

开发基于 SPACE 语法的评估方法 程序生成的游戏关卡

Emin Alp BIYIK, 中东技术信息学研究生院建模与仿真系

大学, 土耳其, emin.biyik@metu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2771-0489>) Elif SÜRER*,

中东技术研究生院信息学研究生院建模与仿真系

大学课程、土耳其、elifs@metu.edu.tr

 <https://orcid.org/0000-0002-0738-6669>

收稿日期: 2020.07.20, 录用日期:

2020.12.20*通讯作者

研究论文

doi: 10.22531/muglajsci.706895

摘要程序内容生成 (PCG) 在过去十年中一直发挥着重要的催化剂作用, 因为它可以有效地创建纹理、游戏关卡和地图等游戏元素。尽管在各种研究中成功应用, 但仍需要新的可靠评估工具来评估生成的游戏内容的质量。程序生成的游戏世界的一个示例限制是缺少空间配置。为了解决这个问题, 本研究开发了一种评估方法来评估程序生成的游戏世界的空间质量。为此, 使用了空间语法, 它结合了一套分析空间构型和运动的方法。这些分析应用于作者开发的新游戏 - 鬼屋 - 并从集成、连接性和深度距离方面评估了性能。结果表明, 更改房间尺寸 (即 15x15、25x25 和 35x35 单位) 会修改性能度和游戏设计参数 - 生成点数量 (范围从 1 到 4)、临界轴 (1 到 5) 等等。所提出的方法是创建各种改进的空间配置并提供评估工具来分析关卡设计中的 PCG 算法的第一次尝试。关键词: 程序内容生成, 空间分区算法, 空间语法, 空间分析

程序生成的游戏关卡的场地布局 开发基于的评估方法

摘要程序化内容生成在过去十年中一直是一个主要的催化剂, 因为它在创建游戏元素 (如纹理、游戏关卡和地图) 方面效率很高。尽管它在各种研究中成功实施, 但仍需要新的可靠评估工具来评估创建的游戏内容的质量。程序生成的游戏世界的一个示例限制是空间配置不完整。为了解决这个问题, 本研究开发了一种评估方法来评估程序生成的游戏世界的空间质量。为此, 使用了空间语法, 其中包括许多用于分析空间配置和运动的方法。这些分析被应用于作者开发的新游戏 The Haunted House, 并评估了该方法在集成、连接性和深度距离方面的性能。结果表明, 更改房间大小 (15x15、25x25 和 35x35) 会改变性能衡量标准和游戏设计参数, 尤其是游戏元素生成点的数量 (1 到 4)、关键轴的数量 (1 到 5)。所提出的方法是创建各种高级空间配置的初步尝试, 并为在关卡设计中分析程序内容算法提供了评估工具。关键词: 程序内容生成、空间分割算法、空间排序、空间分析CiteBiyik, E. A. 和 Sürme, E. (2020)。 “为程序生成的 GameLevel 开发基于空间语法的评估方法”, *Muğla 科学与技术杂志*, 6 (2), 79-88。

1. 引言

程序化内容生成 (PCG) 是一组使用多个算法过程创建游戏内容 (如纹理、声音和游戏关卡) 的自动化方法 [1-2]。现有 PCG 算法

已经达到了足够的速度和效率 [3], 但缺乏对程序生成的游戏内容的评估和优化工具 [4] 仍然是一个重要的缺失特征。以前的研究表明, 使用

PCG 创建游戏世界。Green 等人 [5] 证明, 建设性算法对于为 3D 游戏世界创建快速和各种解决方案很强大, 但元胞自动机算法在构建生成中导致了一些不需要的空间, 这表明基于算法的游戏世界生成需要一个评估过程。在文献中, 有几种方法可以评估程序生成的游戏关卡。例如, Liapis 等人 [6] 基于三个参数创建了一个 generic method; 对称、区域控制和探索。然而, 他们的研究并不关注游戏关卡的空间布局。为了解决这一限制, 本研究建议加强空间语法方法在游戏关卡评估中的使用 [7]。空间句法 [7] 是一组分析空间配置的理论和技术, 它建议通过选择网络来分析空间并将其分解为更小的组件 [8]。在过去十年中, 从事游戏开发的研究人员对空间句法的兴趣越来越大 [9]。Levy 等人 [10] 实施了空间语法方法来预测游戏玩家在城市空间中可能丢失或找到线索的路径。他们的结果表明, 城市规划和建筑空间的特征可能有助于预测游戏玩家的行为和决策。他们还表明, 玩家倾向于移动到具有更多可见性的点。此外, Song 等人 [11] 研究了 Space Syntax 的 connectivity parameter 以改善道路的连接和分布。虽然他们的研究并不集中在游戏设计上, 而是城市进化模拟上, 但他们有希望的结果可以适应游戏开发流程。Cho et al. [12] 使用 Space Syntax 来探索在线游戏玩家的空间识别。他们的结果表明, 现实世界和虚拟世界之间存在重要差异。因此, 开发人员在创建虚拟世界时应使用替代参数进行评估。例如, 他们表明在线游戏玩家在进入游戏环境时不会选择最短路径, 而是选择更轴向的方向, 这也是空间语法中轴向性的基本参数。此外, Tremblay 等 [13] 使用角度变化来控制隐身游戏中的危险和威胁。与平均深度参数类似, 它们的参数 (视线和未遂) 表明 angular changes 会增加游戏中的挑战。最后, Choi et al. [14] 使用空间语法理论将游戏对象放置在游戏世界中。在电子游戏中, 生成是“实时创建游戏物品、玩家和非玩家角色 (NPC) 的行为” [15]。Tim Schafer 对生成点放置的建议在 Ballabio 和 Loiacono [15] 的研究中进行了总结和定义, 其中介绍了在多人射击游戏中放置生成点的几种启发式方法, 如下所示: “生成点应该被定在

在对上行玩家兴趣不大且容易离开的区域, 即中央枢纽和死胡同是一个糟糕的选择, 而有 2 或 3 个出口的房间通常是最好的选择。在这项研究中, 通过使用空间语法理论, 在类似 2D 地牢的游戏中, 根据集成度、连通性和深度距离, 从构造算法 Space Partitioning 算法 - 程序化生成的游戏关卡进行了评估。为此, 作者开发了一款新游戏 The Haunted House。该研究的主要重点是创建一种系统的方法来评估已完成游戏世界的空间质量, 根据房间的连通性引入生成点, 并减少在程序化生成游戏关卡时可能发生的配置问题。如上所述, 游戏玩家的焦点主要在轴线上, 生成点最好放置在具有更多出口 (连通性) 的房间上, 这需要根据轴向性和连通性的设计决策来评估组合方法。本研究是首次尝试探索空间语法方法作为游戏关卡生成评估工具, 同时将其常用参数调整到游戏研究领域, 特别关注类似地牢游戏中的房间生成。结果表明, 将 Space Syntax 方法应用于游戏关卡设计是一个很有前途的步骤, 它可以进行定量关卡评估, 从而指导游戏设计师具体化他们的参数选择。

2. 材料和方法

在本节中, 详细介绍了 1) 选定的程序内容生成算法, 2) 空间分区, 3) 评估生成的游戏世界的空间语法方法, 以及 4) 以鬼屋为主题的类似地牢的游戏的新实现, 作为实施建议方法的案例研究。

2.1. 空间划分算法空间划分算法是一种基于以分层和递归方式将 2D 和 3D 空间划分为子集的建设性算法 [3-4]。这些功能允许算法创建一个空间分区树, 其中每个子空间都连接到其父空间, 同时防止创建重叠区域。本研究中实现的伪代码如下:

1. 定义基本空间 (给定宽度和高度);
2. 将空间随机划分为纵横线, 并添加到树状结构中;
3. 检查是否可以划分新空间;
4. 重复步骤 2;
5. 重复步骤 3;
6. 当创建的空间达到预定义的最小面积时停止;

7. 通过选择随机的角点，为每个被分割的空间创建一个房间；
8. 在同一父节点的节点之间绘制走廊（从最年轻的树枝开始）；
9. 回到树状结构的上一层，重复步骤 8. 该过程包括三个步骤：a) 空间划分和创建空间分区树，b) 房间生成，以及 c) 走廊连接。第一步是将主基划分为其子空间，这是使用垂直线和水平线随机完成的（图 1 和图 2）。除法过程继续向算法中定义的 minimumarea 前进，直到达到 minimum areathreshold。划分步骤完成后，使用随机角点（主要是右上角和左下节点）创建空间边界，即生成房间。

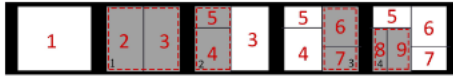


图 1. 空间划分。



图 2. 二进制空间分区树。这个过程导致每个子空间中的房间位于（图 3）。算法的最后部分是在房间之间创建走廊连接。与 room 创建类似，选定的节点从 spacepartitioning-tree 的最新成员开始连接到 createcorridors（图 4）。



图 3. 房间生成。



图 4. 走廊连接。

2.2. 空格语法

SpaceSyntax为 一 分析 方法 为 建立环境，主要表示为连接的网络。这种方法的主要目的是

了解可能的用户决策并检索空间组织的潜力。该方法有三个基本概念，如 [16] 中所定义：

- a) 等距空间：从轴线和凸空间可见的总面积；b) 轴向空间：覆盖所有凸空间和这些空间连接的轴线；c) 凸空间：在任意两点之间没有绘制直线的空间。在本研究中，使用了三个主要概念，即集成、连通性和深度距离分析，以探索程序生成的游戏关卡的空间潜力。在这些分析中，积分 [17] 是指空间相对于所有空间的平均深度，由平均深度（MD）得出，即所有轴线与轴线的距离。

$$Dk = \frac{2 \cdot qk^2 \cdot qk + \frac{23}{v} \cdot v - 1v + 1v}{(k - 1) \cdot (k + 1)} \quad (1)$$

，其中 K 是局部空间，k 是行数，Dk 是为了相对化 [18]。

$$\text{集成} = \frac{\text{介电常数}2}{\frac{(MD - 1)}{k - 2}} \quad (2)$$

，其中 MD 是平均深度，k 是行数，Dk 是相对化 [18]。

连通性描述了测量直接连接到空间的邻居的数量，深度距离是从一张图到达另一个图所需的步数 [17-19]。这些分析是使用 depthmapX 进行的，depthmapX 是一个开源软件，可在 Space Syntax 的官方网站上找到 [20]。Space Syntax 方法使用颜色代码来可视化分析。在这个颜色代码中，红色点和线条代表较高的值，而蓝色的点和线条代表较低的值 [9]。数值在图表中根据其数量着色。但是，没有 red 等于 1 而 blue 等于 0 的二进制度量。每个集都有蓝色的节点和带有最小值的线，以及带有最大值的红色节点和线。

2.3. 鬼屋游戏由作者开发的鬼屋游戏是一款类似地牢的密室逃脱游戏，玩家必须在抓住敌人之前到达出口；在此过程中，玩家还必须带着他/她的孩子并收集贵重物品才能继续玩游戏（图 5）。该游戏是使用 Unity Game 引擎版本 2019.2.12f.1 开发的。生成游戏关卡

程序上。分析结果不是随机做出决策或将游戏设计过程完全留给游戏设计师的直觉，而是用作预测玩家动作和设定关卡节奏的指南。

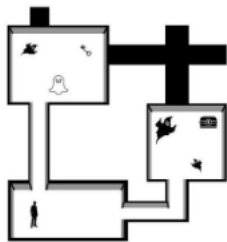


图 5. 鬼屋游戏的初始设计。

3. 结果

在这项研究中，使用三种主要方法评估程序生成的游戏关卡;i) 能见度图形分析（VGA），具有三个主要选定参数的轴线分析;ii) 连通性、完整性、平均深度;iii) 生成点和关键轴。为了进行这些评估，准备了三个不同的测试集。测试集的参数为：

基准为 1,200x200 个单位，最大（最大）15 个单位的房间宽度和最大 15 个单位的房间高度；

基准为 2,200x200 个单元，最大房间宽度为 25 个单元，房间高度最大为 25 个单元；

3,200x200 单位基准，最大房间宽度为 35 个单元，房间高度最大为 35 个单元。

对于每个集合，使用上述参数生成三个不同的程序生成的游戏关卡。图表的表示方法基于颜色代码，其中红点在连通性方面具有较高的值，而蓝点具有较低的值，这是 visibilitygraph 分析的可行参数。在每个集中，将评估三个不同的程序生成、具有相同参数的游戏关卡。比较了三个不同的集合，每个集合具有三个不同的游戏级别，除房间大小外具有相同的参数（15x15、25x25、35x35 房间大小）。每个测试都有图形分析和图表中的数值 inconnectivity 和 axial line graph，以及它们在积分图和深度距离表中的数值。

结果分为三个不同的步骤：1. 连通性分析;基于 VGA 显示

- 玩家、敌人和其他游戏元素可以定位的可能生成点;
- 2. 轴线分析;基于两个不同的参数;积分和平均深度,

显示游戏空间中关键轴的位置;3. 对生成点和关键轴之间关系的定量分析，显示生成点和关键轴是否有联系。如上所述，Space Syntax 使用颜色代码来表示值的范围。在这项研究中，蓝色区域和线条被称为“冷空间”，预计游戏中的交互会受到限制，难度较低。另一方面，预计红色区域和线条在难度更高的游戏中会有更多的互动。

3.1. 连通性第一组的连通性结果在最小值和最大值之间具有最大的范围（表 1）。该图还显示生成的关卡具有深红色和深蓝色节点（图 6）。

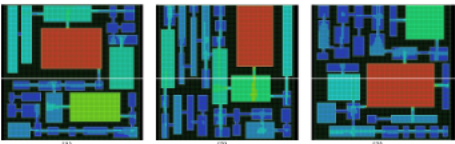


图 6. 第一组的可见性图形分析（VGA）。

表 1. 第一组的 VGA 分析 — 连通性结果。(1)

	(2) (3)		
Connected	61385809		6022
数量			
网 格			
意味着	609.9	501.3	653.0
标准偏差	473.1	407.4	609.2
最低	23.0	29.0	21.0
最大	1434.0	1304.0	1661.0

第二组在连通性方面具有最小平均值（表 2），而最小值和最大值之间的差异小于第一组，高于第三组（表 2）。与第一组相比，节点具有较浅的红色和浅蓝色，这表明节点的连接值之间的差异小于第一组的结果（图 7）。

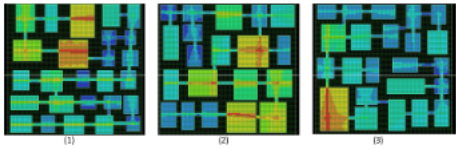


图 7.第二组的 VGA 分析。表 2.第二组的 VGA 分析 — 连接性

结果。(1)			
	(2) (3)		
Connected 数量	55005992		5573
网格			
意味着	271.5	361.8	307.4
标准偏差	114.8	126.6	157.5
最低	74.0	131.0	60.0
最大	562.0	673.0	818.0

第三组具有节点连接值之间的最小差值（表 3）。因此，节点的颜色确实变得更浅（图 8）。

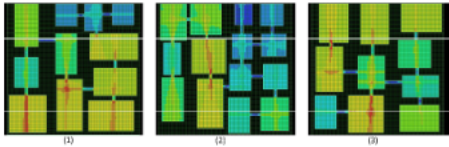


图 8.第三组的 VGA 分析。

3.2. 轴线分析第二种分析基于轴线分析，它有两个不同的参数:整合和平均深度。此步骤使用相同的测试集。由于积分是从平均深度得出的，因此图形将具有相同的形状，但是它们的颜色（使用空间语法的颜色编码方案）将根据它们的值而有所不同。下图显示了可以在凸空间之间绘制的轴线。

第一组的积分结果显示该集合具有最低积分水平。结果表明，15x15 单元的房间支持更多的分隔空间（图 9）。在凸空间之间创建的轴线数量高于其他两组（表 4）。

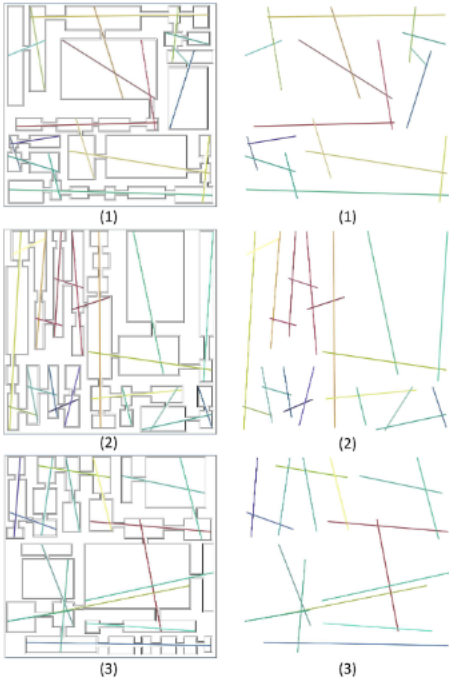


图 9.第一组轴线分析 — 积分结果。

表 4.第一组轴线分析 — 积分结果。(1)

		(2)	(3)
数量	359	378	339
线			
意味着	1.3	1.2	1.7
标准偏差	0.3	0.3	0.4
最低	0.7	0.5	0.9
最大	1.9	1.8	2.6

第二组 25x25 unitroom 的 room 参数导致更大的凸空间，这意味着整个系统中的隔断更少（图 10）。

表 3.第三组的 VGA 分析 — Connectivityresults。

	(1)	(2)	(3)
Connected 数量	6136	6116	5931
网格			
意味着	648.1	515.6	623.9
标准偏差	182.6	159.9	119.8
最低	142.0	162.0	181.0
最大	999.0	966.0	946.0

这导致积分结果的最大值增加（表 5）。

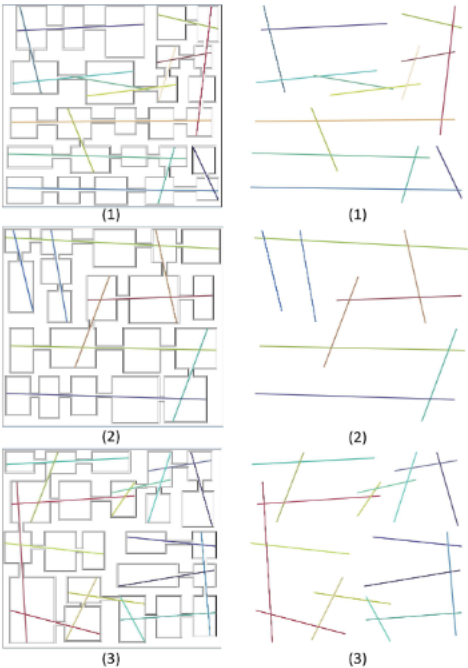


图 10. 第二组轴线分析 — 集成结果。

表 5. 第二组轴线分析 — 集成结果。(1) (2)

	(3)		
数量 线	294	221	236
意味 着	1.6	1.8	1.2
标准偏差	0.4	0.4	0.3
最低	0.7	1.2	0.7
最大	2.5	2.7	1.9

最终集具有最大 room 参数（35x35 个单位）并创建最大的凸空间（room）。这导致轴线的数量减少，这是所有集合中的最小数量；分别为 111、142 和 100。房间隔断的减少创造了一个更加集成的空间配置（图 11）（表 6）。

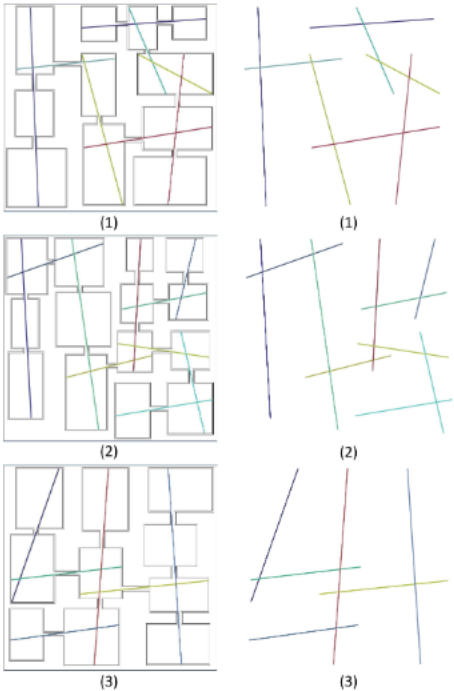


图 11. 第三组轴线分析 — 集成结果。

表 6. 第三组轴线分析 — 积分结果。(1)

	(2) (3)		
行数	111142	100	
意味 着	1.8	1.8	2.7
标准偏差	0.5	0.5	1.0
最低	1.1	1.0	1.4
最大	2.7	3.0	5.2

该集合的第二个分析显示了一个点到达另一个点所需的平均深度和角度转弯。与集成参数类似，15x15 单元的房间导致了更多的分割空间（图 12）。轴线的数量是第一组中最高的；359、378 和 339。这组在深度距离方面也具有最高值（表 7）。

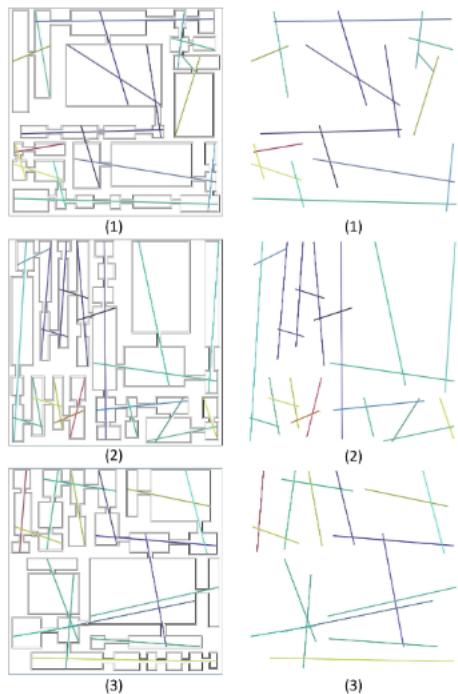


图 12. 第一组轴线分析 — 平均值深度结果。

表 7. 第一组轴线分析 — 平均深度结果。(1)

	(2)	(3)
数量	359378	339
线		
意味着	5.7	6.3
标准偏差	1.2	1.8
最低	4.0	4.3
最大	9.4	12.8

第二组的结果也与集成结果有相似之处。由于房间大小（25x25 个单元），该算法创建了更大的凸空间，从而减少了轴线的数量（图 13）。此组的平均深度值高于第三组，平均深度值低于第一组。此外，平均深度的最小值和最大值之间的范围越来越小。当凸空间具有更高的维度时，主题深度会减小（表 8）。

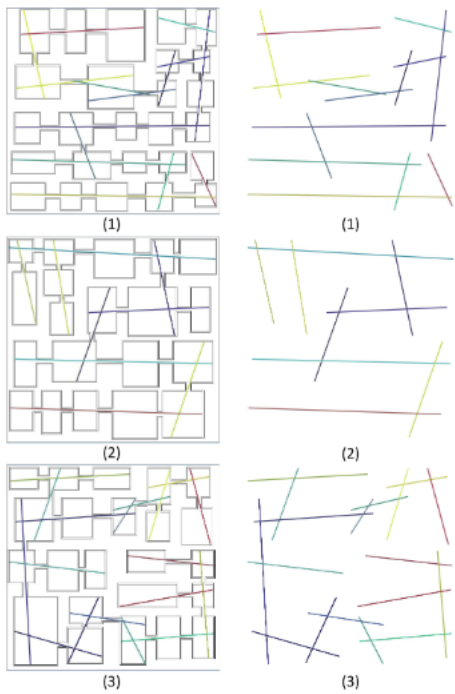


图 13. 第二组轴线分析 — 平均值深度结果。

表 8. 第二组轴线分析 — MeanDepth 结果。

	(1)	(2)	(3)
数量	294221		236
线			
意味着	5.0	4.1	5.6
标准偏差	1.5	0.7	1.2
最低	3.3	3.0	3.7
最大	9.4	5.3	8.7

最终测试集具有 35x35 单元的 room，可创建最大的凸空间。所有空间中的最小空间分区导致轴线较少（图 14）。就平均深度而言，该集合在三个集合中具有最低的值；因此，为了从一个点到达另一个点，需要较少的角度变化。主题深度的最大值和最小值之间的范围也越来越窄（表 9）。

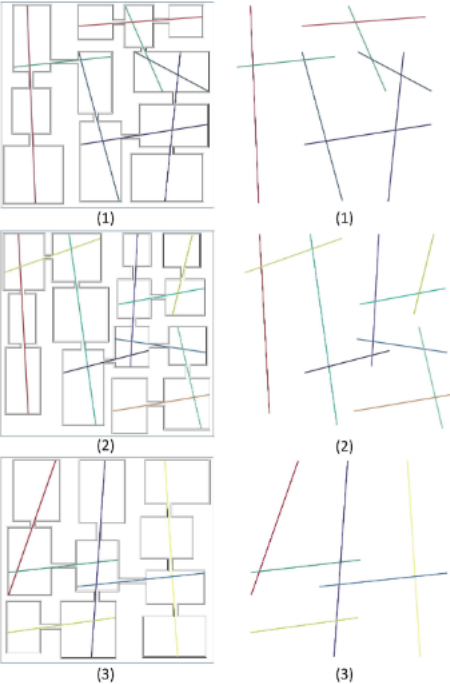


图 14. 第三组轴线分析 — 平均值深度结果。

表 9. 第三组轴线分析 — 平均值深度结果。(1) (2)

	(3)		
数量	111142		100
线			
意味着	3.6	3.7	2.6
标准偏差	0.8	0.8	0.5
最低	2.6	2.5	1.8
最大	4.9	5.7	3.9

3.3. 生成点和临界轴之间的连接评估的最后一步是检查游戏关卡中生成点和临界轴（即具有最高值的轴线）（CA）之间的条件（表 10）。生成点是 VGA 分析中的红色节点和房间，临界轴是具有积分参数的轴线分析中的红线。生成点（SP）定义为

连续的 红 节点 发生； 在 空间 语法 术语中，这些节点称为决策点。已根据 SP、CA 及其连接的数量对生成的级别进行了调查（表 10）。

表 10. 生成点、关键轴、和生成点关键轴连接。

	生成点 (SP)	关键轴 (加州)	SP-CA 连 接
1. 1 级	12		1
1. 2 级	15		0
1. 3 级	12		1
2. 1 级	21		0
2. 2 级	41		1
2. 3 级	13		1
3. 1 级	32		2
3. 2 级	31		0
3. 3 级	31		1

4. 讨论

在本研究中，实现了空间分区算法，并使用选定的 Space Syntax参数进行了测试；连通性、集成性和平均深度。该测试旨在寻找一种可能的方法，以定量评估程序生成的游戏关卡。结果表明，可以系统地评估游戏关卡的潜力，并在算法参数及其对程序生成的游戏关卡的影响之间建立联系。由于关卡设计缺乏单一或标准解决方案，而不是 binaryclassification（成功或不成功），开发了一种分类方案。通过这种方式，可以找到关卡设计问题及其难度评估的不同解决方案。例如，可以使用 depthdistance 来安排关卡的难度，其中较大的数字表示更困难的关卡，因为玩家必须探索更广阔的空间才能完成游戏。此外，connectivity（连接）和 integration（集成）参数可以应用于游戏对象的放置位置，这对关卡设计具有核心影响。为了在 Space Partitioning 算法上使用 Space Syntax 分析，开发了一款类似地牢的密室逃脱游戏。所有参数都应用于游戏，以控制评估结果是否在游戏环境中创建预期结果。测试的初步结果基于 visibilitygraph 分析。这些测试表明，在算法中增加 room 维度会导致不同的连接值。当房间的尺寸较小时，该算法会创建更多的分割空间。房间的这种分区导致凸空间的数量增加。因此，具有不同连接值的 Room 同时在系统中

(图 6 和表 1)。增加 room dimensions 会导致生成具有相似 connectivityvalue 的 room。一个重要的结果是,较小的 roomdimensions 会产生更密集的网络。另一方面,较大的房间尺寸会产生较少的密集区域,节点连接性较高(图 7 和图 8)。高度连接的节点是生成决策点的关键位置。高度可见的节点成为游戏对象的生成点。从游戏设计的角度来看,连接性可能是一个需要评估的复杂术语。游戏开发人员可能旨在创建具有不同连接值的游戏关卡,而不是创建具有相似连接值的节点,从而获得更好的游戏体验。例如,增加 room 维度会生成具有相似连接值的游戏关卡。这可能会导致重复的游戏,因此应避免。使用较小的房间尺寸可能会带来更好的游戏体验,因为无连接节点和更多连接节点之间的范围很大。这些决策点可以用作游戏设计中生成敌人、道具和检查点的关键点。另一个优点是在游戏关卡的不同部分之间提供层次结构。这样,游戏开发人员就可以根据节点在可见性方面的重要性来控制定位游戏对象。本研究的第二个测试基于轴线分析,其中应用了两个不同的参数,即积分和平均深度。前者表示系统在空间上的集成方式,后者表示为了从一个点到达另一个点而使用的角转弯数 - 增加算法中的 roomdimensions 会导致集成分析中的凸空间更大。更大的房间产生的空间划分更少,从而产生更多的集成游戏关卡(表 6)。在游戏设计方面,游戏关卡中的部分划分可能会成为更好的解决方案,而不是创建一个完全集成的游戏关卡。因此,这种分区方法对于控制游戏的不同方面可能更有用。平均深度参数与玩家的移动直接相关。此参数测量从一个点到达另一个点所需的角度变化。在该算法中,较小的房间尺寸可能会创建更多分裂的凸空间,需要更多的角度变化才能到达特定点(表 7 和图 12)。随着房间尺寸的增加,凸面空间会变得更长。因此,到达一个点需要的角度变化更少,因为两个不同点之间的轴线变得更加线性和更长(表 9 和图 14)。mean depth 参数可用于控制游戏难度和游戏时间。当游戏开发人员旨在创建更难的关卡时,可以使用更高的平均深度值。通过这种方式,玩家需要改变他们的旋转以到达特定点,这最终会提供更长的游戏时间。

空间分区算法的两种不同测试方法表明,游戏开发者可以控制分析不同游戏关卡的空间质量。进一步地,游戏开发者可以调整 selectedproceduralcontent 生成算法的参数。这项研究的结果可以总结为两个主要方向;1. 它对 GameLevel 分析的影响,ii. 获得对算法参数的直觉。在做出游戏设计决策时,将执行可见性图和轴线分析作为指导。meandepth 参数用于选择游戏世界的开始和结束部分。较高的平均深度意味着更复杂的游戏世界,因为需要 angularchanges 才能到达游戏的终点。Connectivity 是一个可见性图表分析参数,经过调整以定位敌人、门钥匙和道具。this 参数提供了一种受控的方式来做出这些决定,而不是随机定位元素。integration 参数用于划分游戏世界,以便可以使用具有不同 integration 值的空间来增强游戏玩法。此外,如果生成点和关键轴之间存在联系,由于玩家与游戏世界之间互动的增加,这些关卡可能会具有更好的游戏玩法。在新开发的视频游戏《鬼屋》中,游戏中集成度较低的部分被用作教程和培训部分。在开始玩更多集成的部分之前,玩家会接受这些领域的培训。它还使游戏开发人员能够控制玩家的学习过程。这种方法为游戏设计过程提供了一种结构化的方式,当游戏开发人员在设计决策中没有可测量的参数时,这个过程可能相当复杂。总的来说,这些结果表明 Space Syntaxmethodology 可以有效地评估程序生成的游戏关卡并控制游戏设计决策。选定的参数使游戏开发人员能够在进一步进入游戏开发管道之前测试和评估关卡。

5. 总结

在本研究中,开发了基于 Space Syntax 的评估方法,以评估程序生成的游戏关卡在连通性、集成性和平均深度方面的质量。应用了两种不同的评估方法 - 可见性图分析和轴线分析 - 来分析使用建设性算法 - Space Partitioning 算法生成的游戏关卡。生成了一款新游戏 HauntedHouse 和三个不同的测试集,它们具有不同的房间尺寸。结果表明,通过使用 Space Syntax 方法,游戏开发人员可以系统地评估程序生成的游戏关卡,同时测试和控制不同的参数并增强游戏关卡。通过使用所提出的方法,还可以防止在设计游戏关卡时出现与空间配置相关的问题。

6. 参考资料[1] Smelik, R. M., Tutenel, T., Bidarra, R., Benes, B., “虚拟世界程序建模调查”, 计算机图形论坛, 33 (6), 31-50, 2014.
- [2] Barriga, N. A., “电子游戏程序内容生成算法简介”, 国际人工智能工具杂志, 28 (02), 1930001, 2019 年.
- [3] Shaker, N., Togelius, J., Nelson, M.J., 游戏中的程序内容生成. 瑞士: 施普林格国际出版社, 2016 年.
- [4] Van der Linden, R., Lopes, R., Bidarra, R., “地牢的程序生成”, IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games, 6 (1), 78-89, 2013.
- [5] Green, M. C., Salge, C., Togelius, J., “Minecraft 中的有机建筑生成”, 第 14 届数字游戏基础国际会议论文集, 2019 年, 1-7.
- [6] Liapis, A., Yannakakis, G. N., Togelius, J., “迈向评估游戏关卡的通用方法”, 第九届人工智能和互动数字娱乐会议, 2013 年, 第 30-36 页.
- [7] Bafna, S., “空间句法: 其逻辑和分析技术简介”, 《环境与行为》, 35 (1), 17-29, 2003 年.
- [8] Al-Sayed, K., 空间语法方法, 2014 年.
- [9] UCL-SpaceSyntax官方网站, <http://otp.spacesyntax.net/>, 于2020年7月20日检索.
- [10] Levy, R. M., O'Brien, M. G., Aorich, A., “预测游戏玩家的恶意行为——空间句法和城市规划理论作为游戏中的预测工具”, 第 15 届虚拟系统和多媒体国际会议, 2009 年, 203-208.
- [11] Song, A., Whitehead, J., “TownSim: 基于代理的城市进化for naturalistic road network generation”, 第 14 届数字游戏基础国际会议论文集, 2019 年, 第 81 页.
- [12] Cho, I. O., Kim, Y. O., “在线游戏空间中空间配置与空间行为之间的关系”, 第六届国际空间语法研讨会论文集, 2007 年, 1-14.
- [13] Tremblay, J., Torres, P. A., Verbrugge, C., “测量隐身游戏中的风险”, FDG, 2014 年, 1-8.
- [14] Choi, S. K., Kim, D. H., Kim, Y. O., “使用空间语法放置游戏对象的研究”, 韩国游戏学会杂志, 12 (5), 2012 年.
- [15] Ballabio, M. and Loiacono, D., “在多人游戏第一人称射击游戏中放置出生点的启发式方法”, 2019 年 IEEE 游戏会议 (CoG), 2019 年, 1-8.
- [16] Martin, P., 《空间和地点作为电子游戏中的表现类别》, 2011 年.
- [17] Hillier, B. and Hanson, J., 《空间的社会逻辑》, 剑桥大学出版社, 1989 年.
- [18] Asami, Y., Kubat, A. S., Kitagawa, K., Iida, S. I., “空间语法的第三维度介绍: 在历史上伊斯坦布尔的应用”, 第 6 届国际空间语法研讨会论文集, 2003 年, 48-49.
- [19] El-Agouri, F. A., 隐私和隔离作为分析和建模城市空间的 ABasis 利比亚传统城市案例研究的构成: 加达梅斯市, 2004 年.
- [20] DepthMapTool GitHub Page, <https://github.com/varoudis/depthmapX/>, 于 2020 年 7 月 20 日检索.