
村庄建设规划方案自动生成系统

目 录

摘要.....	1
正文.....	1
第一部分：功能需求说明书.....	2
1. 系统功能需求分析	2
2. 可行性分析	3
第二部分：概要设计说明书.....	3
1. 骨架生长	5
2. 地块包裹.....	12
3. 更多.....	14
第三部分：用户操作手册	17
1. 搭建场景.....	17
2. 参数.....	19

摘要

根据《村庄和集镇规划建设管理条例》，通过规划来实现。分为为村庄总体规划和村庄建设规划两个阶段进行。村庄规划的主要内容包括：乡级行政区域的村庄布点，村庄的位置、性质、规模和发展方向，村庄的交通、供水、商业、教育、旅游等生产和生活服务设施的配置。村庄建设规划应当在村庄总体规划指导下，具体安排村庄的各项建设。村庄建设规划的主要内容，可以根据本地区经济发展水平，参照集镇建设规划的编制内容，主要对住宅、供水、交通、环境卫生以及生产配套设施作出具体安排。

虽然城市的程序化建模在过去的十年中引起了广泛的关注，但以非城市住区填充任意景观仍然是一个悬而未决的问题。在这本项目中，我们将重点放在湘西小村庄的建模上，这些村庄利用地形特征来在安全、水源充足、交通便利的地方定居。我们介绍了一个三步骤的程序生成方法。首先，基于兴趣图的迭代过程被用来逐步生成结算种子和连接它们的道路——新的道路吸引定居者，而新的房子又导致一些道路网络的延伸。然后，在房子周围建立地块，也就是村民的生活用地。最后，生成适合局部的三维几何图形。我们通过任意地形上生成不同类型的村庄的有效性。本次项目在湖南怀化通道县双江镇芋头村进行调研。并用 Unity 引擎呈现出来。通过提供当地的海拔、坡度、水源、交通等参数能得到当地村庄的最佳规划图，然后与实际数据的比较，验证了该方法的有效性。

第一部分：功能需求说明书

一、系统功能需求分析：

通过多次在当地的调研，与程序应该需求分析，我们得出系统须具备以下功能：

1、模型输入：

输入为一个地区的地形模型，可以附带水源，植被等。可支持3DMAX、Maya 等建模软件导出的模型。

2、参数选择：

参数有各个建筑类型对于坡度、水源、社交、交通、崇拜等的吸引方程。还有有可能会有一些特殊的情况，比如每家都有农业耕地，村民会趋向于去当地地标建筑——鼓楼进行当地习俗活动等。还有在修路时要考虑的坡度，土地湿度，道路弯曲程度等，并用广度优先搜索选择出一条代价最小的路。

3、开始运行：

将参数调试好，把模型放到正确的位置即可开始运行，然后就能在模型上得到最佳规划的村庄。

二、可行性分析：

1. 事先已经在芋头村当地调研了一段时间，对各项参数都有记录。

-
2. 整体算法时间空间复杂度不高，一般的电脑都能运行起来。
 3. Unity 本身是游戏引擎，所以它做模拟类程序效果也很好。
 4. 操作方便，只需要导入模型，调好参数，即可运行。
 5. 市面上还没有类似这样的村庄模拟规划的程序，市场前景广阔。

第二部分：概要设计说明书

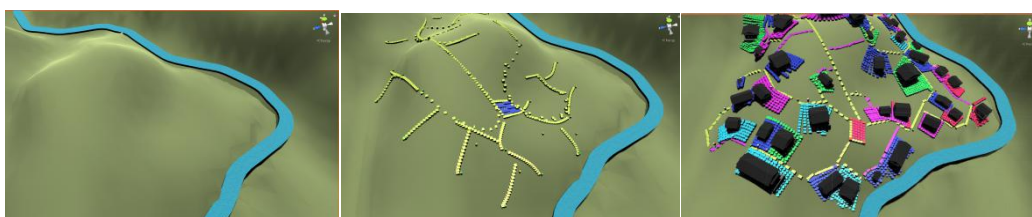
首先，本项目中提出了一种新的混合结算/道路生成过程，逐步在任意地形上建立一个村庄布局的增长情景和动态兴趣图。模拟程序在生成村庄时，需要生成道路网络、土地镶嵌成包裹和创建 3D 建筑。

接下来，在本项目中，村庄是非城市的、稀疏的聚落，例如：教堂周围的一组梯形房屋、两个偏远的村落和它们之间的一些隔离农场。我们把这个村庄作为一个紧凑的兴趣区域 $\Omega \in \mathbb{R}^2$ 。其中 R 为村庄的最大半径，而 Ω 是一组连接到外部世界的点，该连接点位于 Ω 的边缘，并且将作为道路网络的末端。

然后用 $H(P)$ ， $W(P)$ ， $S(P)$ 等分别表示在给定的点 P 的海拔、水源丰富度和坡度等。为了能够在相同的地形上创建不同的村庄，我们使用村庄类型 V （例如普通农业型、经济建设型）。当顶下 V 时就开始创建迭代计算建筑点 B_i 来标记未来的建筑物位置，以及道路 R_j 。然后定村子骨架 $S = (\{B_i\}, \{R_j\})$ 为这个步骤的结果。建筑称为 $B_i = (B, P)$ ，其中 B 是建筑类型（例如教堂、住宅或商店）， P 则是建筑位置。道路 R_j 由一组节点位置 $\{P_k\}$ 控制其中心曲线。在生成过程中，得到的每一对 (V, B) 是用于构建一个建筑物的参数集。我们需要计算的村庄布局不仅由村落骨架构成，而且还包括 Ω 与村庄的连接部分。我们称之为建筑物 B_i 的足迹，它们都是作为总体规划的一部分。这个足迹将作为建筑物几何结构的基础。

任意地形上生成村庄的算法总结在下图中。给定 Ω 、少量环境图和用户定义的生长场景，我们首先对村庄骨架进行生长，然后生成土地包裹并构建足迹以获得村庄布局，并创建 3D 几何。这三个步骤在后面详细说明。

本系统的方法概述：



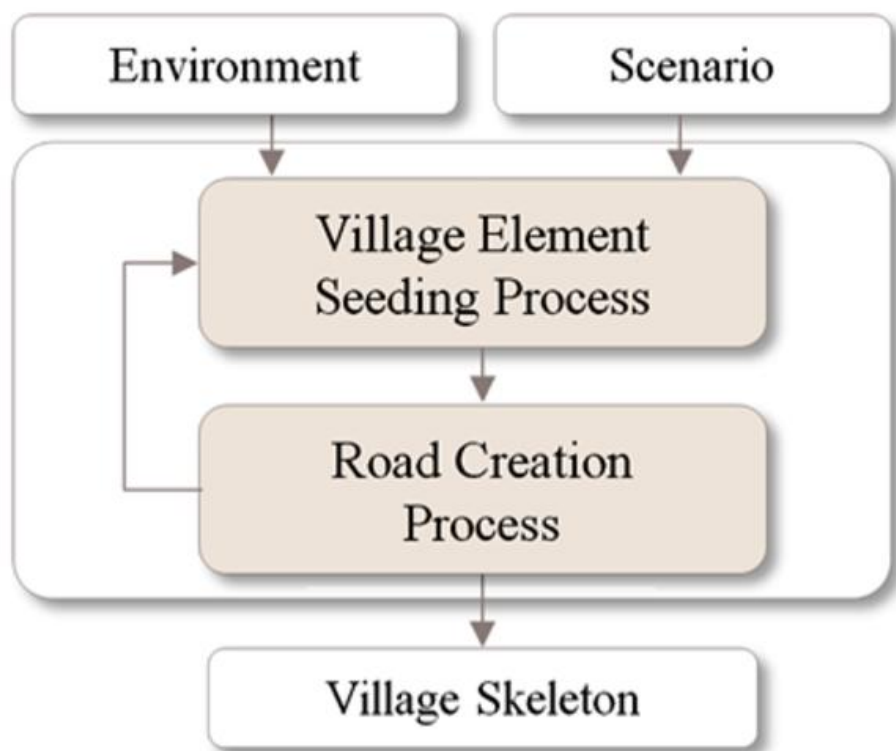
给定输入的地形，首先生成骨架（包含道路，还有建筑点，建筑点包括了建筑类型和位置）然后在建筑点周围生成相应的地块包裹，最后在地块中生成 3D 建筑模型。

一、 骨架生长

在这一节中，我们将解释如何生成建筑和形成村落骨架的道路网络。我们使用一个迭代的方法生成建筑，同时由建筑类型考虑环境约束和利益功能。我们的模拟回路的主要特征是交替生成步骤，并将连接新创建的建筑物的路段创建到网络。所以它允许在创建新道路时动态更新兴趣区域。

给予环境(Environment)和用户定义的情景(Scenario)，*比如村庄类型*。然后由当前输入参数进行村庄元素建立过程(Village Element Seeding Process)，同时生成道路创建过程(Road Creation Process)。循环迭代，直到达到饱和。

骨架生成算法：



骨架生成算法

1. 环境改变

万事皆不可预测，所以环境也是经常会改变。环境的改变将改变村庄生长的方向。当然，目前模拟程序只做了一部分能改变环境因素。

改变村庄类型：村庄类型 V 设定了一些建筑生长，道路生成的参数，从而影响村庄的规划。随着时间的推移，村庄可能会会发生改变。
比如：某村庄一开始是传统农业类型，后来发展了服务业，就改变成了商业类型。

建筑迭代生长：在成长场景中，绝大多数的事件都涉及到在给定场景中执行，和创建 N 个给定类型的建筑物，新的建筑的创建紧接着是它与道路网络的连接还有与其他建筑的互动。

2. 评估建筑点

人们会喜欢在黄金路段驻扎下来。人类在某地形的居住情况和植物生长有很多相似度。程序会对地形进行评估，并选择最佳的居住点。而不是随机选取。选取方式是基于局部兴趣方程（*建筑对各种参数的喜厌程度方程，下面会有讲*）

评估算法：如何知道一个点 p 是否为建筑点 B 的最佳位置呢？我设计了两种方法：

一种是随机选取法，随机选择一个点，然后通过兴趣方程加权求和得到一个 $0\sim 1$ 之间的分数，这个点被评估成功的概率就取决于这个分数值。这样做好处是能模拟出实际情况中的一些偶然情况，不至于算法结果那么“机械化”。

还有一种方法是每次只选取最高值。这就很简单，全局遍历，只返回分数最高的建筑点。这样做也有好处，就是规划的合理性更高，更有参考价值。

兴趣方程：用于评定这个点 p 对于建筑 B 好坏的方程。这是通过村庄和建筑类型，还有依据不同利益标准的 n 个独立函数 $f_i(B)$ ，($f_i \in [-1, 1]$)，如果该点对于某个利益适合就返回一个正判定，如果对于这个利益不适合就返回负判定。最后的分数由这几个判定通过加权求和来得到。当然，如果有一条利益为 -1 了，就可以一票否决。所以我们可以定义评估分数函数如下：

$$\mathcal{I}(B) \begin{cases} 0 & \text{if } \exists i \text{ such that } f_i(B) = -1 \\ \max(0, \sum w_i \cdot f_i(B)) & \text{in the other cases} \end{cases}$$

这种方法是通用的，对于评估建筑区域（后面会有讲解）时也是可行的，它可以根据期望的结果组合多种标准。下面图 3 展示几个兴趣方程：

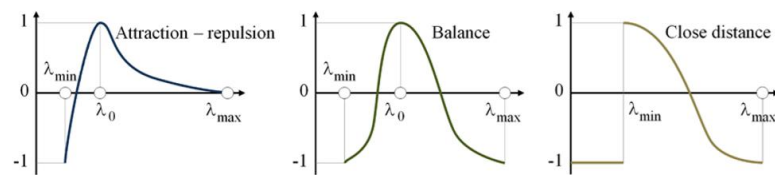
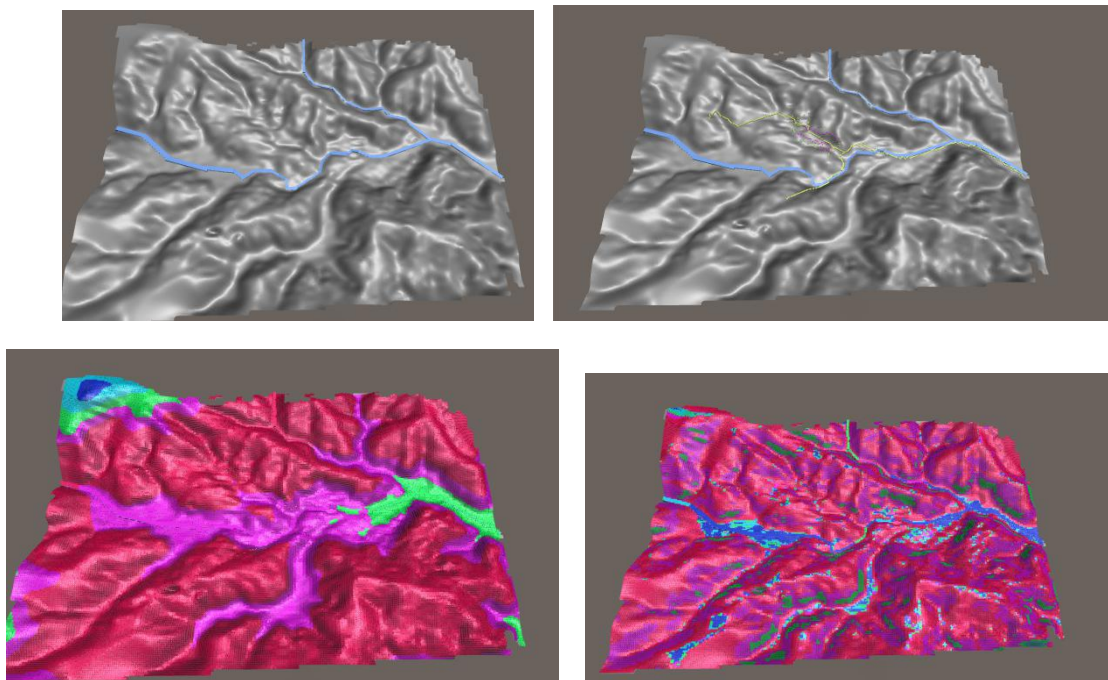
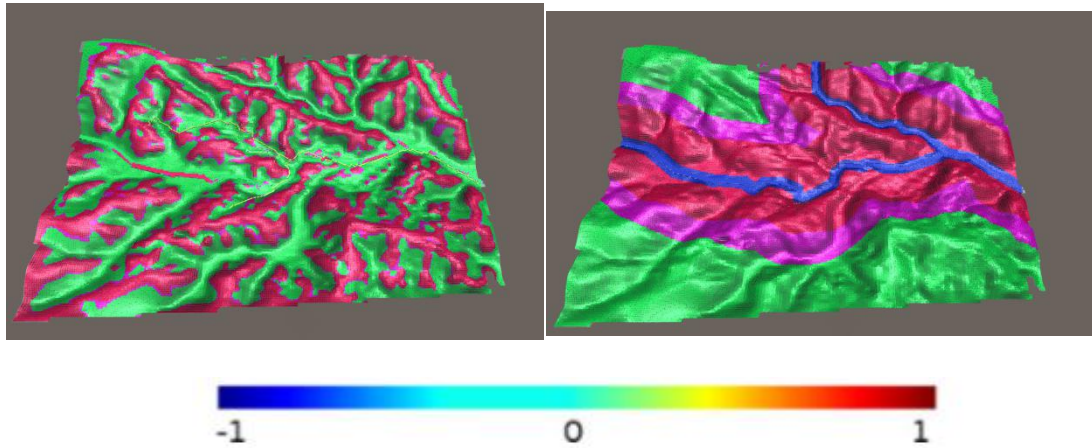


图 3：从左至右：崇拜，交通和水源。其中横坐标为距离。

他们是作为静态数组存储，在村庄生成开始之前被预先计算。其他的，当一个新的建筑时动态更新，然后创造了道路。这些兴趣函数的值可以由用户使用彩色的可视化在地面上。如下：





图一是原图，图二是村落生成的样子，图三、四、五、六按顺序是：海拔，坡度，视域和水源。我们可以很明显看到，在河流中游处红色的重叠部分很多，说明分数是很高的。自然而然，最开始的村落就在此驻扎下来

社交：这个标准用于衡量建筑物的兴趣聚集，在评定点时，离群体太远会不适合交流，太近又会有排斥，所以我们要定义一个函数同时具有排斥和吸引。即可得到最佳的位置。

崇拜：这个功能将房屋吸引到宗教元素，如寺庙、教堂、雕像或寺院。这些元素，通常在村落的中心，是房屋最初建造的那些地方。我们所使用的这些功能，除了社交之外，只适用于宗教类型的周围建筑。

交通：人们更喜欢把自己房子建在交通便利的地方，所以，我考虑了加入这个交通属性，就是被最近道路吸引的属性。它和社交很类似，过远过近都不好。

坡度：建设房子时也会考虑坡度因素，在超过限定坡度的地方禁

止产生建筑。同时建立农田时也会考虑坡度，甚至在坡度大的地方出现梯田的现象。

水源：水能吸引房子到海边、湖边或河边是很重要的。同时生成道路时也会考虑靠近河岸。

视域：视域属性比较特殊，它一般是社会优越性的标志，为富人所有。或者是统领的作用，为村委会，宗教建筑等所有。因为在这个点能看到更多的周围视野。一个点的视域大小方程为：

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{\mathbf{p} \mid \|\mathbf{e} - \mathbf{p}\| < r} \frac{h(\mathbf{x}) - h(\mathbf{p})}{1 + \|\mathbf{x} - \mathbf{p}\|^2}$$

其中 \mathbf{x} 为评定点， \mathbf{p} 为 \mathbf{x} 周围 r 范围内的点。 $h(\mathbf{x})$ 为 \mathbf{x} 点的海拔。

3. 连接道路：

至此我们已经能正确的评定建筑点了。之后为了正确地更新社交和交通的标准，我们需要创建将新建筑物连接到网络之后的路径。

道路：用最短路径算法，得到新建筑与现存建筑群的代价最小道路。然后将建筑群与预设的外界点再连接。最短路算法我是用的是 SPFA 算法。

算法思想（动态逼近法）：设立一个先进先出的队列 q 用来保存待优化的结点，优化时每次取出队首结点 u ，并且用 u 点当前的最短路径估计值对离开 u 点所指向的结点 v 进行松弛操作，如果 v 点的最短路径估计值有所调整，且 v 点不在当前的队列中，就将 v 点放入队尾。这样不断从队列中取出结点来进行松弛操作，直至队列空为止。松弛

操作的原理是著名的定理：“三角形两边之和大于第三边”，在信息学中我们叫它三角不等式。所谓对结点 i,j 进行松弛，就是判定是否 $dis[j]>dis[i]+w[i,j]$ ，如果该式成立则将 $dis[j]$ 减小到 $dis[i]+w[i,j]$ ，否则不动。

某一点 R 的代价（距离）定义为：

$$C(R) = \sum_{j=0}^m w_j \cdot g_j(R)$$

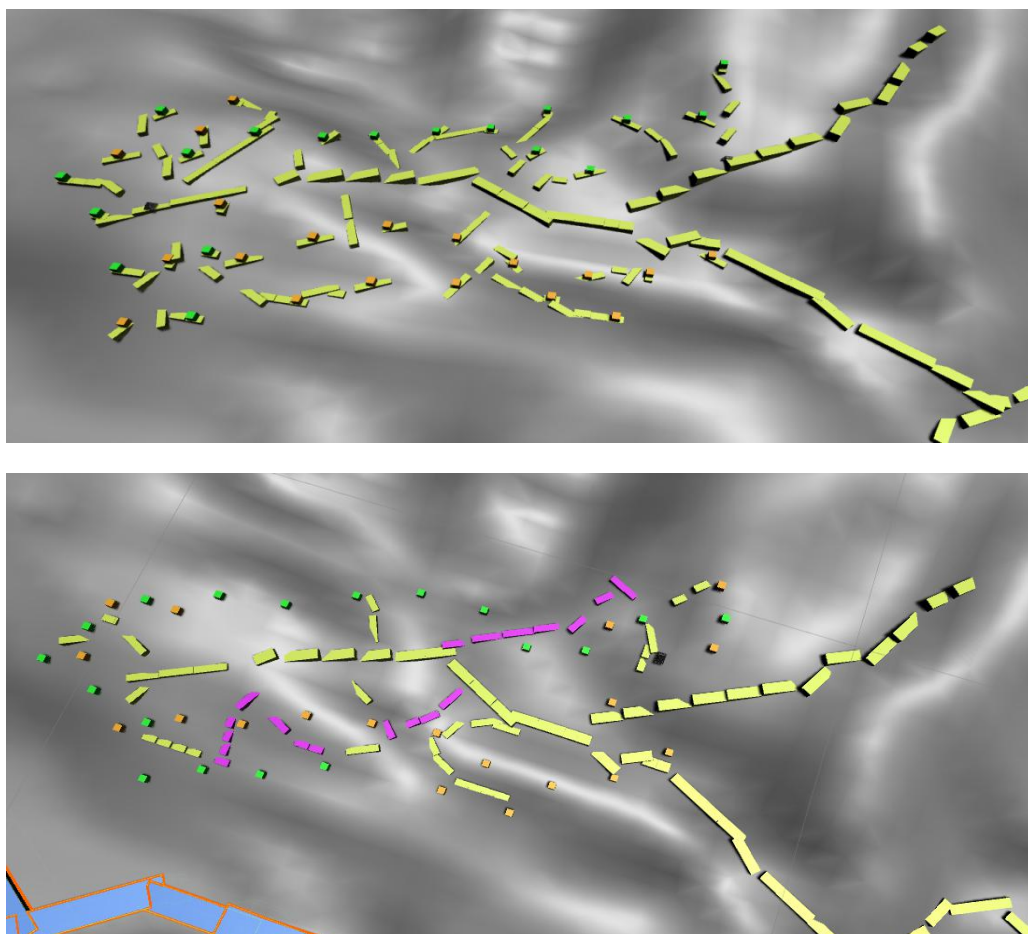
其中 $g_j(R)$ 为到达第 R 个点时的第 j 个代价方程，代价方程有很多维度，有：坡度差，海拔差，水源丰富度，视域，道路弯曲程度，如果道路穿过建筑，就设为一个很高的代价。来防止道路穿过建筑的情况发生。当然还有在现实生活中，人们还是会循环使用已经修建好的道路，重复使用时，代价自然也会减少很多，这是一种省资源的办法。所以当 R 为道路时，就让代价乘以一个小于 1，大于 0 的数字 w_{ex} 。那么代价方程就可以这么定义：

$$C'(R) = \begin{cases} w_{ex} \cdot C(R) & \text{if } R \text{ belongs to a road} \\ C(R) & \text{otherwise} \end{cases}$$

这样，我们就完成了道路的连接，详细代码将在后面呈现。

环路：真正的道路网络通常包括提供快捷方式的循环。因此，我增加了一个周期来构造回路。当某个建筑点 B 离道路太远，就以 B 为边界点生成一个回路。要生成 B 的回路，先找到以 B 为中心最接近的道路的节点 $P1$ ，以当前的道路为中心，从 B 点按某个角度寻找最接近 B 的道路节点 $P2$ 。然后，我们使用通常的方法来生成 B 和 $P1$ ，

B 和 P2 之间的道路。这两条道路的创建，就是一个新的循环（后者可能由于斜坡约束而迫使道路绕过障碍物）。下图为对比：



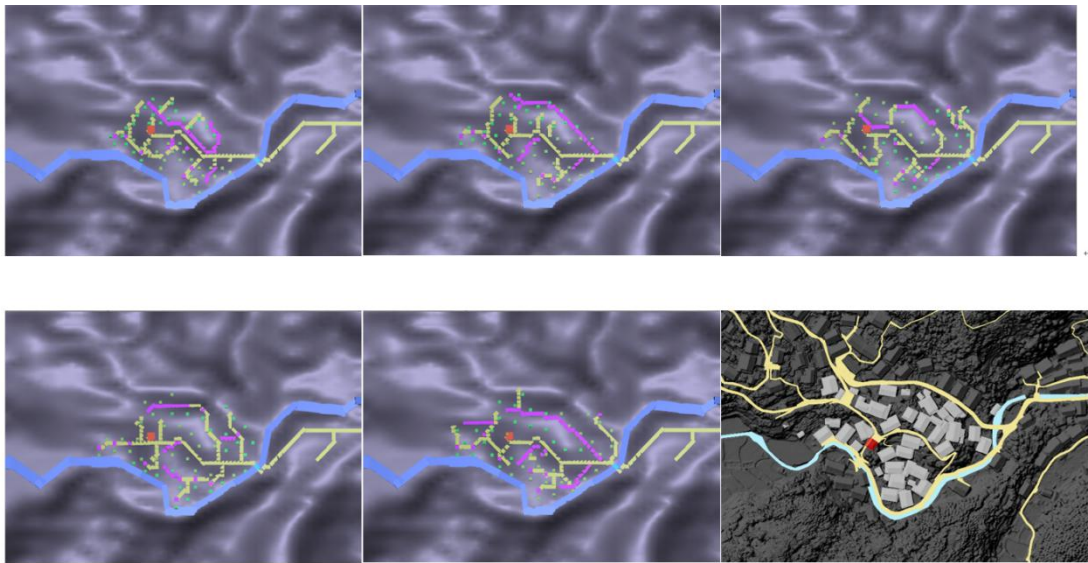
上图为无回路，下图为有回路

可见，回路能更好的连接各个建筑点，而且也更接近真实情况。

至此，村庄骨架的搭建已经完成，骨架是村庄生长规划最重要的一步，之后的步骤：地块包裹和建立 3D 模型，都是修饰的部分。当然，我们还有一个重要的部分，验证。

4. 验证：

我们将模型导入，并输入不同的参数（水源，崇拜，坡度，交通，社交对居民的影响），可得到多种规划结果：

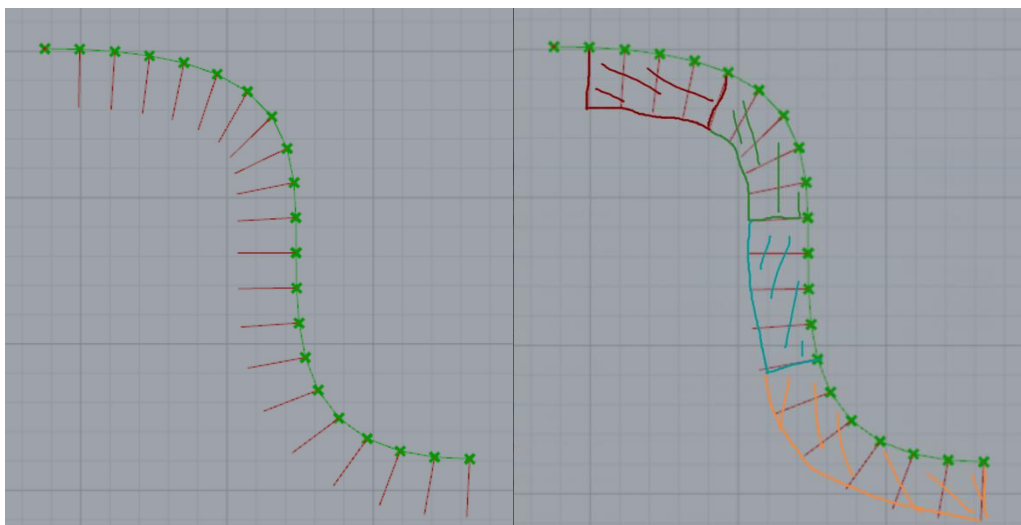


不同参数规划结果，其中用绿点替代建筑点

可见，他与真实情况有很大的相似度，证明村庄骨架生成系统具有很好的参考价值。

二、包裹地块

地块是建筑点占有地形的一部分，经过多次调研分析，发现人们往往把自己的地盘尽量地靠近道路，这在之前的骨架生成已经体现，人们会生成回路，来保障自己的出行。所以地块就可以转化成垂直道路的曲多边形。



垂直道路包裹地块的方法示意图

当然，土地不是免费的，向垂直生长也有个度。垂直土地花费方程如下

$$dc_s(d_s, \mathbf{n}) = \sum_{i=0}^{n-1} \omega_i c_i(d_s, \mathbf{n})$$

其中， $dc_s(ds, \mathbf{n})$ 代表在 S 地块中 ds 这个点的 \mathbf{n} 个代价方程 C_i 与 \mathbf{n} 个权重 ω_i 的加权之和。而代价考虑因素有：

距离：该点到原点 S 的最小距离，距离与代价成正比。

坡度：该点的坡度大小，一般坡度大代价也大。

海拔差：该点与它前一个点的高度差，差越大代价越大。

道路、水、其他地块建筑：当遇到这些地点时，是不能够生成地块。所以设为 $+\infty$ 。

当迭代完所有靠近道路垂直的点时，即可完成地块的生成，接下来即生成房屋建筑范围和 3D 模型。

三、 建筑区域：

当得到地块后，人们会考虑造房子，房子范围在地块内，这是肯定的，然后房子正面也会朝向道路，且一般情况是正门会垂直道路。而建筑区域的生成方法和建筑地块是基本一致的，只是限定只能在自己的地块中生成



不同的颜色代表不同居民的建筑地块

一、 更多

当然目前只做了居民类型，将来还会有更多类型

更多类型以及相应属性还有特殊部分如下表：

建筑类型	数量	可达性（距离道路米）	坡度（高/长）	房族（房族之间吸引）	社交（和其他建筑间距）	崇拜（公共建筑对其他建筑的吸引力）
红色为特定规则/灰色为方程规则						

住宅	40-60/寨（控制条）	3, 8, 40	山地农业形：8%，10%，100%。山地旅游型：同平坝	5, 15, 40(仅作用于同房族建筑)	5, 15, 40	被吸引
	村耕地/人均用地/村		平坝型：0, 0, 8%			
萨坛	1/村	1, 4, 10	同上	/	11, 18, 30	被吸引
鼓楼	1/寨	/	同上	/	（第二鼓楼搜寻间距）50, 100, 200	被吸引
戏台	1/村（随机出现在其中一个鼓楼）	/	同上	/	5, 13, 30	被吸引
款坪	1/寨	/	0, 0, 8%	/	6, 13, 40	主吸引源/6, 13, 100
学校	1/村	6, 20, 60	0, 0, 8%	/	10, 30, 40	被吸引
村委会	1/村	3, 8, 40	同住宅	/	5, 15, 40	被吸引
寨门	1-3/寨	/	/	/	6, 20, 60	/
凉亭	1-3/村	1, 8, 20	同住宅	/	6, 15, 40	/

庙宇	0-2/寨	3, 8, 40	同住宅	/	5, 13, 30	是吸引源, 同时被款坪吸引/5, 13, 30
风雨桥	1-3/村	/	/	/	与寨门距离小于10 可组合。6, 20, 60	/
农田	同户数	3, 15, 50	0, 0, 100%	/	8, 25, 60	/
商业	农业型: 总建筑数量的2.5%	3, 8, 20	0, 0, 8%	/	5, 15, 40	被吸引
	旅游型: 总建筑数量的10% (加控制条)	3, 8, 20		/	5, 15, 40	被吸引

建筑类型的各项参数均是经过通过调研与往年数据所得。能保证
真实性与权威。