

硕 士 研 究 生 读 书 报 告



题目 LOD技术构建城市场景

作者姓名 杨洁

作者学号 21651146

指导教师 李启雷

学科专业 软件工程

所在学院 软件学院

提交日期 2017 年 4 月

LOD Generation for Urban Scenes

A Dissertation Submitted to

Zhejiang University

in partial fulfillment of the requirements for

the degree of

Master of Engineering

Major Subject: Software Engineering

Advisor: Li Qilei

By

Yang Jie

Zhejiang University, P.R. China

2017

摘要

LOD(细节水平)技术可以根据物体模型的节点在显示环境中所处的位置和重要度，决定物体渲染的资源分配，降低非重要物体的面数和细节度，从而获得高效率的渲染运算。本文介绍一种以LOD(细节水平)形式重建3D城市场景的新颖方法。从原始的数据集开始，我们的算法进行三个主要步骤：分类、抽象和重建。从地理属性和一组语义规则并且结合马尔科夫随机场，将场景分类为四个有意义的部分：消除步骤检测、规范建筑物上的平面结构、图标适应化、执行LOD生成的过滤和简化。随后将抽象数据作为重建步骤的输入，完成对建筑的水密性计算。在构建复杂建筑物和大型城市场景上，LOD(细节水平)技术显然优于一般网格近似方法。

**关键词**：城市重建 LOD 抽象 图标化 马尔科夫随机场 最小化公式

Abstract

LOD (levels of detail) technology can be based on the object model node in the display environment in the location and importance of the object to determine the allocation of resources, reduce the number of non-essential objects and the degree of detail, in order to obtain efficient rendering operations. This article presents a novel approach to reconstruct 3D city scenes in LOD (levels of detail). Starting with the original data set, our algorithm carries out three main steps: classification, abstraction and reconstruction. From the geographical attributes and a set of semantic rules and combined with the Markov random field, the scene is classified into four meaningful parts: elimination step detection, specification of the planar structure on the building, icon adaptation, implementation of LOD generation filtering and simplification The The abstract data is then used as input to the reconstruction step to complete the calculation of the watertight of the building. LOD (levels of detail) technology is clearly superior to the general grid approximation method in building complex buildings and large urban scenes.

**Keywords**：urban reconstruction, LOD, abstract, Markov random field, minimization formula

1引言

对大型城市场景的自动化建模的追求近年来受到越来越多的关注。一类方法是从语法规则和与大量用户交互的应用程序中建模，以生成高度语义化的详细3D模型。另一种方法是通过物理测量自动生成准确的3D模型。

城市规模的大量机载数据集的可用性促进了对城市重建自动化方法的研究。重建的质量可以通过视觉检查或失真情况来评估。虽然LIDAR扫描在过去十年中大范围被使用，但全自动多视点立体声（MVS）工作流程的最新进展允许生成复杂的表面三角形网络，丰富了高分辨率的图像。MVS网格可以生成逼真的垂直元件（如外墙）细节，这种特性使得通过直观参数控制LOD成为可能。对于诸如互动导航，城市规划，计算工程和视频游戏等应用而言也是有意义的，允许对整个场景中的LOD进行增量细化，并提供一定程度的抽象。同时，MVS网格通常不如LI-DAR采集系统以类似分辨率产生的点精确，包含许多几何和拓扑缺陷，需要增加鲁棒性来提高语义和结构信息。

**2 LOD简介**

LOD技术在不影响画面视觉效果的条件下，通过逐次简化景物的表面细节来减少场景的几何复杂性，从而提高绘制算法的效率。该技术通常对每一原始多面体模型建立几个不同逼近精度的几何模型。与原模型相比，每个模型均保留了一定层次的细节。在绘制时，根据不同的表准选择适当的层次模型来表示物体。LOD技术具有广泛的应用领域。目前在实时图像通信、交互式可视化、虚拟现实、地形表示、飞行模拟、碰撞检测、限时图形绘制等领域都得到了应用，已经成为一项要害技术。很多造型软件和VR开发系统都开始支持LOD模型表示。

在城市重建中使用LOD并不常见，通常会使用网格简化或近似方法，大多数这些方法依赖于纯几何误差度量而忽视城市场景的语义和结构。一些错误指标恰好能保留部分特征，这间接有助于保留结构，但是结构本身是依赖于尺度的，因此难以与特定城市LOD的语义标签分离。

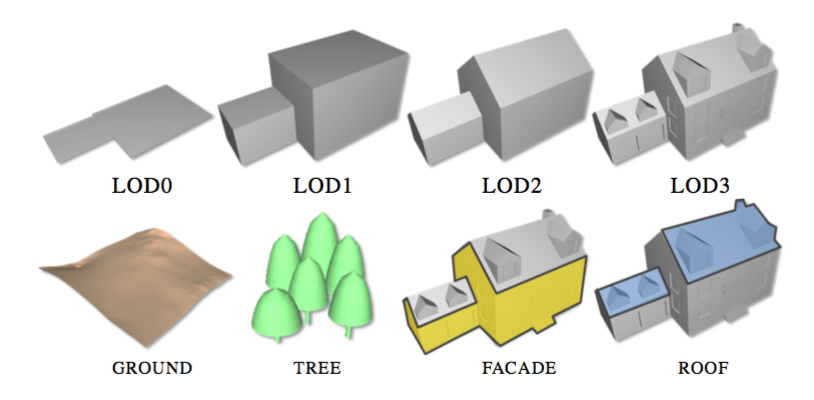


图1

如图1所示，LOD0指定建筑物和树木的占地面积。LOD1代表建筑物的平面屋顶和树木作为圆柱图标。 LOD2提供了具有分段平面屋顶和半椭圆形图标的附加细节。 LOD3提供进一步的细节，如屋顶上层建筑，门窗。

**3 LOD构建城市场景介绍**

重建算法进行三个主要步骤：分类，抽象和重构。

**3.1 分类**

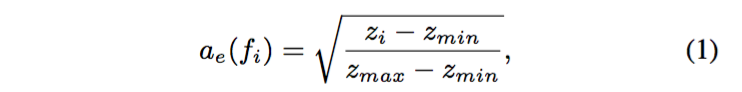
分类步骤依赖于马尔科夫随机场（MRF），以区分四类城市物体：地面，树木，立面和屋顶。 由于分类是无监督的，我们仅使用以下原理的几何属性：（i）地面的特征在于位于其他类之下的局部平面表面，（ii）树有曲面，（iii）外墙是与屋顶相邻的垂直表面 和（iv）屋顶主要由分段平面表面组成。

由于输入网格非常密集，通过MRF对每个三角形小平面进行分类将导致不切实际的计算时间。在预处理步骤中，我们将输入网格过度分割成超立方体：连接的三角形面的集合，在精神上类似于用于图像分析的超像素的概念。 通过聚类，通过区域生长，具有类似形状运算符矩阵的三角形小平面获得超帧。 更具体地说，我们对半径为Rm的局部球形网格邻域上的每个三角形面的形状算子矩阵进行估计，并且通过Frobenius范数对这些矩阵进行聚类时进行比较。 当该距离保持低于极限值dl时，生长是有效的。

**3.1.1 几何属性**

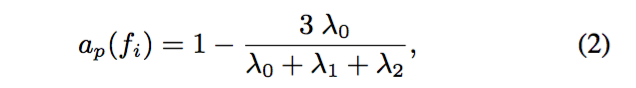
为输入网格的每个三角形平面图计算三个几何属性：

（1）高程属性ae被定义为三角形面质心的相对高度（z坐标）的函数，用zi表示：



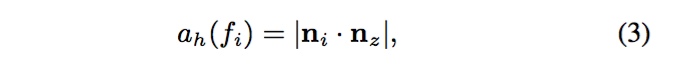
其中（zmin; zmax）表示位于局部空间邻域内的所有三角形面心形的高度范围。 平方根确保相对高度的小值获得较大的元素属性。 默认设置为40码的邻域的大小必须足够大，以满足地面构件，并且足够小以获得对丘陵环境的抵御能力。

（2）平面性属性ap表示从表面变化导出的含有超融体fi的平面性：



其中λ表示在包含超级流体的fi的所有三角形平面上以闭合形式计算的协方差矩阵的最小特征值。 每个特征值沿着相应的特征向量测量超级流体的方差。 变量测量超分子偏离局部切平面的程度：平面度为1，对于完全平面的平面，0表示具有三个相同特征值的各向同性超流体。

（3）水平度属性ah测量单位正常ni相对于垂直轴的三角形面的偏差：

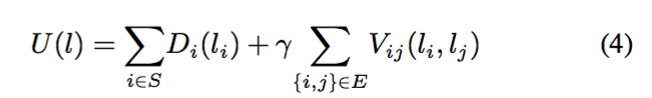


其中nz表示沿Z坐标轴的单位向量。

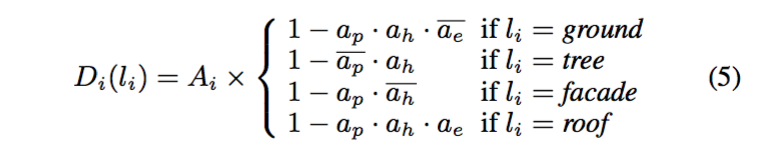
从这些取值在[0，1]内三角形定义面的几何属性中，我们计算每个超级面的加权和。以类似的方法计算超立方体的法线。

**3.1.2 马尔科夫随机场**

从每个超级计算的几何属性中，使用马尔科夫随机场来标记四类之一：{ground，tree，facade，roof}。 原始输入网格的缺陷需要由MRF提供的规则化的全局优化来弥补，对分类添加了上下文以及空间一致性特性。其中标签配置l的质量由能量U测量：



其中Di和Vij分别表示一元数据项和传播约束，由参数γ> 0平衡.S表示超集的集合。 E表示所有对相邻的超帧，如果两个超级帧在输入网格中共享至少一个边缘，则它们是相邻的。 数据项组合了上述属性加权的超级域i的区域Ai：



其中i和j之间的关系是：



其中C表示超帧i和j之间的接口的长度（接口边缘长度之和）。 引入重量w，以便在两个类别相遇时经常出现的锐利折痕（例如，与外墙相邻的树木）。 j被定义为两个超立方体估计法线之间的角度余弦。 由于一元数据项和成对电位由超级区域和界面长度加权，该能量公式与具有分组约束的基于三角面的能量类似。 通过α-β交换算法为该能量最小化问题提供一个近似解决方案。

**3.1.3 语义规则**

上述几何理论本身不足以解决不合理的分类问题。 在处理复杂的城市场景时，会出现两种类型的错误：（1）屋顶结构如烟囱或天窗 - 寡妇可能被错误地标记为树，这些元素太小而不规则，被认为是局部平面的，（2）大树的垂直分量可能被标注为立面。 因此，我们添加以下语义规则：

（1）标记为树并且仅与被标记为屋顶的超面相邻的超表面被重新标记的屋顶。这个规则依赖于大树不在屋顶上的共同假设。

（2）标记为立面的超立方体，并与标记为树和地面的超级花盆相邻，转向树。

这两个语义规则对语义标签带来了更高的语境一致性，特别是在存在小的不规则屋顶上层结构和具有圆柱形状的树的情况下。

**3.2 抽象**

抽象步骤创建了涉及特征图标和平面代理的紧凑描述。通过几何和结构简化，通过平面形状近似和调节，图标化和基于LOD的滤波获得紧凑的描述。方法背后的一个关键思想是将抽象和重建步骤专门化到这些类以及LOD中，以便用图标处理，而不是尝试用平面代理来重建它们。 此外，正则化是我们改进重建步骤的可扩展性和鲁棒性的手段。相关类的抽象如下：

（1）地面：由2D的Delaunay三角测量表示，由网格帧的最大参数属性的相邻插值决定。

（2）窗户和屋顶: 由一组具有加强规律的平面投影近似，这些代理被用作最终水密重建步骤的输入,局限于平面代理，平面表面平均覆盖了80%的城市地区，并且适合于对LOD生成的有效抽象和重新构建。

（3）上层建筑，立面构件和树木：通过不同深度地图上的图标化来实现。由于机载MVS网格的分辨率有限（通常只是烟囱或窗户的几个三角形面），我们不会将平面代理的屋顶上层结构和立面构件进行近似。树图标是沿Z轴旋转不变的参数形状。

通过选择标记为屋顶或立面的标准来识别一组近平面超立方体，具有高平坦度属性ap和最小大面积（我们施加ap> tp和面积A大于Amin，其中tp和Amin是两个模型参数）。对于每个近平面超级计算器，我们计算最小二乘拟合平面，称为超级代理。然后，我们通过改变这些代理的方向和位置来改进这些代理的规律性，以加强其规范的几何关系。

**3.2.1 几何关系**

我们首先通过选择标记为屋顶或立面的标准来识别一组近平面超立方体，具有高平坦度属性ap和最小大面积（我们施加ap> tp和面积A大于Amin，其中tp和Amin是两个模型参数）。对于每个近平面超级计算器，我们计算最小二乘拟合平面，称为超级代理。然后，我们通过改变这些代理的方向和位置来改进这些代理的规律性，以加强其规范的几何关系。由P1和P2表示，具有相应单位法线n1和n2的两个代理以及重心c1和c2。我们在定向公差ε和欧几里得距离容差d之间定义四个规范关系：

1. 平行性：如果| n1·n2 |，则P1和P2为ε平行≥1 - ε;
2. 正交性：如果| n1·n2 |，则P1和P2是ε正交的≤ε;
3. Z对称：如果|| n1·nz |，则P1和P2为ε-Z对称 - | n2·nz || ≤ε，其中nz是沿垂直轴的单位向量;
4. 共面性如果它们是ε-平行的，则P1和P2是d-ε共面的，|d⊥（c1，P2）+d⊥（c2，P1）| <2d，其中d⊥（c，P）表示点c和代理P之间的正交距离。

前三个关系与代理方向有关，共平面是具有附加相对定位约束的并行性的特定实例。 Z对称的概念与常见的假设相一致，即屋顶的连通部件倾向于具有相似的斜率值。对于我们的城市环境，旋转对称性太笼统了。另外，通过线性运算检测Z对称，而旋转对称则涉及二次复杂度。

**3.2.2 检测规律**

通过分层分解检测全局规律。并行关系形成参考层（成为层1），将ε并行的代理聚类到并行集群中，并计算每个集群的平均方向。通过检测平行簇之间的正交性和Z对称关系形成上层（称为层2）。每个并行簇有一个节点构成一个正交图，两个节点之间的一个边是ε-正交的。我们还将ε-Z对称的并行簇聚类到Z对称组中，并计算每个组相对于Z轴的平均角度。最后通过共面关系创建一个下层（称为第0层），将每个并行簇分解成d-ε共面的代理集合，并计算每组共面代理的平均质心。注意，所有前述的平均过程由每个代理的面积加权，每个代理的面积由总共54个初始代理定义。

**3.2.3 重新定位**

平行簇通过将正交几何关系转化为正交图来重新定向。由源和目标节点分别表示由传播改变的一对节点。区分三种情况：

（1）两种关系都是活跃的。一般来说，满足两者关系的独特方向。可能由于矛盾的关系，没有解决方案存在：目标节点不再重新定向。

（2）只有正交关系是活跃的。根据与层次结构中的源节点正交的方向重新定位目标节点，这最好与其初始方向对齐。

（3）只有Z对称关系是活跃的。当节点在层次结构中没有父节点时，即当它是正交图的根节点时，根据满足最初对齐方向的Z对称约束的方向重新定向目标节点。

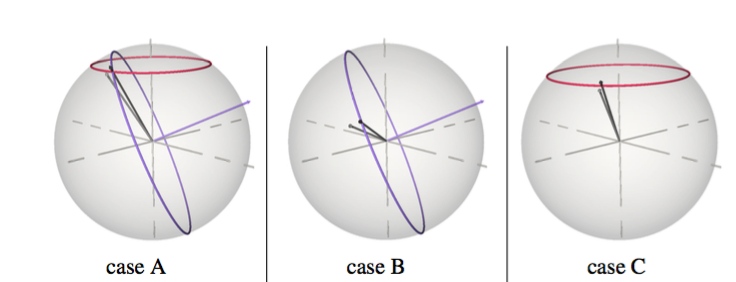


图2

这三种情况如图2所示，为了防止大的偏差，只有当初始和重定向法线之间的点积低于1-ε时，才执行重新定向。正交图中的贪婪传播从大到小的节点进行，节点的大小由其代理的总面积定义。这种无环传播倾向于减少关系之间的矛盾。

**3.2.4 图标化**

图案化步骤旨在抽象树木，屋顶超级结构和立面元素。感兴趣的元素首先从深度图中定位，然后由适合于输入网格的3D图标进行抽象。在四个LOD中使用树的图标，而屋顶上部结构和立面图标仅在LOD3中使用。

对于树木，我们首先通过对XY坐标平面中的输入网格进行光栅化来构建深度图，并将其作为高度值，将最大高程属性限制为超级网格作为树。我们贪婪地通过分水岭算法提取该地图的局部最大值，以便在XY平面中定位每个树图标的中心，并将最佳半椭圆贴合到地图上，同时保持中心固定。

对于主要对应于烟囱、天窗和小屋顶延伸的屋顶上部结构，我们通过在图像中光栅化构建了一个深度图，限制在被标记为屋顶的超立方体的最大高程属性之间的差异以及由第5节描述的水密重建过程。然后，我们然后将每个上层结构图标的中心与树图标类似，并且适合由两个叠加的平行六面体组成的3D模板图标。

对于诸如窗户和门的立面元素，MSV网格的分辨率不足以提取单个元素。对于在LOD2重建的每个立面，我们首先构建一个粗糙的深度图，测量超立方体作为立面和LOD2的立面之间的距离。然后，我们通过搜索深度图的局部最大值来估计网格布局的行和列间距以及其第一个元素的位置。

**3.2.5 LOD生成**

LOD生成步骤通过过滤正则化代理和抽象图标进行：

（1）LOD0：地面网格不被使用，因为表示是平坦的。树被描绘为作为树图标的垂直投影计算的圆盘，并且建筑物由2D区域描绘，2D区域由仅使用最小化公式的2D实例标记为立面的抽象代理计算的折线所描绘。上层建筑被省略。

（2）LOD1：地面网格，富含树木垂直圆柱体，LOD0建筑物以3D水平代理升高，其高度定义为相关超级高度的中值。

（3）LOD2：富含树木图标和建筑物的地面网格与所有代理产生分段平面屋顶。

（4）LOD3：LOD2富含屋顶上层结构和立面层。

**4 重建**

平面的三维布置为我们提供了一种将平面代理组装成良好表面的手段：水密和无自相交。 当与全局正则化、LOD过滤和最小化相结合时，它还生成轻量级多边形网格，可以在选定的LOD中为场景的结构组件提供服务，并以合理的方式完成场景的缺失部分。

**4.1 离散3D排列**

计算完整精确的布置会导致非常高的计算复杂度，只有非常小的子集的表面在解决最小切割面之后才有助于输出，我们将精确的几何计算操作推迟到最小切割解决后的第一个表面提取步骤。我们依赖于该布置的瞬态离散近似，以避免将每个平面插入到布置中所需的计算密集型精确几何操作。

对于与建筑物组件相关联的输入网格的每个子集，我们首先计算一个面向对象的边界框B.然后，通过在与B对齐的均匀网格的所有角上放置锚点来均匀地采样B。这些锚点中的每一个是丰富了两个属性：

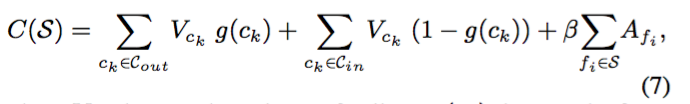
二进制标志。用于指定锚点是否被估计在推断的建筑物的内部或外部。通过投射射线并计算这些射线与输入网格的相交奇偶校验来猜测该标志。如果具有奇数（相当于）交点的光线数量较多，则内部（相对于外部）标志将被分配给锚点。在所有实验中，五条光线已经显示出足够的：四条朝向B的上角，一条朝向这些角的重心。

整数。表示包含锚点的平面区域的单元格的索引。

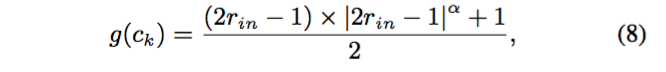
**4.2 最小切割公式**

对于每个布置，使用最小切割公式来找到单元的内部/外部标记，输出表面被定义为内部和外部之间的界面面。 考虑一个图（C，F），其中C = {c1，。 。 。 ，cn}表示与由空间分区引起的单元相关的节点，F = {f1，...。 。 。 ，fm}描述与分离所有对相邻单元格的面相关的边缘。 图中的剪切包括将单元格C分成两个不相交的集合Cin和Cout。 Cin和Cout之间的边缘对应于一组表面。

为了量化质量，即由切割（Cin，Cout）引起的表面S，我们引入以下成本函数C：



成本函数C的前两项是数据项，而由参数β≥0加权的第三项用作规范化项，以便有利于小面积的解。将标签内部分配给单元格ck的内容，其中包含在ck中的内部锚点的比率rin：



**5 总结**

使用LOD技术创建城市场景并不是常见的方法，但是恰当地选择细节层次模型能在不损失图形细节的条件下加速场景显示，提高系统的响应能力。从地理属性和一组语义规则并且结合马尔科夫随机场，将场景分类为四个有意义的部分：消除步骤检测、规范建筑物上的平面结构、图标适应化、执行LOD生成的过滤和简化。随后将抽象数据作为重建步骤的输入，完成对建筑的水密性计算。在构建复杂建筑物和大型城市场景上，LOD(细节水平)技术显然优于一般网格近似方法。

参考文献

[1] [Yannick Verdie](http://dl.acm.org/author_page.cfm?id=81447603757&CFID=928318819&CFTOKEN=44138929), [Florent Lafarge](http://dl.acm.org/author_page.cfm?id=81385602716&CFID=928318819&CFTOKEN=44138929), [Pierre Alliez](http://dl.acm.org/author_page.cfm?id=81100223488&CFID=928318819&CFTOKEN=44138929) 2015. LOD Generation for Urban Scenes. ACM Transactions on Graphics (TOG): Volume 34 Issue 3,( April 2015)

[2] LI, Y., WU, X., CHRYSATHOU, Y., SHARF, A., COHEN-OR, D., AND MI- TRA, N. J. 2011. Globfit: Consistently fitting primitives by discovering global relations. ACM Transactions on Graphics. Proc. of SIGGRAPH.

[2] LI, Y., WU, X., CHRYSATHOU, Y., SHARF, A., COHEN-OR, D., AND MI- TRA, N. J. 2011. Globfit: Consistently fitting primitives by discovering global relations. ACM Transactions on Graphics. Proc. of SIGGRAPH.