室内生成算法进行了对比, 实验结果表明, 本算法是有效的, 与对比方法在计算效率有很大的提高。

本文算法只考虑应用到卧室和客厅两种户型, 未来可以考虑如何将本文算法应用其他功能的房间, 如图书馆、超市; 此外, 设计有效的算法实现室外场景自动生成是一个值得探索的研究方向。

参考文献:

- [1] Merrell P, Schkufza E, Koltun V. Computer-generated residential building layouts[J]. *Acm Transactions on Graphics (S0730-0301)*, 2010, 29(6): 1-12.
- [2] Chen G, Esch G, Wonka P, et al. Interactive procedural street modeling[J]. *ACM Transactions on Graphics (S0730-0301)*, 2008, 27(3): 1-10.
- [3] Ulmer A, Müller P, Gool L V, et al. Procedural modeling of buildings[J]. *ACM Transactions on Graphics (S0730-0301)*, 2006, 25(3): 614-623.
- [4] Yu L F, Yeung S K, Tang C K, et al. Make it home: automatic optimization of furniture arrangement[J]. *ACM Transactions on Graphics (S0730-0301)*, 2011, 30(4): 86.
- [5] Merrell P, Schkufza E, Li Z Y, et al. Interactive furniture layout using interior design guidelines[J]. *ACM Transactions on Graphics (S0730-0301)*, 2011, 30(4): 87.
- [6] 刘米兰, 蒋浩, 毛天露, 等. 基于复合模型的家居场景生成方法[J]. *计算机学报*, 2017, 40(11): 2533-2545. Liu Milan, Jiang Hao, Mao Tianlu, et al. Composite Model for Home Furnishing Generation[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2017, 40(11): 2533-2545.
- [7] 陈光明, 李桂清, 刘培, 等. 家居布局的层次化约束及其粒子群优化[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2014, 26(10): 1603-1612. Chen Guangming, Li Guiqing, Liu Pei, et al. Hierarchical constraints with particle swarm optimization for furniture arrangement[J]. *Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics*, 2014, 26(10): 1603-1612.
- [8] 宋佩华, 贾金原. 基于案例推理及距离场的家居在线布局方法[J]. *系统仿真学报*, 2016, 28(10): 2438-2447. Song Peihua, JiaJingyuan. Online furniture layout method based on case-based reasoning and distance fields[J]. *Journal of System Simulation*. 2016, 28(10): 2438-2447.
- [9] 王运龙, 王晨, 纪卓尚, 等. 船舶居住舱室智能布局优化设计方法研究[J]. *中国造船*, 2013, 54(3): 139-146. Wang Yunlong, Wang Chen, Ji Zhuoshang, et al. A Study on Intelligent Layout Design of Ship Cabin[J]. *Shipbuilding of China*, 2013, 54(3): 139-146.
- [10] Song P, Zheng Y, Jia J. Web3d Learning Platform of Furniture Layout Based on Case-Based Reasoning and Distance Field[C]// *E-Learning and Games. USA: Springer Lecture Notes in Computer Science*, 2017: 235-250.
- [11] Uthor A, Epartment D, Cience S, et al. 3D Scene Manipulation with 2D Devices and Constraints[C]// *Proceedings of Graphics Interface 2001. Canada: Canadian Information Processing Society*, 2001: 135-142.
- [12] 王亮, 付永刚, 纪连恩, 等. 基于约束语义的双手交互场景布局系统[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2006, 18(8): 1243-1249. Wang Liang, Fu Yonggang, Ji Lianen, et al. A Layout System by Two Handed Manipulation Based on Constraints[J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2006, 18(8): 1243-1249.
- [13] Bukowski R W. Object associations: a simple and practical approach to virtual 3D manipulation[C]// *Symposium on Interactive 3d Graphics. USA: ACM*, 1995: 131-139.
- [14] Smith G, Salzman T, Stuerzlinger W. 3D scene manipulation with 2D devices and constraints[M]// *Graphics Interface. Canada: Canadian Information Processing Society*, 2001: 135-142.
- [15] Akase R, Okada Y. Automatic 3D Furniture Layout Based on Interactive Evolutionary Computation[C]//

